МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК

РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

БАЛАКОВСКИЙ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(филиал) НИЯУ МИФИ

I Международная научно-техническая конференция

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СРЕДЕ

14 декабря 2017 года

Балаково – 2017

УДК 691
ББК 38.3

I Международная научно-техническая конференция «Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде» (14 декабря 2017 г). Сборник статей [Электронный ресурс].- М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. 610 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу I Международной научно-технической конференции «Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде», проводимой 14 декабря 2017 г. в БИТИ НИЯУ МИФИ.

Материалы сборника включают в себя: сведения об обеспечении надежности и долговечности строительных материалов и конструкций на стадии изготовления; современные методы проектирования строительных материалов и конструкций, обеспечивающие их надежность и долговечность; расчетный анализ строительных конструкций; современные методы оценки долговечности; анализ профессиональной подготовки кадров высшей квалификации для строительных отраслей и проблем их трудоустройства; применение полимерных композитных материалов в строительстве; современные методы антикоррозийной защиты строительных конструкций; применение теории риска в расчетах строительных конструкций; экспериментальные исследования надежности и долговечности материалов и конструкций; обеспечение достоверности компьютерного анализа как важного фактора обеспечения надежности и долговечности моделирование поведения конструкций, подвергающихся экстремальным воздействиям.

Сборник предназначен преподавателям, ученым, аспирантам, студентам и специалистам, интересующимся тематикой представленных научных направлений.

ISBN 978-5-7262-2454-1

© Балаковский инженерно-технологический
институт (филиал) Национального
исследовательского ядерного
университета «МИФИ», 2017

Организационный комитет:

Председатель: Шевашкевич Марина Геннадьевна – к.т.н., д.э.н., профессор.
Зам председателя: Гарибов Рафаил Баширович – д.т.н., профессор.

Члены оргкомитета:

Землянский Анатолий Андреевич – д.т.н., профессор.
Попова Надежда Александровна – д.арх., профессор.
Голова Татьяна Александровна – к.т.н., доцент.
Лавриненко Юрий Анатольевич – к.т.н., доцент.
Марьина Надежда Леонидовна – к.т.н., доцент.
Меланич Владимир Михайлович – к.т.н.,доцент.
Паницкова Галина Васильевна – к.т.н., доцент.
Ращепкина Светлана Алексеевна – к.т.н., доцент.
Бойчук Сергей Васильевич – ассистент.
Магеррамова Инна Александровна – ассистент.

Сопредседатели редколлегии:

Теличенко Валерий Иванович – д.т.н., профессор, академик РААСН, первый вице-президент РААСН (Москва, Россия).
Травуш Владимир Ильич – д.т.н., профессор, академик РААСН, вице-президент по направлению «Строительные науки» (Москва, Россия).
Карпенко Николай Иванович – д.т.н., профессор, академик РААСН, академик-секретарь по направлению «Строительные науки»(Москва, Россия).
Петров Владилен Васильевич – д.т.н., профессор, академик РААСН (Саратов, Россия).
Гусев Борис Владимирович – д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, почетный член РААСН (Москва, Россия).

Члены редколлегии:

Акимов Павел Алексеевич – д.т.н., профессор, академик РААСН (Москва, Россия).
Белостоцкий Александр Михайлович – д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН (Москва, Россия).
Бондаренко Виталий Михайлович – д.т.н., профессор, академик РААСН, (Москва, Россия).
Болдырев Геннадий Григорьевич – д.т.н., профессор (Пенза, Россия).
Бобылев Владимир Николаевич – к.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН (Нижний Новгород, Россия).
Гаджиев Мухлис Ахмедович – д.т.н., профессор (Баку, Азербайджан).
Гарибов Рафаил Баширович – д.т.н., профессор, (Балаково, Россия).
ЕллалаФаузи бен Абделазиз – к.т.н., профессор (Габес, Тунис).
Ерофеев Владимир Трофимович – д.т.н., профессор, академик РААСН (Саранск, Россия).
Землянский Анатолий Андреевич – д.т.н., профессор (Балаково, Россия).
Земсков Владимир Михайлович – д.т.н., профессор (Балаково, Россия).

Игнатьев Владимир Александрович – д.т.н., профессор (Волгоград, Россия).
Ильичев Вячеслав Александрович – д.т.н., профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН по направлению «Инновации» (Москва, Россия).
Иноземцев Вячеслав Константинович – д.т.н., профессор (Саратов, Россия).
Кайтуков Таймураз Батразович – к.т.н., доцент (Москва, Россия).
Котлов Виталий Геннадьевич – к.т.н., профессор (Йошкар-Ола, Россия).
Кудайбергенов Нурлан Баязитович – д.т.н., профессор (Астана, Казахстан).
Леонович Сергей Николаевич – д.т.н., профессор, иностранный член РАССН (Минск, Беларусь).
Магдеев Усман Хасанович – д.т.н., профессор, академик РААСН (Москва, Россия).
Митасов Валерий Михайлович – д.т.н., профессор (Новосибирск, Россия).
Монастырев Павел Вячеславович – д.т.н., профессор (Тамбов, Россия).
Морозов Валерий Иванович – д.т.н., профессор член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург, Россия).
Мурашкин Геннадий Васильевич – д.т.н., профессор член-корреспондент РААСН (Самара, Россия).
Мусаев Вячеслав Кадырович – д.т.н., профессор (Москва, Россия).
Низина Татьяна Анатольевна – д.т.н., профессор (Саранск, Россия).
Овчинников Игорь Георгиевич – д.т.н., профессор, академик РАТ (Саратов, Россия).
Плевков Василий Сергеевич – д.т.н., профессор (Томск, Россия).
Попова Надежда Александровна – д.арх., профессор (Балаково, Россия).
Рахимов Равиль Зуфарович – д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН (Казань, Россия).
Римшин Владимир Иванович – д.т.н., профессор член-корреспондент РААСН (Москва, Россия).
Седдак Айсса – к.т.н., профессор (Оран, Алжир).
Селяев Владимир Павлович – д.т.н., профессор, академик РААСН (Саранск, Россия).
Семенов Владимир Сергеевич – д.т.н., профессор (Кыргызстан).
Сидоров Владимир Николаевич – д.т.н., профессор (Москва, Россия).
Скачков Юрий Петрович – д.т.н., профессор (Пенза, Россия).
Смирнов Юрий Николаевич – д.арх., профессор (Кыргызстан).
Соколова Юлия Андреевна –д.т.н., профессор, академик РААСН (Москва, Россия).
Степанова Валентина Федоровна – д.т.н., профессор (Москва, Россия).
Столяров Виктор Васильевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия).
Трещёв Александр Анатольевич – д.т.н., профессор (Тула, Россия).
Фаликман Вячеслав Рувимович– д.т.н., профессор (Москва, Россия).

СОДЕРЖАНИЕ

Абрашитов В.С., Капустин А.Е.
Результаты обследования состояния несущих конструктивных элементов здания станции очистных сооружений……... 11
Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г.
Краткий обзор проблем расчета трубопроводов в сейсмоопасных зонах.. 15
Белоусов Е.А.
Прогнозирование поведения металлических стержневых конструкций, подвергающихся коррозионному износу…… 28
Бондарев Б.А., Борков П.В., Сапрыкин Р.Ю.
Циклическая долговечность полимерных композиционных материалов в деформационных швах конструкций мостов и путепроводов……. 37
Бочков М.И.
Расчет систем с упругими односторонними связями по методу конечных элеменотв в форме классического смешанного метода…… 42
Буреев А. К., Овчинников И. И.
Особенности монтажа мостовых сооружений типа «ТЕНСЕГРИТИ»… 50
Варламова Т.В., Гамаюнов В.П.
Исследование состояния наружной несущей стены здания спортзала саратовского аграрного университета…… 61
Викуловская Н.В., Зотов Л.Д.
К вопросу востребованности в строительной отрасли высококвалифицированных специалистов…… 66
Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г.
Некоторые болевые точки российского инженерно-строительного образования…….. 71
Гарибов Р.Б
Разрешающие уравнения деформирования трубчатых сталебетонных элементов под воздействием нагрузки и хлоридсодержащей среды…. 91
Горбачева И.А., Овчинников И. Г.
Анализ основных постулатов мостовой эстетики…… 107
Дикова Е.В.
Математическое моделирование безопасности по несущей способности надземного нефтепровода с упругим основанием при нестационарных

сейсмических воздействиях с помощью комплекса программ
Мусаева В.К. …….. 119
Дубнов С.А., Гарибов Р.Б.
О поведении материалов и конструкций в агрессивных средах……. 128
Жедёнова С.В., Овчинников И. И.
Вопросы защиты бетонных и железобетонных конструкций
транспортных сооружений от коррозии…… 141
ЖестковаС.А.
Общая устойчивость пространственного высотного объекта на
неоднородном основании с учетом основания на сдвиг…….. 149
Захаренко А.А., Ращепкина С.А.
Применение структурных систем для зданий различного назначения… 155
Землянский А.А., Попова Ю.А., Дубнов С.А., Глухов А.Е.
Опыт натурного испытания железобетонный плиты марки
2ПГ12-3Ашв……. 167
Зиннуров Т.А., Шаймухаметов Л.Р., Гиздатуллин А.Р.,
Куклин А.Н.
Прочность и деформативность типовых бетонных балок, армированных
стеклопластиковой и стальной арматурой…… 179
Иноземцев В.К., Редков В.И. , Беспечная Н.А.
Напряженно-деформированное состояние и устойчивость
комбинированной большепролетной системы……. 187
Иноземцев В.К., Редков В.И.
Проблемы устойчивости и инженерной защиты строительных объектов
на урбанизированных территориях с оползневыми процессами…… 196
Кайтуков Т.Б., Акимов П.А.,Белостоцкий А.М.
Об одном дискретно-аналитическом методе решения краевой задачи
для уравнения Пуассона в области типа полосы. Часть 1: введение.
континуальная и дискретная постановка задачи…….. 203
Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М.
Об одном дискретно-аналитическом методе решения краевой задачи
для уравнения Пуассона в области типа полосы. Часть 2: дискретная
постановка задачи, дискретно-аналитическое решение…….. 212
Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М.
О методе прямых для решения задач строительной
механики…….. 222

Каледа В.Н., Каледа И.А., Туманова Н.Н
Методика расчета надёжности виброизоляции при использовании унифицированных пружин сжатия…….. 231
Каледа В.Н., Каледа И.А., Туманова Н.Н
Оборудование для виброуплотнения жестких бетонных смесей с пригрузом……..... 240
Коблова Е.А.
Контроль качества строительных конструкций…….. 246
Кормилицин А.И.
Моделирование безопасности окружающей среды при аварийном воздействии (выбросе) нефти с помощью комплекса программ Мусаева В.К. …….. 255
Коротковский С.А., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В.
Применение фосфогипса для строительства автомобильной дороги….. 264
Куатбаева Т.К.
Синтез силикатных материалов, на основе местного природного малокварцевого сырья и отходов его переработки……..... 273
Магеррамова И.А., Зотов Л.Д.
Шум и методы борьбы с различными его видами…… 282
Магеррамова И.А., Царева А.П.
Применение композиционных материалов при строительстве градирен……. 287
Макридин Н.И., Максимова И.Н.
О кинетических процессах структурообразования и долговечности цементных бетонов……. 295
Матвеева И.В., Мандрыкина А.С.
Способы исследования технического состояния архитектурного комплекса в исторической застройки…… 304
Меланич В.М., Шарипов Р.Р.
Современные технологии сооружения АЭС в РФ и зарубежом……. 313
Меланич В.М., Ремизова Л.А., Чесноков Н.Д.
Строительные композиты для 3D-аддитивных технологий…… 320
Меслемани Х., Матвеева И.В., Жоголева О.А.
О возможности применения в Сирии полимеррастворов и полимрбетонов для ремонта железобетонных конструкций зданий, поврежденных при силовых воздействиях…… 325

Морозов Д.В., Ерофеева К.Р., Злобина И.В., Бекренев Н.В.
Опыт и перспективы применения полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях гражданского назначения….. 333
Мусаев В.К.
Моделирование продольных, отраженных, интерференционных, дифракционных, изгибных, поверхностных и стоячих волн в деформируемых твердых телах…… 341
Муравьева Л.В.
Обеспечение безопасности пересечения подводных трубопроводов…… 350
Мусаев В.К.
Применение вычислительной волновой теории сейсмической безопасности для оценки несущей способности уникальных объектов……. 359
Мусаев В.К.
О физической достоверности и математической точности моделирования не стационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы…… 367
Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И., Володин В.В.
Дисперсно-армированные мелкозернистые бетоны с полифункциональными модификаторами на основе минеральных добавок……. 374
Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Чернов А.Н., Попова А.И.
Технологических показателей модифицированных эпоксидных смол……. 391
Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.Г.
Особенности применения полимерных композиционных материалов в малонагруженных конструкциях транспортных сооружений…… 402
Осипова О.Н., Матвиенко М.П., Сапрыкина Ю.В.
Определение структурной прочности грунтов в приборе трехосного сжатия…….. 413
Паницкова Г.В.
К вопросу расчёта изгиба прямоугольных пластин с учётом истории нагружения…….. 419
Попова Ю.А.
Коррозия бетона и методы защиты…… 424

Радченко П.А., Плевков В.С., Радченко А.В., Батуев С.П.
Моделирование разрушения железобетонных конструкций при динамических нагрузках…… 434
Рзаева Ч.Г., Баширзаде С.Р., Гаджиева У.М., Гарибов Р.Б.
Анализ этапов диагностики и оценка состояния зданий и сооружений…….. 446
Селезнев А.Д., Кузнецова Н.В.
Возможность утилизации оптических дисков в мелкозернистом бетоне…… 455
Семенов В.С.
Системный анализ в строительном проектировании и научных исследованиях…….. 461
Сидоров В.Н.
К численному моделированию реологических проявлений строительных конструкций……. 469
Селяев В.П., Куприяшкина Л.И.
Перспектива применения цеолитсодержащих пород в строительной отрасли……..... 477
Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Ланкина Ю.А., Чернов А.Н.
Программный комплекс для моделирования процесса стесненной седиментации частиц наполнителя в твердеющей полимерной системе……... 489
Стародубцев В.В.
Моделирование напряженного состояния надземного нефтепровода при внешнем нестационарном взрывном воздействии с помощью комплекса программ Мусаева В.К…… 502
Столяров В.В.
Применение теории риска в расчетах строительных конструкций…… 511
Субботин А.И., Субботин В.А., Субботин И.А.
Дефекты конструкций жилых домов – ошибки и последствия……..... 525
Талпашева Д.Р., Артамонова Е.Н.
О принципах временных этапов долговечности вязкоупругих материалов…… 535

Трещев А.А., Цветкова А.Б.
Упругопластический поперечный изгиб пластин с учетом кинетики агрессивной среды…….. 540
Хасанов И.Р.
Огнестойкость деревянных конструкций при пожарах…….. 552
Хасанов Р.Р., Ращепкина С.А.
Современные стальные резервуары для нефти и нефтепродуктов……. 559
Чэнь Тао, Овчинников И. И.
Прогнозирование поведения железобетонной плиты проезжей части при действии карбонизации и хлоридной коррозии…… 566
Черных В.К.
Коррозийный износ трубопроводов, его причины и последствия……. 575
Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Сурнин Д.А.
Расчет стержня кругового очертания при радиальном перемещении правой опоры…….. 581
Шамшина К.В.
Коррозийные продольные трещины в защитном слое бетона и их влияние на прочность и жесткость обычных железобетонных элементов…… 587
Юшков В.С., Ерёменко Д.О.
Искусственный интеллект, как инновационный технологический прорыв……..... 596
Юшков В.С., Овчинников И.Г. , Пугин К.Г.
Исследование материалов, используемых для визуализации полос движения и искусственных неровностей в виде виброполос на автомобильных дорогах……. 601

УДК 624.046-047.38:626.16

Абрашитов В.С.
кандидат технических наук, профессор,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия
Капустин А.Е.
студент,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ СТАНЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

THE RESULTS OF THE STRUCTURAL COMPONENTS SEWAGE TREATMENT PLANT SURVEY

Аннотация. В статье приводятся результаты обследования состояния конструктивных элементов здания на возможность установки дополнительного технологического оборудования. Даются рекомендации на выполнение ремонтно-восстановительных мероприятий по несущим конструкциям.

Ключевые слова: обследование здания, конструкция перекрытия, несущая способность, эксплуатационная среда, поражение коррозией.

Abstract. The article presents the results of a survey of the state of structural elements of a building on the possibility of installing additional technological equipment. Recommendations are given for carrying out repair and recovery measures for bearing structures.

Keywords: building inspection, floor structure, bearing capacity, operating environment, corrosion attack.

В октябре 2017 года сотрудниками ПГУАС и ООО «Союзпроект» было произведено освидетельствование и обследование состояния некоторых несущих конструктивных элементов здания станции очистных сооружений «ППО «ЭВТ» им. А.Н. Ревунова г. Пензы. Здание построено в 1974 году. Оно бескаркасное, имеет два этажа и подвал, с габаритными размерами в осях 17,4х31,1 м.

Основные несущие конструкции здания – фундаменты из монолитной железобетонной плиты толщиной 500 мм, по которой установлены фундаментные блоки типа ФС по серии 1.116-1 вып. 1 толщиной 500 мм. По верху фундаментных блоков и стен подвала выполнен железобетонный пояс. По железобетонному поясу уложены ребристые железобетонные плиты, а также продольные стены наружные и внутренние, выполненные толщиной 510 мм из глиняного кирпича пластического формования с облицовкой толщиной 120 мм силикатным кирпичом. Перекрытия и покрытие здания выполнены из ребристых железобетонных плит размером 400х1485х5550 мм типа П1-4 по серии ИИ 24-1.

Выявлено, что в обследуемом помещении на отм. 0,000 установлены ребристые железобетонные плиты, выполненные из бетона марки М300 с рабочей арматурой □22 мм класса прочности А-III. Данные плиты в соответствии с типовой серией способны воспринимать расчётную равномерно-распределённую нагрузку на полку – 2210 кгс/м^2, а на ребро – 2400 кгс/м^2.

Целью обследования и освидетельствования состояния несущих конструкций перекрытия здания являлась оценка их несущей способности и возможность установки на перекрытие дополнительного технологического оборудования.

Произведённое обследование технического состояния плит перекрытия показали, что основными дефектами плит являются продольные трещины по рёбрам вследствие поражения арматуры продольного ребра коррозией. Воздушная среда в помещении над перекрытием имеет большое влагонасыщение (не менее 70%), и влага насыщена растворами кислот и щелочей. Эксплуатационная среда для строительных конструкций в обследуемом помещении сильноагрессивная.

Так в помещении подвала расположен склад реагентов и приёмные резервуары, предназначенные для хранения отработанного хромового ангидрита, щелочных растворов гидроксидов натрия и калия, а также отработанных растворов электролитов неорганических кислот (H_2SO_4и НС). В помещении первого этажа расположено реагентное хозяйство, жидкие растворы которого в основном аналогичны растворам склада реагентов.

Таким образом, на несущие конструкции перекрытия над подвалом действует агрессивная среда в виде водных растворов и через паровоздушную среду. Выявлено, что в продольных рёбрах многих плит перекрытия наблюдается отслоение защитного слоя бетона и коррозия рабочей арматуры на глубину до 50 мм.

Так замеры арматуры в рёбрах плиты типа П1-4 показали, что их диаметр поражён коррозией и составляет 18 мм, тогда как первоначальный диаметр составлял 22 мм. Замеры прочности бетона показали, что она составляет около В20 (класс бетона по прочности на сжатие).

Перерасчёт несущей способности плиты перекрытия с помощью сертифицированного программного комплекса SCADOffice показали, что ребристые плиты способны воспринимать расчётную распределённую нагрузку в размере 1633 кгс/м^2. Поэтому с учётом коррозии арматуры в

размере 22% рекомендовано установить расчётную нагрузку для плит перекрытия с учётом собственного веса в размере 1600 кгс/м^2, а без учёта собственного веса нагрузка возможна всего 1000 кгс/м^2.

Для восстановления эксплуатационных качеств плит перекрытия рекомендовано зачистить арматуру и бетон плиты от коррозии. Для этого необходимо:

1. отбить защитный слой с трещинами от арматуры;
2. очистить арматуру от ржавчины металлической щёткой или пескоструйным аппаратом;
3. обработать арматуру преобразователем ржавчины, например ортофосфорной кислотой;
4. на оголённые участки арматуры нанести защитное покрытие из цементно-латексного состава.

Цементно-латексное покрытие состоит из:

–латекса СКС-65 – 65 частей;

–портландцемент марки М400 (М500) – 100 частей;

–жидкое натриевое стекло – 10 частей;

–сланцевое масло – 3 части.

После выполнения всех ремонтно-восстановительных мероприятий рекомендуется усилить ребристые плиты перекрытия набетоннкой по верхней площади плиты бетоном класса прочности не менее В25 и применением металлической сетки из арматуры 4 мм и прочностью А500 с шагом 100х100 мм. При выполнении всех рекомендованных выше технических решений возможна эксплуатация плит перекрытия с заявленными технологическими характеристиками.

Литература

1.Градостроительный кодекс РФ.

2.Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Введён в действие Федеральным законом РФ №384-ФЗ от 30.12.2009.

3.ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. – 54 с.

4.Техническая эксплуатация и реконструкция зданий: Учебное пособие / И.С. Гучкин. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 349 с.

© Абрашитов В.С., Капустин А.Е., 2017.

УДК 539.3

Баширзаде С.Р.
аспирант
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Овчинников И.Г.
доктор технических наук, профессор
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»Балаковский инженерно-технологический институт (филиал)

КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМ РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ В СЕЙСМООПАСНЫХ ЗОНАХ

A BRIEF REVIEW OF THE CALCULATING PIPELINES PROBLEMS IN SEISMIC ZONES

Аннотация. Приведён краткий обзор проблемы расчета трубопроводных конструкций в сейсмически опасных зонах. Отмечается, что при динамических взаимодействиях трубопроводных конструкций с грунтом, вязкие свойства грунтов проявляются наиболее сильно и должны

учитываться при расчете конструкций. При высоких скоростях взаимодействия необходима разработка специальных методик расчета напряженно-деформированного подземных трубопроводных конструкций, расположенных в сейсмических районах, основанных на использовании обобщенной модели трубопровода, включающей модели конструкции, материала, нагружения, взаимодействия с грунтом, взаимодействия с агрессивной средой, предельного состояния.

Ключевые слова:трубопровод, грунт, тектонический разлом, динамика, сейсмика, обобщенная модель трубопровода

Abstract. A brief review of the pipeline structures assessment problem in seismic zones is produced in the work. It is noted that the dynamic interaction of constructions with soil viscous properties of soils are manifested most strongly and should be considered in structural design. At high speeds, the interaction necessary to develop special methods of calculation of stress-strain of underground pipeline structures located in seismic areas. It’s must be based on using a generalized model of the pipeline, including models of design, material, loading, interaction with the ground, interaction with aggressive environment, limit state.

Keywords: pipeline, ground, tectonic faults, dynamics, seismicity, generalized model of pipeline

Магистральныет рубопроводы помогаюто беспечить потребности населения основными ресурсами: нефтью, природным газом, нефтепродуктами и т.д. Обширные сети трубопроводов, как внутри страны, так и за рубежом, поддерживают жизненно важные функции государств, а также являются одним из основных факторов экономического развития. Строительство трубопроводов ведется в

различных природно-климатических условиях, включая сейсмически активные районы. При установлении сейсмических нагрузок на трубопроводы существует большая неопределенность, приводящая к неопределенности в величине и скорости потенциального смещениятрубопроводов. Из-за этого при проектировании каждого конкретного участка пересечения трубопроводом тектонических разломов и сейсмически опасных зон необходимо учитывать индивидуальные особенности места пролегания магистрального трубопровода.

При проектировании и расчете подземного трубопровода необходимо учитывать климатические особенности района, характер воздействия окружающей среды, грунтово-геологические и сейсмические условия. Вопросы динамического взаимодействия трубопровода с грунтом при сейсмических воздействиях актуальны как для отечественной, так и зарубежной практики [24].

Характерная особенность изучения напряженного состояния трубопровода в зонах тектонических разломов заключается в том, что воздействие со стороны грунта на трубу происходит со значительными скоростями. В свое время в монографии Герсеванова Н.М.[11] были достаточно подробно рассмотрены теоретические и экспериментальные аспекты процессов, происходящих в грунтах при динамических нагружениях. Изучению взаимодействия грунтов и трубопровода посвящены труды Клейна Г.К. [15] и Бондаря Н.Г. [8]. В работе [8] автор подчеркивает, что расчет трубопроводных конструкций вне связи их с грунтами недопустим и что неучет действительных условий работы трубопроводов в грунтах приводит к заниженным расчетным нагрузкам и, как следствие, к аварийным ситуациям.В настоящее время ни один трубопровод не должен сооружаться без предварительных оценок

продольных и поперечных перемещений труб в грунте, осадок, их изменений во времени и т.п.

Взаимодействие грунтов и сооружений рассматривалось в работах Флорина В.А. [27] и Цытовича Н.А. [28], в которых приведены основные положения, зависимости и методы расчета напряжений на подошвах сооружений при заданной внешней нагрузке с учетом реологических особенностей грунтов.

На необходимость учета влияния скорости передачи нагрузки в грунте на подземную конструкцию, а также учета изменения реологических свойств грунта указано в работе Быховского В.А. [9]. Рассмотренные в этой работе модели наиболее полно отражают различные свойства грунтов, приведены примеры негативных последствий неучета таких свойств грунтов как вязкость, динамические, релаксационные свойства и т.д.

В работе Рашидова Т. Р. [22] рассмотрено взаимодействие трубопровода и грунта вне зоны тектонического разлома при воздействии сейсмических волн. Анализируется влияние различных грунтовых условий на напряженное состояние трубопровода при сейсмических воздействиях. При этом не рассматривается задача взаимодействия грунта и трубопровода в сейсмически опасных зонах при поперечных скоростных подвижках грунта.Математическое описание взаимодействия упруго-вязких сред рассмотрено в работе Рашидова Т. Р. «Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений» [23].

В работе Львовского В.М. [19] рассматриваются колебания тоннеля в грунте и указывается на необходимость учета вязкоупругого взаимодействия. Показано, что игнорирование подобного взаимодействия

при расчете сооружения привело к несчастным случаям в подземных тоннелях Бостона [25].

Напетваридзе Ш.Г., Гехман А.С. и Спиридонов В.В. в своей работе [20] обобщили и проанализировали материалы о последствиях ряда землетрясений применительно к трубопроводам, резервуарам и другим сооружениям. Также в ней рассмотрены вопросы влияния грунтовых условий и капитальности объекта строительства на выбор расчетной сейсмичности, приведены сведения о механизме возникновения колебаний в рассматриваемых сооружениях и методики расчета различных систем трубопроводов и подземных резервуаров, собраны данные о существующих конструкциях сейсмостойких трубопроводов и резервуаров.

В работе Гехмана А.С. и Зайнетдинова Х.Х. [12] приведены данные о воздействии сейсмических волн на напряженное состояние трубопровода и приведен анализ материалов о состоянии подземных трубопроводов после землетрясений. Результаты исследований позволили авторам сделать вывод, что одной из главных причин разрушения этих сооружений являются сейсмические воздействия, направленные вдоль продольной оси трубопровода. При этом отмечено, что при пересечении трубопроводом линий тектонических разломов наибольшую опасность представляют поперечные нагрузки, воздействующие на трубопровод.

Среди зарубежных исследователей, занимающихся изучением динамических свойств грунтов, можно отметить работу японского ученого Ионина М.Ф. [14], в которой показано, что сопротивление грунтов динамическим нагрузкам превышает 1,5-2 раза статические нагрузки. В [32] приводится сравнительный анализ статических и динамических испытаний песчаного грунта. Сравнение статического модуля упругости

прииспытаниях штампом с динамическим модулем при сейсмических испытаниях показало, что отношение динамического модуля при малых деформациях к статическому упругому модулю равно 8,015.

Данные о различном проявлении свойств грунтов при статических и динамических нагрузках приведены в [25]. Из результатов исследований следует, что при высоких скоростях приложения нагрузок (динамическое нагружение) в первую очередь проявляются вязкоупругие характеристики грунта, что оказывает существенное влияние на нагрузки, передающиеся на сооружения, в том числе и на трубопроводы, и приводит к результатам, отличающимся от случая статического нагружения [25].

Проблемы изучения подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях, а также трубопроводов, пересекающих активные тектонические разломыв линейной постановке, были рассмотрены за рубежом в работах Йю К. [38], Арьи А.К. [26], Джеффри Р.К. [36], Баума Р.Л. [37], а также в Руководстве по сейсмическому проектированию подземных трубопроводов IITK-GSDMA [35]. В этих работах не были рассмотрены вопросы изменения реологических свойств грунта и их влияния на величину нагрузок, передающихся на трубопровод. В зарубежной нормативной документации ASCE [30], BSEN 1998 Eurocode 8 [33],DNV-RP-D101 [34], ASMEB31.4 [31], ASMEB31.8 [32] также, как и в отечественной, не рекомендуется подземная прокладка трубопроводов в зонах разломов земной коры, и отсутствуют методики определения напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов в зонах активных тектонических разломов.

Исследованию динамического взаимодействия песчаного грунта, характера его трансформирования и передачи нагрузок на конструкции, проложенные в грунте, посвящена работа Котова В.Л. [16]. Вопросы

взаимодействия грунтов с деформируемыми телами рассматриваются также в работе Бережного Д.В. [7].

Практические задачи взаимодействия различных конструкций с упруго-вязкопластическими грунтами при динамических нагружениях приведены в статьях Васенина В.А. [10], Котова В.Л. [16], Баландина В.В. [4]. В статье Готцева Д.В. [13] приведены количественные данные, подтверждающие необходимость учета упруго-вязкопластических свойств грунта при динамических воздействиях в сейсмоактивных районах.

Все рассмотренные работы говорят о необходимости учета упруго-вязких свойств грунтов при их взаимодействии с различного рода конструкциями, но их результаты не могут быть непосредственно применимы для анализа подземных трубопроводов.

В настоящее время для расчета перемещений подземного трубопровода в основном используется методика, приведенная в работе Автахова З.Ф. [1]. В соответствии с этой методикой грунт моделируется в виде упругого основания, при котором перемещения пропорциональны нагрузкам. Сопротивление ограничивается некоторой постоянной величиной, равной величине предельного сопротивления грунта. Аналогичный подход для статических и квазистатических задач также используется в некоторых зарубежных работах [29, 32].

Использованный в этих работах метод пригоден для статических расчетов трубопроводов в грунте. Однако этот метод не учитывает динамические нагрузки, возникающие при скоростных подвижках, что вносит существенные погрешности в расчет трубопроводов, проложенных в сейсмических зонах.

Экспериментально-теоретическому изучению свойств грунтов при динамических нагрузках посвящена работа Литовченко И.Н. [18]. В ней на

основании экспериментальных исследований приведены значения динамических и статических модулей упругости для различных грунтов. Показано, что упруго-вязкая и упруго-вязкопластическая модели при динамической внешней нагрузке дают наиболее достоверные величины передачи нагрузки от грунта на сооружение.

За последние годы проведены исследования, по результатам которых было опубликовано несколько работ, рассматривающих влияние тектонических разломов на напряженное состояние трубопровода. Это работы Андреевой Е.В. [2,3], Сущева Т.С. [26], Сенцова С.И., Фигарова Э.Н.[24,25] и т.д.

Что касается нормативной базы по расчёту сооружений на землетрясения, то одной из последних работ, в которой обсуждается этот вопрос, является труд Курбацкого Е.Н., Мазура Г.Э. и Мондруса В.Л.[17]. В работе авторы отмечают, что проектирование гражданских и транспортных сооружений в настоящее время не обеспечено нормативными документами, соответствующими современным знаниям по сейсмологии и современному уровню развития динамических методов расчёта сооружений.

Заключение

На сегодняшний день проблема анализа поведения трубопроводов в сложных геологических условиях является всё более актуальной. Для прогнозирования поведения трубопроводовследует использовать обобщенную модель трубопроводной конструкции, учитывающую всю совокупность действующих факторов [5,6,21]. Обобщенная модель трубопровода включает в себя совокупность следующих моделей: модель трубопровода, как конструктивного элемента;модель материала трубопровода;модель взаимодействия трубопровода с грунтом;модель

нагружения трубопровода;модель воздействия агрессивной рабочей среды;модель наступления предельного состояния. Этот подход к рассмотрению поведения трубопровода является реализацией подхода, когда трубопровод рассматривается как сложная система, состоящая из ряда подсистем.

Литература

1. Автахов, З.Ф. Безопасность магистральных трубопроводов на участках перехода тектонических разломов/ З.Ф. Автахов, П.Ю. Пионт, Р.С. Трушин, В.А. Галкин// Трубопроводный транспорт (теория и практика).- 2007. - №3(9). - С. 108-112.

2. Андреева, Е.В. Оценка устойчивости трубопровода при поперечных перемещениях, вызванных сейсмическими воздействиями/ Е.В. Андреева, Г.Г Васильев // НТЖ «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов» ИПТЭР. – 2009. - №1 (75). - С. 43-48.

3. Андреева, Е.В. Разработка методики оценки несущей способности подземных магистральных трубопроводов в сейсмически опасных зонах: дис. канд. техн. наук: 25.00.19/ Андреева Елена Владимировна. – М., 2009. – 138 с.

4. Баландин, В.В. Экспериментально-теоритическое изучение процессов проникания сфероконических тел в песчаную среду/ В.В. Баландин, А.М. Брагов, С.В. Крылов, Е.В. Цветкова//Вычислительная механика сплошных сред. – 2010.-Т. 3 № 2. – С. 15-23.

5. Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г. Прогнозирование поведения трубопроводных конструкций в сложных грунтово-геологических условиях. Часть 2. Модели взаимодействия грунта с трубопроводом // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017)

http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN117.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. с. 1- 18.

6. Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Прогнозирование поведения трубопроводных конструкций в сложных грунтово-геологических условиях. Часть 3. Учет влияния коррозионного износа // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) https://naukovedenie.ru/PDF/79TVN517.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. С. 1 – 16.

7. Бережной, Д.В. Моделирование процессов нелинейного деформирования грунтов, взаимодействующих с деформируемыми конструкциями/ Д. В. Бережной, И. С. Кузнецова, Л. Р. Секаева// Проблемы нелинейной механики деформируемого твердого тела: Труды Второй международной конференции. - Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – С. 64–67.

8. Бондарь, Н.Г. Нелинейные автономные системы строительной механики/Н.Г. Бондарь. – Москва: изд. Стройиздат, 1972. – 128 с.

9. Быховский, В.А. Сейсмостойкие сооружения за рубежом/ В.А. Быховский, К.С. Завриев, С.В. Медведев. – Москва: Издательство литературы по строительству, 1968. - 224 с.

10. Васенин, В.А. Оценка параметров колебаний грунта при ударном погружении свай. Основные следствия/ В.А. Васенин// Реконструкция городов и геотехническое строительство. Научные доклады. – 2007. - №7. – С. 210-224.

11. Герсеванов, Н.М. Основы динамики грунтовой массы/ Н.М. Герсеванов. –Л.: Стройиздат, 1937. – 242 с.

12. Гехман, А.С. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах/ А.С. Гехман, Х.Х. Зайнетдинов. – М. :Стройиздат, 1988. – 182 с.

13. Готцев, Д.В. Устойчивость цилиндрических горных выработок в пористых массивах со сложной реологией сжатого скелета/ Д.В. Готцев, А.Н. Стасюк // Механика предельного состояния. – 2010. - №2(66). – С. 31-40.

14. Ионина, М.Ф. Численное исследование задачи об ударе упругих цилиндрических оболочек о воду/ М.Ф. Ионина// Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 4 №3. – С. 84-94.

15. Клейн, Г.К. Расчет труб, уложенных в земле/ Г.К. Клейн. – М.: Госстройиздат, 1957. – 147 с.

16. Котов, В.Л. Оценка эффектов поверхностного трения при нестационарном контакте элементов конструкции с песчаным грунтом/ В.Л. Котов, В.В. Баландин, А.К. Ломунов// Проблемы прочности и пластичности. – 2010. - вып. 72. – С. 137- 141.

17. Курбацкий Е.Н. Критический анализ состояния нормативной документации по расчету сооружений на землетрясения/ Е.Н. Курбацкийй, Г.Э. Мазур, В.Л. Мондрус//Academia.Архитектура и строительство. – 2017. – С. 92 – 102.

18. Литовченко, И.Н. Физические параметры очаговых зон сильных землетрясений земной коры Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий /И.Н. Литовченко// Известия НАК РК. Серия геологическая. – 2009. - №5. – С. 59-67.

19. Львовский, В.М. Установившиеся колебания цилиндрической оболочки в упругой среде под действием подвижной нагрузки/ В.М. Львовский, В.И. Онищенко, В.И. Пожуев//Сб.: Вопросы прочности пластичности. – Днепропетровск. - 1974. – С. 98-110.

20. Напетваридзе, Ш.Г. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности/Ш.Г. Напетваридзе, А.С. Гехман, В.В. Спиридонов. – М.: Наука, 1980. – 171 с.

21. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Баширзаде Самир Рафаил оглы Прогнозирование поведения трубопроводных конструкций в сложных грунтово-геологических условиях. Часть 1. Обобщенная модель деформирования трубопровода // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) http://naukovedenie.ru /PDF/60TVN416.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

22. Рашидов, Т. Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений/ Т. Р. Рашидов. - Ташкент: ФАН, 1973.- 179 с.

23. Рашидов, Т. Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений/ Т. Р. Рашидов. - Ташкент: ФАН, 1973.- 179 с.

24. Сенцов, С.И., Фигаров, Э.Н. Оценка напряженного состояния подземных трубопроводов в зонах активных тектонических разломов при различных грунтовых условиях/ С.И. Сенцов, Э.Н. Фигаров// Нефтегазовое строительство. – 2013. - №2. – С. 43-45.

25. Сенцов, С.И., Фигаров, Э.Н. Расчет подземного трубопровода при динамическом взаимодействии с грунтом/ С.И. Сенцов, Э.Н. Фигаров// Нефтегазовое строительство. - 2013. - №4.- С. 40-44.

26. Сущев, Т.С. Повышение безопасности магистральных нефтепроводов на участках пересечения с АТР: диссертация канд. мат. наук: 25.00.19/ Тимофей Сергеевич Сущев. - Уфа, 2010. – 114 с.

27. Флорин, В.А. Основы механики грунтов: в 2 т./ В. А. Флорин. – М.: Государственное издательство литературы, 1959. – 1 т.

28. Цытович, Н.А. Механика грунтов/ Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

29. Arya, A.K. Seismic design of continuous buried pipeline/ A.K. Arya, B. Shingan, Ch. Vara Prasad // International Journal of Engineering and Science. –2008. – V.1 Issue 1. – P. 6-17.

30. ASCE Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline System. – New York: American Society of Civil Engineers, 2001. – 473 p.

31. ASME B31.4 Pipeline Transportation System for Liquid Hydrocarbons and Liquids. – New York: The American society of mechanical engineers, 2009. – 97 p.

32. ASME B31.8 Gas Transmission & Distribution Piping Systems. - New York:The American society of mechanical engineers, 2012. – 224 p.

33. BS EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. – Brussels: BSI, 2004. – 230 p.

34. DNV-RP-D101 Structural analysis of piping system. – Hovik, Norway: Det Norske Veritas, 2008. – 42 p.

35. IITK-GSDMA Guidelines for Seismic design of buried pipelines. – Kanpur (India): National information center of earthquake engineering, 2007. – 104 p.

36. Jeffrey, R. K. Geotechnical challenges for design of a crude oil pipeline across an active normal fault in an urban area/ R. K. Jeffrey, G. H. Douglas //7th International Pipeline Conference. – 2008. – September 29-October 3. - P. 1-6.

37. Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines: open-file report / R.L. Baum, L.G. Devin, L.H. Edwin. - U.S. Geological Survey, 2008. – 202 p.

38. Yu X. Field evaluation of ground stiffness by static and dynamic tests/ X. Yu. -West Lafayette: School of Civil Engineering, 2004. – P. 1-6.

© Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г., 2017

УДК 624.014

Белоусов Е.А.
магистрант, Уральский Государственный Университет Путей Сообщения, г. Екатеринбург, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ КОРРОЗИОННОМУ ИЗНОСУ

FORECASTING THE BEHAVIOR OF METAL ROD STRUCTURES SUBJECTED TO CORROSIVE WEAR

Аннотация. В данной статье представлены существующие подходы к классификации коррозии стали, а также модели коррозионных процессов; описываются основные проблемы, связанные с выбором подходящей модели, для дальнейшего прогнозирования поведения стальных конструкций.

Ключевые слова: стержневые конструкции, коррозионный износ, металлические конструкции, ферма, структурная плита, математическое моделирование.

Abstract. This paper studies different approaches to steel corrosion classification. Models of corrosion are also considered in the paper. The main problems related to a choice of an appropriate model for further prediction of corrosion behavior of steel structures are described.

Key words: framing, corrosive wear, steel construction, girder, structural plate, mathematical modeling.

Многие промышленные и общественные здания, а также инженерные сооружения, эксплуатируемые в наши дни, построены еще в первой половине двадцатого века, во времена интенсивного развития

промышленности в СССР. Сегодня эти объекты детально обследуются и при необходимости ремонтируются или реконструируются. Инженерные обследования показывают, что коррозионное разрушение металла является одним из наиболее распространенных повреждений стальных каркасов и их элементов, а также инженерных сооружений. Так, согласно данным [1] стоимость коррозии для человечества по всему миру – 2,2 триллиона долларов в год, что составляет более 3% мирового ВВП.

В последнее десятилетие в России активно идет строительство крупных спортивных и промышленных объектов, а также инженерных сооружений, где основным конструкционным материалом является сталь. Примерами могут служить – арены к чемпионату мира по футболу 2018, олимпийский комплекс в городе Сочи, промышленный комбинат "СИБУР Тобольск", мост через Керченский пролив, энергомост от Зейской ГЭС в Китай и др.

Задача прогнозирования поведения стальных конструкций, подвергающихся коррозионному износу, является важной как для обнаружения и предотвращения критических для работоспособности коррозионных процессов в конструкциях существующих зданий и сооружений, так и для предупреждения возникновения таких процессов в элементах строящихся зданий и сооружений.

Коррозия – это процесс разрушение металла в результате взаимодействия с внешней средой. Причиной возникновения коррозии является термодинамическая неустойчивость металла во внешней среде. Известно, что с точки зрения термодинамики коррозионные процессы необратимы без изменений в окружающей среде. Существует множество классификаций коррозионных процессов, где за основу приняты различные признаки. В работе [5] приведена одна из таких классификаций,

в которой все процессы коррозии разделены на семь классов: избирательная, щелевая, механохимическая, электрохимическая, химическая, биологическая, высокотемпературная. Внутри каждого класса выделены наиболее характерные виды коррозии: сплошная коррозия, питтинговая коррозия, коррозия пятнами, язвенная коррозия, нитевидная коррозия,контактная коррозия, коррозионное растрескивание и др.

Несмотря на то, что проблема возникновения и протекания коррозионных процессов актуальна в научном сообществе, на практике эта тема почти не отражена в нормативной литературе и не используется в реальных инженерных расчетах при проектировании.

На сегодняшний день моделирование коррозионных процессов основано прежде всего на эмпирических данных, и сводятся к описанию изменения различных параметров (количественных показателей) во времени, которые позволяют установить степень коррозионного поражения.

Чаще всего такими параметрами служат:

- изменение массы;
- изменение площади сечения;
- изменение прочностных характеристик;
- глубина коррозионного поражения и др.

Овчинников И.И. и Овчинников И.Г., говоря о прогнозировании и моделировании коррозионных процессов, в своей книге отмечают, что: "На интенсивность коррозионных процессов влияет множество факторов различной природы, точное значение которых трудно или даже невозможно предсказать. По этой причине коррозионный процесс по существу является стохастическим, и его прогнозирование возможно лишь с той или иной надежностью, зависящей от степени изменчивости всех

влияющих на него факторов. С другой стороны, стохастические факторы не определяют характер коррозионного процесса, а лишь являются «шумом», случайным образом искажающим регулярный характер физико-химических процессов коррозионного разрушения. Именно регулярный характер этих процессов и позволяет строить математические модели коррозионного износа сталей в различных условиях. При этом модели могут быть как детерминированными, не учитывающими случайные факторы, так и стохастическими, в которых делается попытка учета стохастических эффектов и оценки стохастических характеристик процесса (4 , с. 9).

Модели коррозионного износа сталей в математическом выражении разделяют на два класса[4]:

- модели, описывающие физико-химический процесс коррозии;
- феноменологические модели, дающие описание скорости изменения различных параметров от времени.

Физико-химические модели - модели, устанавливающие математическую связь между различными характеристиками окружающей среды (влажность, температура, агрессивность окружающей среды и т.д.) и параметром коррозии, в таблице 1 приведены примеры таких моделей [3].

Стоит отметить, что большая часть существующих моделей, описывающих коррозию - феноменологические. Основанием построения таких моделей служат экспериментальные данные, используя которые подбираются наиболее подходящие эмпирические формулы. Внутри группы моделей второго класса, существует деление на модели, не учитывающие и учитывающие напряженно-деформированное состояние конструкций (таблица 2 и таблица 3 соответственно) [3].

Таблица 1. Физико-химические модели коррозионных процессов

№	Вид модели
1	$\delta = \frac{\delta_к^{ф} t_w m}{1000П}$
2	$\delta = (0,035 + 0,70[SO_2]) \cdot t$
3	$V_9 = \left[V_{20} + \frac{\Delta k}{\Delta t}(T_1 - 20) \right] \cdot \tau$
4	$V_9 = \left[V_{01} + \Delta\tau \frac{\Delta k}{\Delta t} \right] \cdot n$
5	$M = t_л \cdot V[W] + t_з \cdot V[W_{am}]$
6	$V_t = b_0 \cdot [W] \cdot [SO_2] + b_1[W] + b_2 \cdot [SO_2] + b_3$
7	$M = (A_{адс} + a[C]) \cdot (t_{адс} - t_{фаз}) + (V_{фаз} + b[C] \cdot t_{фаз})$
8	$\delta = a_1(A_{адс}^{B}) \cdot ([SO_2] + \tau)$
9	$\delta = a_1(A_{адс}^{B}) \cdot ([SO_2] + \tau)$
10	$\delta = A \exp\left(\frac{\theta}{\rho T_{абс}} \right) \cdot t^{\frac{1}{n}}$, где $n = \left[A_1 \exp\left(-\frac{A_2}{\rho T_{абс}} \right) \right] \cdot t^{(a + bT_{абс})}$

Примечание:

a, a1, A, A1, A2, b1, b2, b3, b, m, n – постоянные коэффициенты;

$\frac{\Delta k}{\Delta t}$ – температурный коэффициент коррозии;

W, л, з, $\Delta\tau$, адс, фаз, τ_i – индексы, указывающие на влажность в летний (л), зимний (з)

периоды, перепад температур $\Delta\tau$, наличие адсорбционной (адс) и фазовой (фаз) пленок;

$\delta_к^{ф}$ – фактическаявеличинакоррозии за 100 часов увлажнения при 5°С;

T_B, T_t, T_0– соответственно температура средняя, меняющаяся во времени и начальная;

V_9, V_{20} – соответственно скорость коррозии для железа под непрерывно возобновляющейся пленкой влаги, скорость коррозии за один час смачивания при температуре 20°С;

τ – продолжительность смачивания в часах при данной температуре;

T – средняя наиболее вероятная температура за время высыхания пленки влаги;

n_1 – число смачиваний за рассматриваемый отрезок времени;

τ_1 – продолжительность сохранения фазовой пленки воды, ч;

$A_{адс}$ – время увлажнения.

Таблица 2. Феноменологические модели, не учитывающие напряженно-деформированное состояние конструкций

№	Вид модели
1	$\delta = k\left[1 - \exp(\alpha t)\right]$
2	$\delta = k \lg\left[a + t\right]$
3	$\delta = kt^n$
4	$\delta = \sqrt{a^2 + bt} - a$
5	$\delta = \frac{\delta_0 t}{t + T}$
6	$\delta = \alpha \ln^3 t + \beta \ln^2 t + \gamma \ln t + \chi$
7	$t = \frac{\delta}{k} - \left(\frac{\alpha}{2k^2}\right)\left[1 - \exp\left(-\frac{2k\delta}{\alpha}\right)\right]$
8	$\Gamma_1\Gamma_2 \frac{d^2\delta}{dt^2} + (\Gamma_1 + \Gamma_2)\frac{d\delta}{dt} + \delta = k\chi$
9	$\delta(t) = \gamma\left[1 - \left(\frac{\Gamma_1}{\Gamma_1 - \Gamma_2}\right)\exp\left(\frac{-t}{\Gamma_1}\right) + \left(\frac{\Gamma_2}{\Gamma_1 - \Gamma_2}\right)\exp\left(\frac{-t}{\Gamma_2}\right)\right]$
10	$\frac{d\delta}{dt} = \alpha\delta^n\varphi^k$
11	$\frac{d\delta}{dt} = v_0 \exp(-\alpha t)$
12	$\frac{d\delta}{dt} = k\delta(b - \delta),\ 0 < \delta < b,\ k > 0$
13	$\frac{d\delta}{dt} = k\delta(b - \delta) + \int_0^t F(t - \tau)\delta(\tau)d\tau$
14	$\frac{d\delta}{dt} = \frac{k}{\rho}10^{(C_\varphi - d)}$

Примечание:

δ – глубина коррозии;

t– время;

остальные величины являются определяемыми коэффициентами или функциями.

Таблица 3. Феноменологические модели, учитывающие напряженно-деформированное состояние конструкций

№	Вид модели
1	$\frac{d\delta}{dt} = V_0 + m\sigma$
2	$\frac{d\delta}{dt} = \alpha\varphi(t)\cdot(1+k\sigma)$
3	$\frac{d\delta}{dt} = V_0 \exp\left(\frac{A\sigma_0}{RT}\right)$
4	$\frac{d\delta}{dt} = V_0(1+k\varepsilon)\exp\left(\frac{A\sigma_0}{RT}\right)$
5	$\delta = \alpha t^b \exp(\gamma\sigma)$
6	$\delta = \alpha t^{(b+kS)} \exp(\gamma S)$
7	$\frac{d\delta}{dt} = k\cdot f(\sigma)(b-\delta)$
8	$\frac{d\delta}{dt} = \alpha\exp(-\beta t)\{v-(b-1)\exp(-\gamma\sigma)\}$
9	$\frac{d\delta}{dt} = \alpha\varepsilon(\sigma-\sigma_{пор})+V_0$
10	$\frac{d\delta}{dt} = (1+k\cdot Э)\cdot V(t)$
Примечание: δ – глубина коррозии, t – время; σ – напряжение; Т– температура; ε– деформация; Э – удельная энергия; остальные величины являются определяемыми коэффициентами или функциями.	

Сложность прогнозирования коррозионных процессов при помощи феноменологических моделей заключается в том, что не всегда

подобранные эмпирические формулы отражают реальный процесс. Еще одна проблема использования существующих моделей коррозии, связанная с тем, что каждая модель отражает лишь частные случаи(при определенных параметрах окружающей среды) и не является универсальной.

Известно, что элементы конструкций разделяют на: стержни, пластины, оболочки и массивные тела [2]. Наибольшее распространение при применении стали как конструкционного материала получили стержневые элементы. По характеру работы стержневые конструкции подразделяют на плоскостные и пространственные. К плоскостным стержневым конструкциям относятся – балки, стойки(колонны), раскосы, плоские фермы; к пространственным – структурные плиты.

Для моделирования с целью дальнейшего прогнозирования поведения существующих стержневых конструкций, подверженных коррозионному износу, в реальном инженерном расчете предлагается следующий порядок действий:

1. Анализ данных инженерного обследования и выбор наиболее подходящей из уже существующей феноменологической модели;

2. Определение значений коэффициентов выбранной модели, обеспечивающих наилучшее приближение;

3. На основании полученной модели разработка программы или использование готовых программных комплексов для расчета конструкций;

4. Анализ полученных результатов, сопоставление с результатами, полученными в итоге инженерного обследования.

Основная сложность заключается в том, что при подборе модели нужно учесть не только имеющиеся данные, но и попытаться спрогнозировать дальнейшую применимость выбранной модели.

В заключение отметим, что, несмотря на достаточную изученность механизма коррозии, существование математических моделей, а также ежегодный многомиллионный ущерб от коррозии конструкций для экономики страны – методикамоделирования и прогнозирования процесса коррозии практически не отражена в нормативной литературе и не используется в реальных инженерных расчетах.

Литература

1. Now is the Time. George F. Hays [Электронныйресурс] // The world corrosion organization.URL: http://corrosion.org/wco_media/nowisthetime.pdf

2. АлександровА.В. идр. Сопротивление материалов: Учебник для ст-тов вузов/ А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин/под ред. А.В. Александрова. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа,2009 – 559 с.

3. Овчинников И.И., Еллала Фпузи, Шпранкель М.Ю. Моделирование поведения мостовых металлоконструкций, подвергающихся коррозионному износу // Дороги и мосты. 2010. № 24. – С. 150-167.

4. Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Идентификация и верификация моделей коррозионных и деформационных процессов. – Саратов: СГТУ, 2014. – 207 с.

5. Петров. В.В., Овчинников И.Г., Шихов Ю.М. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. – Саратов: Из-во Сарат.ун-та, 1987. – 288 с.

© Белоусов Е.А., 2017

УДК 624.21.095

Бондарев Б.А.
Доктор технических наук, профессор,
Липецкий государственный технический университет
Борков П.В.
Кандидат технических наук, доцент,
Липецкий государственный технический университет
Сапрыкин Р.Ю.
Аспирант,
Липецкий государственный технический университет

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВАХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ПУТЕПРОВОДОВ

CYCLIC DURABILITY OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS IN THE EXPANSION JOINTS OF BRIDGE AND OVERPASS STRUCTURES

Аннотация. Представлены результаты исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов в условиях повторно-переменных напряжений.Методом усталостных испытаний, получены значения усталостной прочности полимерных композиционных материалов при различных характеристиках асимметрии цикла приложения нагрузки.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, долговечность, предел выносливости, коэффициент корреляции.

Abstract. Presents results of a study of cyclic durability of polymer composite materials under conditions of alternating stresses. Method fatigue tests, the obtained values of fatigue strength of polymer composites with different characteristics of asymmetry of cycle of load application.

Key words: polymer composite material, durability, endurance limit, the correlation coefficient.

Проблема долговечности материалов при эксплуатации транспортных сооружений (тоннели, мосты, путепроводы и т.п.) стала основной задачей, решаемой при проектировании и строительстве [1, с.13]. Вопрос эффективной гидроизоляции и антикоррозионной защиты гидротехнических, транспортных и промышленно-гражданских сооружений из бетона и железобетона продолжает оставаться на повестке дня у большинства ученых и производственников [2, с.19].

Результаты технических обследований мостовых сооружений на городских автомобильных дорогах в г. Липецке, Курске, Белгороде, Ставрополе, Пятигорске и др. показывают, что эксплуатация мостов и путепроводов в городских условиях отличается от эксплуатации на загородных (региональных трассах). Особенно это касается деформационных швов и покрытия мостового полотна в их зонах. В табл. 1 приведены наиболее характерные дефекты и повреждения деформационных швов.

Таблица 1

Дефекты и повреждения элементов деформационных швов

№ п/п	Наименование дефекта	Объем дефектов, %
Нарушение герметичности		
1	Одиночные (точечные протечки)	35
2	Протечки через поврежденное заполнение	40
3	Протечки из-под гидроизоляции под сопряжением шва с одеждой	20

4	Разрушение водоотводных лотков	5
Нарушение плавности проезда, снижение надежности		
1	Трещины в покрытии у шва и над ним	35
2	Разрушение покрытия в зоне шва	20
3	Разрушение заполнения, отрыв листов, повреждение узлов	10
4	Разрушение слоев одежды у шва	30
5	Расшатывание окаймления	2
6	Разрушение, отрыв и проваливание в зазор конструкции	3

Кроме вышесказанных дефектов большую роль процесса разрушения покрытия в зоне деформационных швов играет образование колеи из-за перепада отметок мостового полотна на стыке дорожной одежды и деформационных швов.

Для предотвращения колееобразования в зоне деформационных швов применяют следующие технические решения:

- устройство переходных зон;
- применение бетонных окаймлений;
- применение окаймлений из полимерных композиционных материалов, обладающих демпфирующими свойствами.

В процессе эксплуатации вышеуказанные элементы испытывают воздействия многократного приложения нагрузки, поэтому целесообразно исследовать циклическую долговечность полимерных композиционных материалов в условиях повторно-переменных напряжений.

Для испытаний были изготовлены двенадцать призм размерами 40×40×160 мм из полимерного композиционного материала на основе ФАМ и двенадцать призм размерами 40×40×160 мм из полимерного

композиционного материала на основе ФАЭИС-30. Для усталостных испытаний использовалась установка ИП 5113-100. Далее методом прямолинейной корреляции была произведена обработка результатов эксперимента. В результате была установлена связь между пределом выносливости и логарифмом числа циклов до разрушения. Эта связь выражается уравнением эмпирической линии выносливости:

$$R_{b,pul} = 104{,}71 - 13{,}87 \cdot lgN\ .$$

Установлено, что при уровнях нагружения меньших предела выносливости пронизанный системой таких микротрещин полимерный композит довольно длительное время может сопротивляться воздействию циклической нагрузки. Такой период будет тем больше, чем меньше амплитуда и уровень нагружения. На рис. 1, 2 представлены результаты испытаний на выносливость вышеуказанных полимерных композиционных материалов.

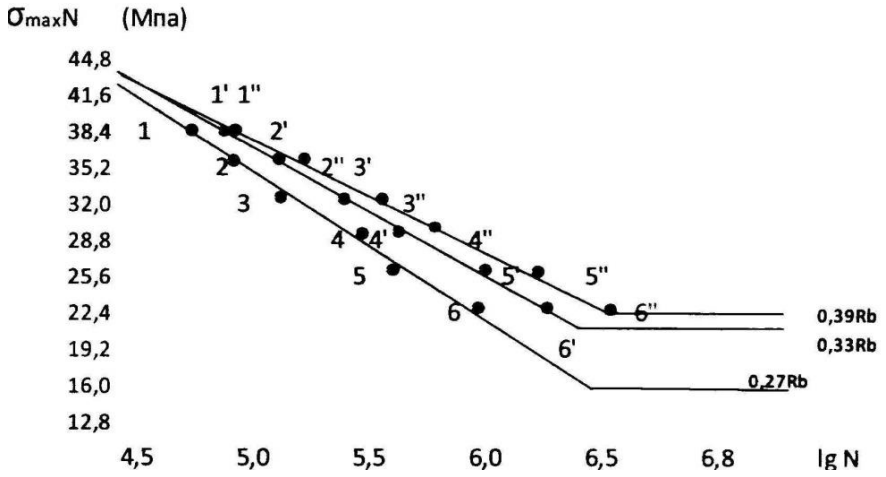


Рис.1. Линии усталостной прочности полимерного композиционного материала на основе ФАМ

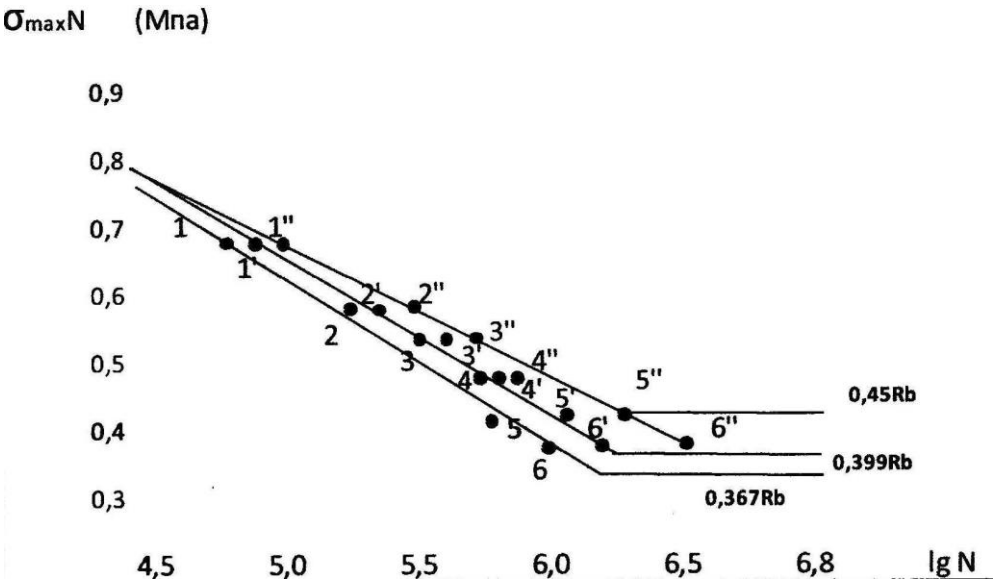


Рис.2. Линии усталостной прочности полимерного композиционного материала на основе ФАЭИС-30

Таким образом, можно сказать, что методом усталостных испытаний, получены значения усталостной прочности полимерных композиционных материалов при различных характеристиках асимметрии цикла приложения нагрузки. Из которых видно, что наиболее предпочтительным для использования в деформационных швах покрытия мостового полотна с точки зрения циклической долговечности, является материал на основе фурано-эпоксидных смол (ФАЭИС-30).

Литература

1. Бондарев Б.А., Борков П.В., Бондарев А.Б., Клюйков А.В. Повышение транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений при реконструкции и ремонте./ Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2017. № 3 (23). С. 13-17.

2. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов / А. Б. Бондарев, П. В. Борков, Б. А.

Бондарев, В. А. Жариков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 17—25.

© Бондарев Б.А., Борков П.В., Сапрыкин Р.Ю., 2017

УДК 624.04: 519.6

Бочков М.И.
аспирант,
Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Российская Федерация

РАСЧЕТ СИСТЕМ С УПРУГИМИ ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА

SYSTEMS WITH ELASTIC UNILATERAL CONSTRAINTSCALCULATION BY THE FINITE ELEMENT METHOD IN THE FORM OF A CLASSICAL MIXED METHOD

Аннотация. В статье представляется приложение алгоритма расчета систем с односторонними связями по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода для балок с односторонними упруго-податливыми связями. Продемонстрирована эффективность предлагаемого алгоритма на численном примере.

Ключевые слова: метод конечных элементов в форме классического смешанного метода, системы с односторонними связями.

Abstract. The article presents the application of the algorithm for the calculation of systems with unilateral constraints by the finite element method in

the form of classical mixed method for beams with unilateral elastic pliable connections. Demonstrated the effectiveness of the proposed algorithm on a numerical example.

Keywords: finite element method in the form of classical mixed method, systems with unilateral constraints.

Вопрос о моделировании систем с упругоподатливыми опорами является вопросом, широко освещенным не только специалистами в области механики, но и практикующими инженерами. Системы с односторонними связями относятся к классу «конструктивно-нелинейных» систем, и, как и другие задачи нелинейной строительной механики, рассчитываются итерационно. Комбинирование методов расчета односторонних связей и методов расчета упругоподатливых опор позволяет наиболее точно описать такие задачи, как системы «здание-основание», проблематика которых часто встречается в повседневной расчетной практике.

В 1867 году Немецким инженером Винклером был адаптирован закон Гука для расчета основания железнодорожных путей. Теория предложенная Винклером была основана на следующем ряде допущений [1, с.103-109]:

- балка абсолютно жесткая при работе на сдвиг;
- нет сил трения, действующих в почве;
- окружающий грунт не оказывает влияние на расчетную схему.

Макс Мария фон Вебер в 1869 году обобщил и дополнил практическими испытаниями весь инженерный опыт в своей монографии “Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahn-Gleise (stability of permanent way

structures)”. Однако, в связи с плохо развитыми методами расчета, результаты практической проверки расходились с результатами ранее верифицированных расчетов.

В то же время Винклером в его монографии “Die Lehre von der Elastizitat und Festigkeit”, впервые было выдвинуто предположение о пропорциональную зависимость между нагрузкой на основание и осадкой. Далее в работе Зиммермана (1888) было подтверждено это предположение для малых деформаций [1, с.106].

В дальнейшем, развитие теории расчета систем с упругим основанием было замедлено в связи со сложностью методов расчета. Однако, в 50-х годах, вместе с развитием классического метода конечных элементов, эта проблема была решена. В то время дифференциальное уравнениебалки на упругом основании было определено, как линейное дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, не зависящими от нагрузки. Эти соображения были выдвинуты в работе Поулмэна “Balken auf elastischer Unterlage als Teil einer Konstruktion”.

Однако, на данный момент модель Винклеровского основания не применима к расчету сооружений, в связи с недостаточной точностью (в особенности в отношении связанных грунтов). С этим связан поиск других способов расчета модели "Здание-основание".

Широкое распространение в современной инженерной практике получила конечно-элементная модель основания. При построении данной модели основание ограничивается "областью влияния", внутри которой наносится конечно-элементная сетка. Применение этой модели всегда даёт точное решение для статической задачи, однако, даёт ошибку при расчете динамики. Это связано с так называемым "эффектом коробки" - волны

отражаются от границ области влияния, тогда как в реальности этого эффекта быть не может. Для парирования этого эффекта по границам области устанавливаются специальные опоры.

Увеличение точности расчета систем “основание - сооружение” также связано с развитием методов решения такого класса задач строительной механики, как конструктивно-нелинейные задачи. В частности, задач с односторонними опорами.

Для моделирования односторонних связей могут применяться специальные контактные конечные элементы (ККЭ). Они применяются с целью дискретизации контактного слоя между поверхностями (фиктивного или имеющего место в реальных условиях). Этот слой объединяет взаимодействующие тела в единую систему и может удовлетворять условиям контакта. Данный подход позволяет свести конструктивно нелинейную задачу к рассмотрению самого контактного слоя. Различные численные схемы рассматриваются в работах П. П. Гонтаровского, Подгорного А. Н., А. А Лукашевича.

В [2] А. А. Лукашевичем представлен другой вариант исполнения контактного конечного элемента. В его работе аналогично используется дискретная расчетная модель МКЭ. В данной работе для моделирования контактного слоя используются специальные рамные контактные элементы. Расчет в этом случае является итерационным и пошаговым, и включает в себя анализ НДС системы на каждой итерации.

Для расчета упругих систем с дискретными односторонними связями применяю прямые итерационные методы, а именно те или иные алгоритмы переключения состояния связей. В частности, в работе В. П. Алёнина [3] предложен метод компенсирующих нагрузок для расчета конструктивно

нелинейных систем, с нелинейно упрочняющимися и разупрочняющимися опорами. Также предложены соответствующие способы решения и оптимизации СЛАУ.

В прошлых публикациях нами был продемонстрирован алгоритм решения задач с односторонними опорами [4]. Адаптируем разработанный ранееалгоритм к расчету систем с односторонними упругими связями без зазоров:

1. После выполнения расчета при расчетной схеме со всеми двухсторонними связями выполняется оценка величин и направлений реакций в односторонних связях, преобразованных в двухсторонние:

а) $R_j > 0 -$ по рабочему направлению j-ой односторонней связи,

б) $R_j = 0 -$ по рабочему направлению j-ой односторонней связи,

в) $\tilde{\Delta}_j > \Delta_j$, - перемещение по рабочему по рабочему направлению j-ой односторонней связи больше заданного,

г) $\tilde{\Delta}_j < \Delta_j$. - перемещение по рабочему по рабочему направлению j-ой односторонней связи меньше заданного,

2. Если выполняются оценкиа) ив), илиб) ив), то связь с номером j остается двухсторонней, если же эти условия не выполняются, и при этом имеет место оценкаг), то связь становится односторонней в расчетной схеме следующего итерационного цикла.

3. На втором итерационном цикле выполняется расчет балки с расчетной схемой, полученной после первого цикла, и снова делается оценка величин и направлений реакций во всех опорных связях с номером j.

4. По оценкам а, б, в, г снова принимается соответствующее решение по конструкции расчетной схемы следующего итерационного цикла. Если

для опоры, которая послепредыдущего цикла стала односторонней, выполняется оценкаг), то она остается односторонней. Если не выполняется, то снова становится двухсторонней.

5. С новой расчетной схемой, сформированной после второго итерационного цикла, выполняется расчет и формирование новой расчетной схемы в той же последовательности, что и на втором итерационном цикле.

6. Итерационные циклы продолжаются до совпадения расчетных схем нak-ойи(k+1)-ой итерациях.

Произведем расчет балки (Рис. 1), длиной 32 м., на упругом основании. Разделим участок на 16 участков по 2 м и установим там упруго-податливую опору. Жесткость балки примем равным EI, жесткость упруго-податливых опор – 0.2EI. Балка загружена в первом пролете усилием P=1.

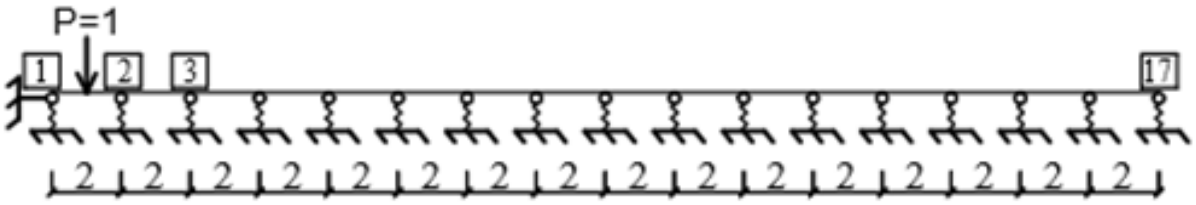


Рис. 1. Расчетная схема

В результате первой итерации расчета (Рис. 2, 1-я итерация) максимальное перемещение в нерабочем направлении связи приходится в сечении опоры №5. Согласно алгоритму необходимо удалить эту опору, как нерабочую, и произвести расчет с новой расчетной схемой (Рис. 2, 2-я итерация).

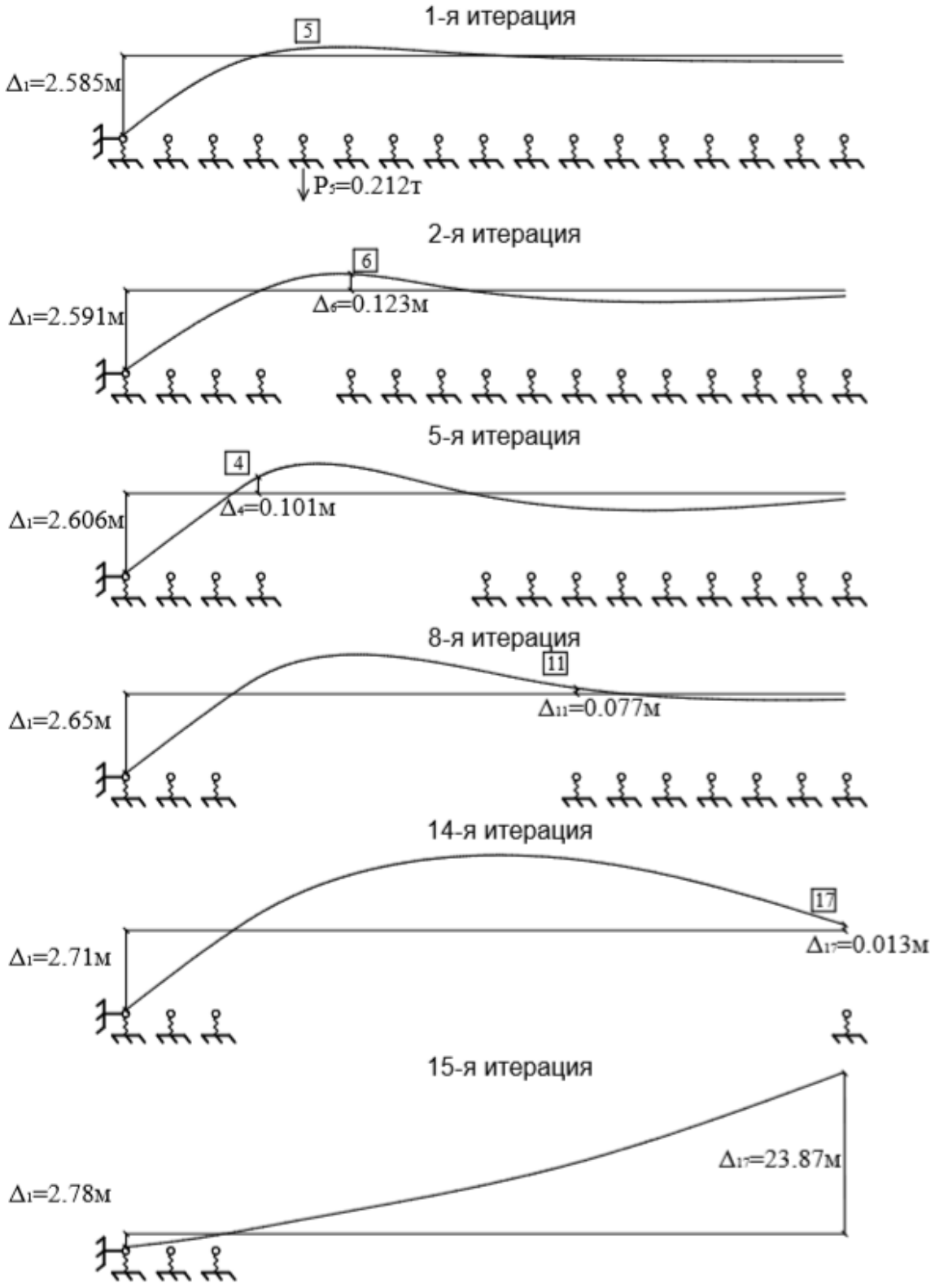


Рис. 2. Расчет балки. Определение параметров включения/выключения опор на разных этапах расчета

Согласно алгоритму, расчет можно считать оконченным в момент, когда реакция односторонних опор направлена в рабочем направлении, а перемещения в выключенных связях не исчерпывают зазор. Этому состоянию будет соответствовать состояние системы, в результате 15-й итерации расчета (Рис. 2, 15-я итерация). Стоит дополнительно обратить внимание на то, что, в процессе расчет было удалено 14 опор, ни одна опора не была восстановлена.

В данной работе продемонстрировано приложение алгоритма расчета систем с односторонними связями по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода, к задачам балок на упругом основании. Эффективность алгоритма показана на численном примере. Расчет занял большое количество итераций и привёл, в результате к последовательному отключению связей. В дальнейшем планируется изучить применения алгоритма к расчету плит на упруго-податливом основании, как систем, более приближенных к реально работающим конструкциям.

Литература

1. Karl-Eugen Kurrer The History of the Theory of Structural Mechanic - Berlin: Erns and Sohn, 2008– 848 с.

2. Лукашевич, А. А. Решение контакных задач для упругих систем с односторонними связями методом пошагового анализа:автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.23.17) / Лукашевич Анатолий Анатольевич; СПБГПУ – Томск, 2011 – 39 с.

3. Аленин, В. П. Итерационные методы расчета систем с внешними и внутренними односторонними связями: дис. на соиск. учен. степ. докт. тех. наук (05.23.17) / Аленин Виктор Петрович; Волгоград, 2002 – 327 с.

4. Игнатьев В. А., Игнатьев А. В., Бочков М. И. Применение метода конечных элементов в форме классического смешанного метода к расчету систем с односторонними связями: Строительная механика и расчет сооружений №2, 2017.

© Бочков М. И., 2017.

УДК 624.04

Буреев А. К.

аспирант, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

Овчинников И. И.

кандидат технических наук, доцент, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ТИПА «ТЕНСЕГРИТИ»

«TENSEGRITY»TYPE BRIDGE STRUCTURES INSTALLATION FEATURES

Аннотация. Рассматриваются особенности практической реализации самонапряженных конструкций (тенсегрити-систем) в мостостроении. Описаны способы монтажа несущих конструкций мостов с использованием самонапряженных элементов. Выявлены основные свойства рассматриваемых методов мостостроения.

Ключевые слова: самонапряженные конструкции, тенсегрити, развертывание, мостовое сооружение, управляемые элементы.

Abstract. Consider the features of the practical implementation self-stressed structures (tensegrity) in bridge construction. Describes the methods of installation of bearing structures of bridges using self-stressed elements. The basic properties of the considered methods of building bridges.

Keywords: self-stressed structures, tensegrity, deployment, bridge construction, manageable units.

Введение. Самонапряженные структуры, т.е. структуры тенсегрити, за счет равномерно распределенных усилий в элементах позволяют создать геометрически полезные конструкции, отличающиеся легкостью и малой материалоемкостью. Данный факт подчеркивает их весьма высокую пригодность для применения в строительстве и мостостроении в частности [1].

В настоящее время в мире есть несколько мостовых сооружений по типу тенсегрити. При внешней легкости и надежности эти мосты отличаются достаточно сложной структурой. В данной работе предлагается уделить внимание исследованию процесса монтажа подобных конструкций и выделить некоторые особенности.

Также отдельно остановимся на таком методе реализации тенсегрити структур, как развертывание. Этот процесс представляет собой преобразование предварительно компактно сложенных структур вконструкцию необходимого размера и определяется исходя из особенностей сооружения и условий строительства. На основе рассмотренного материала можно будет выявить уникальные свойства данных систем.

Конструирование тенсегрити-структур в мостостроении

1.Принцип тенсегрити и его применение в строительстве

Идея тенсегрити, т.е. идея самонапряженных систем, подразумевает совокупность взаимосвязанных жестких и растяжимых элементов, работающих на растяжение и сжатие. За счет правильного распределения усилий в элементах данных систем, создается уникальная пространственная целостность конструкции, в которой жесткие элементы

не имеют непосредственного контакта друг с другом (рис.1).Данные конструкции хорошо зарекомендовали себя в архитектуре и некоторых областях строительства, где удалось задействовать их геометрическую и структурную эффективность, а также малую материалоемкость [1].

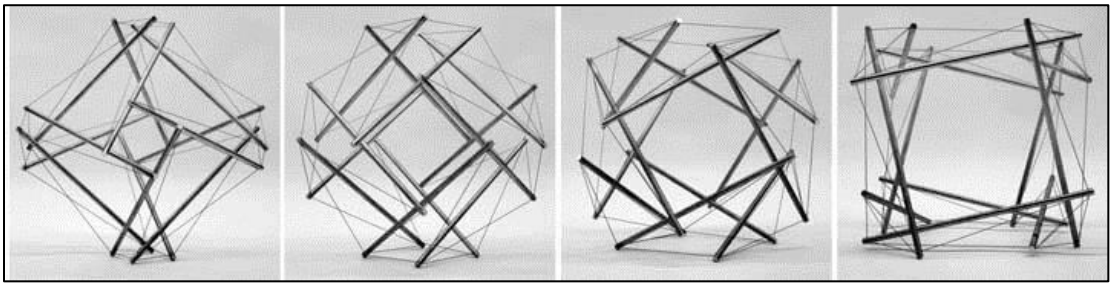


Рис.1 Пространственная модель тенсегрити

Возведение мостов и других сооружений по типу тенсегрити помимо сложного этапа проектирования, включает не менее сложный этап монтажа, во время которого необходимо поддерживать постоянные усилия в главных элементах. Для реализации систем тенсегрити в строительстве на сегодняшний день нет методических указаний, и инженеры на этапах проектирования и конструированияиспользуют точечные методы в зависимости от характера сооружения и условий его применения.

2.Особенности возведения моста Курилпа (Брисбен, Австралия)

Крупнейшим мостом по типу тенсегрити является мост Курилпа в австралийскомгороде Брисбен (длина 470м. при ширине 6,5м), открытый в 2009г. На этапе проектирования сооружения для расчета несущей конструкциибыли задействованы аналитические методы с применением программного обеспечения. Основой при разработке конструкции пролетного строениябыли правильный подбор геометрических характеристик жестких элементов и постоянная корректировка длины

соединительных тросов. Это позволило учитывать нелинейность конструкций тенсегрити. Процесс возведения моста подразумевал постепенный монтаж полетного строения с обоих берегов перекрываемой реки посредством добавления предварительно напряженных элементов, (рис.2).

Рис. 2 Процесс постепенного монтажа моста Курилпа

На этапе монтажа перед проектировщиками стояла сложная задача по определению местоположения узловых соединений, от которых зависела геометрическая целостность всего сооружения. Помимо этого особое внимание уделялось необходимости состыковки частей пролетного строения с учетом промежуточной опоры. Несмотря на сложности проектирования, инженеры проектировщики и строителей справились с задачей, и несущая конструкция пролетного строения моста Курилпа была возведена за 6 месяцев [2].

3.Развертка как способ монтажа тенсегрити-конструкций

Описанный выше процесс монтажа можно считать уникальным, но не единственным применительно к самонапряженным конструкциям.Отдельного внимания заслуживает исследование так называемой развертки тенсегрити-конструкций, т.е. процесса постепенного

преобразования конструкции из компактной системы в полноразмерную.Свое практическое применение эта методика нашла в конструировании аэрокосмической техники: антенн и матч (рис.3 и 4) [3].

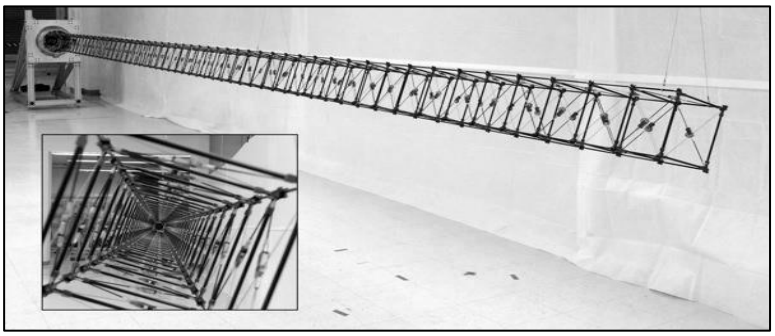


Рис. 3 Развертываемая управляемая мачта (космический телескоп)

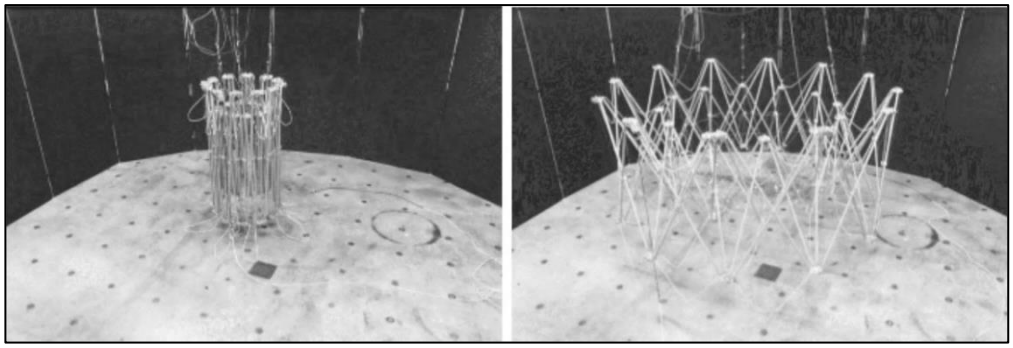


Рис.4 Процесс преобразования космической антенны

На показанных примерах видно, что пространственная структура тенсегрити может быть как полностью самонапряженной, так и частично, как, например, в случае телескопических мачт.Использование возможности развертки в данной области облегчает процесс транспортировки важных элементов в условиях ограниченного пространства [4].

4. Развертка применительно к проектированию и возведению мостового сооружения

Следовало ожидать, что такое нововведение вызовет интерес с точки зрения адаптации к строительству, в том числе и мостовому.

Сотрудниками Швейцарскогоуниверситета в Лозаннебыло спроектировано мостовое сооружение самонапряженного типа, по виду так называемого «полого каната». Кроме основных функций тенсегрити-структур был описан процесс развертывания модулей пролетного строения в единую конфигурацию (рис.5).

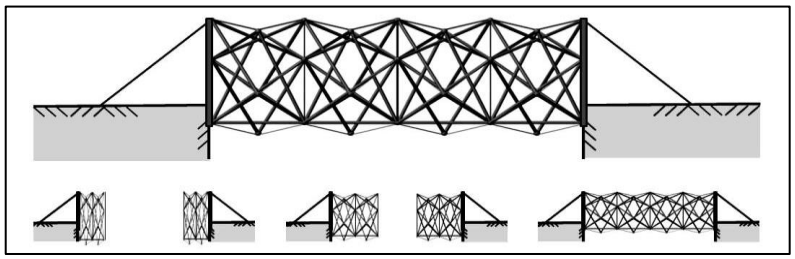


Рис.5 Проектная схема моста по типу «полого каната»

В случае данной проектной конструкции, в отличие от моста в Брисбене, модули пролетного строения монтируются предварительно и доставляются на объект строительства в компактном виде. Конструкция сооружения основывается на 4-х 5-ти угольных кольцевых тенсегрити-модулях, элементы которых показаны на рис.6.

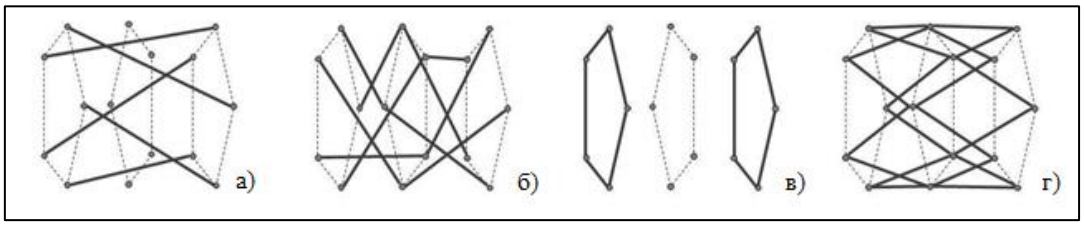


Рис.6 Элементы модуля: а) диагональные распорки, б) промежуточные распорки, в) крайние (разделительные) тросы, г) Х-образные тросы

Модульная система состоитиз 15-ти стоек и 30-ти тросов, соединенных посредством 15-ти узлов. На рис.5 изображены обособленные жесткие и соединительные элементы модуля. Пространственная жесткость системы определена на основе матрицы равновесия с использованием геометрических и размерных характеристик элементов.

Развертывание данной конструкции подразумевает наличие активных элементов, т.е. элементов, изменение характеристик (размеров и положения) которых будет менять конфигурацию системы в целом.На рис.7 продемонстрированы процессы изменения структуры модульных элементов, происходящие при развертке системы.

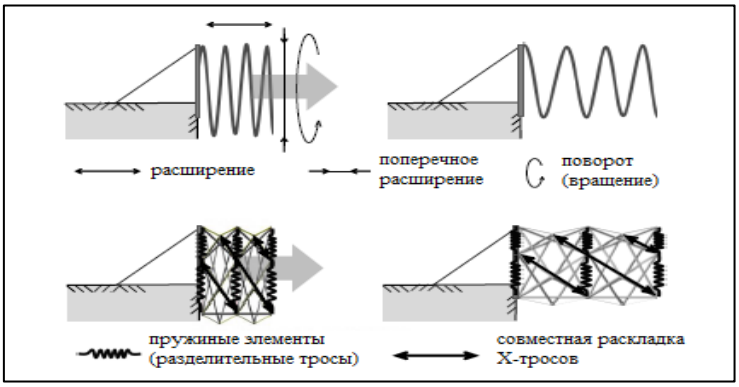


Рис.7 Геометрические процессы раскладки модуля

Процесс развертки 5-ти угольного модуля включает следующие этапы:1) расширение структуры модуля вдоль продольной оси конструкции, во время которого регулируется длина модуля; 2) поворот 5-ти угольных граней модуля вокруг своей оси; 3) расширение модуля до предполагаемой конфигурации. Модули сооружения приводятся в движение посредством привода через управляемые элементы. Согласно исследованиям наиболее управляемые элементы – Х-тросы. Раскладка происходит за счет изменения длины активных тросов. Главная стратегия при проектировании процесса раскладки – поиск необходимых шагов для получения искомой формы, что подразумевает итеративный подход к поиску правильной структуры. Поиск правильной конфигурации инженеры производили, в том числе, на примере специальной макетной установки (рис.8) [5].

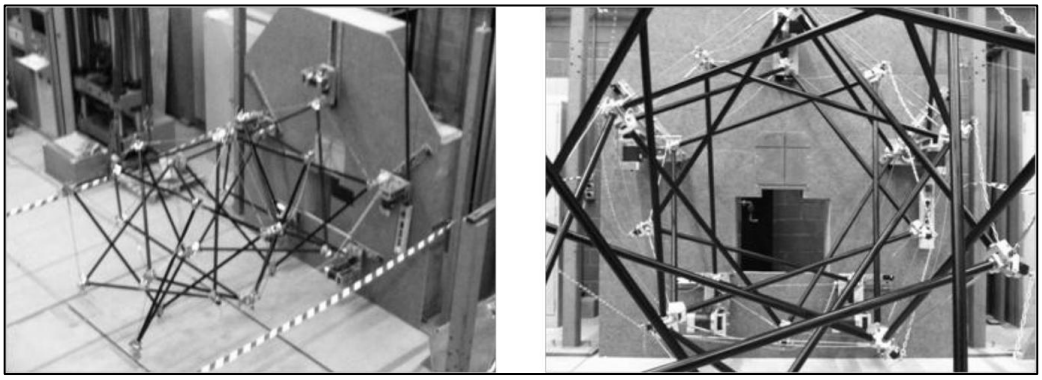


Рис.8 Уменьшенная модель для исследования развертки модуля тенсегрити

На основе исследований процесса развертки, были выявлены некоторые особенности, присущие только данному методу:

1) Основой для успешной операции раскладки является обеспечение необходимой (проектной) точности в перемещении элементов, и, как следствие, модулей. Наибольшей управляемости удалось добиться с увеличенным числом управляемых (изменяемых) элементов. Это в свою очередь несколько усложняетэтап проектирования и увеличивает расход материалов.

2) Более сложный процесс проектирования, в отличие от простых (неразвертываемых) структур в силу необходимости прогнозирования поведения конструкции в итоговой конструкции.

3) Принципиальное отличие работы некоторых (управляемых) элементов по сравнению со стандартными конструкциями тенсегрити.Это делает необходимым выделение отдельных групп элементов, которые заслуживают особого внимания при проектировании. То есть возможное повреждение управляемых тросов может привести к нежелательным последствиям, в том числе к непреднамеренному перемещению элементов конструкции.Возникает необходимость разработки правил проектированияименно для управляемых структур.

4) Необходимость учета влияния симметрии расположения основных элементов конструкции. Это связано с тем, что в развертываемых структурах изменение положения одного элемента может привести к аналогичному изменению положения однотипного элемента, в то время как в неуправляемых конструкциях тенсегрити аналогичный процесс может оказать влияние на всю конструкцию в целом, но в то же время может оказаться и более предсказуемым в поведении.

5) Необходимость создания алгоритмов пошагового включения в работу активных элементов, т.к. в процессе развертки конструкция принимает промежуточные равновесные положения, отличающиеся от итогового.

6) Возможность уменьшения общего числа элементов за счет обеспечения выгодной геометрической позиции управляемых (активных) элементов.Свойства конструкции, в зависимости от числа самонапряженных элементов, были исследованы на примере работы экспериментальной установки.

7) Необходимость отдельного проектирования пешеходной зоны (прохожей части) с учетом динамического характера сооружения. Это отличает конструкцию от моста Курилпа, пешеходный настил которого изначально собирался вместе с несущей системой.

8) В сравнении с традиционным методом конструирования тенсегрити-конструкций, т.е. пошаговым внедрением элементов, развертка может быть предпочтительней с точки зрения создания временных сооружений, т.к. остается открытым вопрос обеспечения надежности и долговечности подобных систем [6].

Заключение

Своевременный и технологически правильный монтаж строительных конструкций, в том числе и мостовых, является неотъемлемой частью реализации любого проекта. Вопросы монтажа самонапряженных конструкций ввиду их сложности и относительной новизны требуют индивидуального подхода. Анализ такого способа монтажа мостовых сооружений тенсегрити, как развертывание, свидетельствует о его достаточно узкой направленности (по крайней мере, в настоящее время). С учетом малого опыта практического применения данных конструкций, данный метод следует применять лишь для малых или временных конструкций.Также необходимо отметить такую важнейшую особенность любых мостовых сооружений: обеспечение необходимого уровня надежности и долговечности. С этой точки зрения способ последовательного монтажа тенсегрити-структур представляется предпочтительным, ведь именно таким способом возведен самый большой на сегодняшний день мост данного типа.

С другой стороны, использование технологии развертывания может привести к созданию уникальных с точки зрения управляемости конструкций, способных принимать рабочее положение в зависимости от условий применения. Поэтому данный способ монтажа самонапряженных систем требует более глубоко и теоретического и экспериментального исследования, в том числе с использованием программных комплексов и экспериментальных установок.

Литература

1. Буреев А.К., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Применение структур тенсегрити в архитектуре и мостостроении // Новые идеи нового

века – 2016: материалы Шестнадцатой Международной научной конференции = The new Ideas of New Century – 2016: The Fifteenth International Scentific Conference Proceedings: в 3 т. / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 3 т. ISBN 978-5-7389-1894-0. Т. 3. – 404 с. с. 200-206

2. Проект моста Курилпа (Брисбен, Австралия) [Электронный ресурс].-URL:http://www.solaripedia.com/13/129/kurilpa_solar_powered_bridge_(brisbane,_australia).html (дата обращения: 1.12.2017).

3. Развертываемые структуры [Электронный ресурс] .-URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Deployable_structure(дата обращения: 2.12.2017).

4. Deployable Tensegrity Structures for Space Applications by Gunnar Tibert, Doctoral Thesis for the Royal Institute of Technology Department of Mechanics, 2002. Reference number, TRITA-MEK Technical Report 2002:04 ISSN 0348-467X ISRN KTH/MEK/TR--02/04—SE

5. Landolf Rhode-Barbarigos, Ren_e Motro, Ian F.C. Smith. A transformable tensegrity-ring foot-bridge. 2012 IASS-APCS Symposium, May 2012, Seoul, South Korea. 8 p., 2012.

6. Sinan Korkmaz.Biomimetic characteristics of an active deployable structure, Ph.D. Research Proposal: Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, 2009. 60 p.

© Буреев А.К.,Овчинников И.И. 2017

УДК 69.059

Варламова Т.В.
Кандидат технический наук, доцент,
Саратовский государственный технический университет
Гамаюнов В.П.
Кандидат технических наук, профессор,
Саратовский государственный аграрный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ НАРУЖНОЙ НЕСУЩЕЙ СТЕНЫ ЗДАНИЯ СПОРТЗАЛА САРАТОВСКОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

INVESTIGATION OF THE GYMNASIUM EXTERNAL BEARING WALL CONDITION OF THE SARATOV AGRARIAN UNIVERSITY

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения надежности и долговечности каменных стен эксплуатируемых зданий. Приведены результаты исследования технического состояния конструкций здания спортзала в г. Саратове. Проанализированы дефекты и повреждения конструкций, выявлены причины их возникновения.

Ключевые слова: каменные конструкции, надежность, повреждения, дефекты.

Abstract. The article considers the issues of ensuring the reliability and durability of stone walls of operated buildings. The results of the study of the technical condition of the building of the sports in Saratov are presented. The defects and damages of the structures are analyzed, the reasons for their occurrence are revealed.

Keywords: stone constructions, reliability, damage,defects.

В октябре 2017 года было проведено визуальное обследование [1] северной наружной продольной несущей стены здания спортзала Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова. Поводом для обследования послужило образование в течение последних двух лет трещин в кирпичной кладке стены и интенсивное размораживания цокольной части стены.

Здание, построенное в 1976 году хозспособом,состоит из основного зала с трехэтажным бытовым блоком с восточной стороны и одноэтажных пристроек с южной и западной сторон.

Основной спортивный зал представляет собой одноэтажное зданиешириной 17,34 м, длиной 35,5 м, высотой до нижнего пояса стропильных ферм 6,3 м. Стены зала кирпичные из силикатного кирпича, толщиной 510 мм, с внутренней стороны оштукатурены, с наружной стороны выполнены под расшивку.

Для освидетельствования фундаментов под продольную наружную стену с северной стороны здания был отрыт шурф глубиной около 1,6 м до подошвы фундамента [2]. Фундамент под стену бутобетонный на глубину около 1 м от подошвы; выше часть фундамента и цокольная часть стены высотой около 1,2 м выполнены из керамического кирпича. Ширина фундамента соответствует толщине стены в цокольной части. Горизонтальной гидроизоляции между фундаментом и цокольной частью стены в зоне отмостки при обследовании не было обнаружено. Кирпич цокольной части чрезвычайно низкого качества, не отвечает требованиям по морозостойкости. По всей длине стены в цокольной части кладка с наружной стороны разморожена, местами на глубину до 250 мм, отслаивается пластами толщиной до 150 мм.

Бетонная отмостка у северной стены местами разрушена. На прилегающей территории в пониженных местах наблюдается застой воды у стены здания.

Продольная северная стена здания выше цокольной части выполнена из силикатного кирпича без пилонов в зонах опирания ферм покрытия. Ширина простенков, на которые опираются фермы покрытия, 1,1 м, ширина промежуточных простенков 0,64 м. Над оконными проемами имеются железобетонные перемычки.

Зал перекрыт сборными железобетонными сегментными фермами пролетом 18 м с шагом 6 м. По фермам уложены сборные железобетонные ребристые плиты, далее утеплитель, стяжка и мягкая кровля.

В северо-западной угловой зоне наблюдается протекание кровли, с наружной стороны в карнизной части стены кладка разморожена.

При проводившейся ранее реконструкции зданиявдоль северной стены примерно в уровне подоконников был выполнен подвесной балкон для зрителей шириной 1,3 м. Главная несущая продольная балка балкона подвешена к нижним поясам ферм с шагом 6 м на расстоянии 1,3 м от стены. На главную балку опирается плита балкона.Вероятно учитывая дополнительные нагрузки от балкона, предусмотрено усиление простенков под фермами путем устройства бандажа из полосового металла в верхней и нижней частях простенков. По вертикальным ребрам простенки обрамлены уголками, объединяющими верхний и нижний бандажи.

Реконструкция здания с устройством подвесного балкона повлекла за собой увеличение нагрузки на фермы, простенки и фундаменты. Дополнительная нагрузка на нижний пояс фермыпо приближенным расчетам составляет около 4 т.

По результатам обследования основными дефектами и деформациями северной стены здания являются:

- наличие сквозных трещин осадочного характера раскрытием до 3 мм;

- размораживание кирпичной кладки верхней части фундамента и цокольной части стен на глубину до 250 мм;

- размораживание кладки карнизной части стен.

Состояние продольной северной несущей наружной стены здания характеризуется наличием сквозных трещин раскрытием до 2-3 мм, размораживанием кладки в карнизной части. С внутренней стороны в зоне северо-западного угла наблюдаются следы замачивания с осыпанием побелки.

По информации службы эксплуатации, аналогичная ситуация с размораживанием цокольной и карнизной зон наблюдалась ранее по южной и восточной стенам здания. С южной стороны проводился ремонт с частичной перекладкой стены, была возведена одноэтажная пристройка, защищающая кладку цоколя от промерзания. В период ремонта оконные проемы по ширине были частично заложены с увеличением ширины несущих простенков под фермами. В период усиления разрушенного простенка под ферму в юго-восточной зоне была подведена металлическая стойка из трубы, сохранившаяся до настоящего времени.

В цокольной зоне восточной стены размороженная кладка также ремонтировалась с облицовкой керамической плиткой с наружной стороны.

Основными причинами дефектов и деформаций северной стены являются [3]:

- замачивание кирпичной кладки фундамента и цокольной части стены ливневыми водами при неорганизованном сбросе воды с крыши;

- замачивание кладки фундамента и цокольной части стены водами с прилегающей территории при поврежденной отмостке и отсутствии отвода воды в ливневую канализацию;

- отсутствие горизонтальной гидроизоляции в цокольной части стены в зоне отмостки;

- замачивание кладки в верхней карнизной части стены ливневыми водами с крыши при поврежденной кровле в карнизной зоне;

- использование керамического кирпича низкого качества, низкой морозостойкости;

- дополнительная нагрузка от устройства подвесного балкона вдоль стены здания, которая через фермы передается на несущие простенки и далее – на стены, фундаменты и грунты основания.

Причинами интенсивного размораживания цокольной зоны стен являются низкая морозостойкость кирпича и замачивание кладки ливневыми водами при неорганизованном сбросе воды с крыши, а также водами с прилегающей территории при отсутствии отвода воды в ливневую канализацию.

Основной причиной размораживания кладки в карнизной зоне является ее замачивание ливневыми водами при неорганизованном сбросе воды с крыши и при повреждениях кровли в карнизной зоне. Кроме того, карнизная часть выполнена частично с использованием керамического кирпича, вероятно, такого же низкого качества и низкой морозостойкости, как и в цокольной части стены.

Причинами образования трещин в кладке стены являются неравномерные осадки фундаментов в результате локальных замачиваний грунтов основания, снижение несущей способности кладки стены в цокольной части по причине глубинного размораживания, а также увеличение нагрузки от подвесногобалкона.

Литература

1. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : национальный стандарт РФ / утв. и введ.в действ. Приказом Федер. агент. по технич. регулир. и метрол. от 25.03.2010 № 37-ст. – М.: Стандартинформ, 2010.

2. Гамаюнов, В.П., Варламова, Т.В.Исследование надежности здания саратовской филармонии в процессе реконструкции // Научная жизнь. 2013. № 6. С. 65-68.

3. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. Кучеренко. – Москва.: Стройиздат, 1984. 36 с.

© Варламова Т.В., Гамаюнов В.П., 2017

УДК 69.007

Викуловская Н.В.
Кандидат экономических наук,
ГАПОУ Саратовской области
«Поволжский колледж технологии и менеджмента»,
г. Балаково,Саратовская область,Россия.
Зотов Л.Д.
студент 1 курса факультета АЭТ направления СЗС,
Балаковский инженерно-технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский

ядерный университет «МИФИ»(БИТИ НИЯУ МИФИ)
г. Балаково,Саратовская область,Россия.

К ВОПРОСУ ВОСТРЕБОВАННОСТИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

ON THE ISSUE OF HIGHLY QUALIFIED SPECIALISTS DEMAND IN ENGINEERING CONSTRUCTION

Аннотация. Статья посвящена проблеме востребованности на рынке труда высококвалифицированной рабочей силы. Показана роль компетентности персонала в преодолении кризисных явлений в строительстве.

Ключевые слова: строительная отрасль, высокая квалификация, рабочая сила, госзаказ.

Abstract. The article is devoted to the unsatisfied demand of the highly qualified labour force. Staff competence is show as factor over coming crisis phenomena at the building.

Keywords: building branch, highly qualified, labour force, state order.

Актуализацию высоких требований к качеству рабочей силы Г. Перкин связывает с третьим этапом профессиональной революции, начавшейся в 1970 годах прошлого столетия [1]. В любой отрасли особенно востребованы высокообразованные люди свободных профессий – так называемые транспрофессионалы. Транспрофессионалы за счет особенностей мышления и способов организации деятельности способны работать в различных профессиональных средах, свободно использовать разнообразные методы для решения творческих задач, уходя от формальных стандартов и обладая креативным стилем мышления. В 2017г., по мнению аналитиков рекрутингового агенства Superjob,

ожидается повышение спроса на специалистов высокой квалификации на фоне его снижения для низкоквалифицированной рабочей силы [2].

Проблема квалифицированных специалистов, подготовка которых удовлетворяет современным потребностям и технологическому уровню производства, берет свое начало с 1990гг.[3]. Тогда сформировалась невостребованность и непрестижность профессии строителя, и, соответственно, немотивированность к обучению по данному профилю. В совокупности с низкой заработной платой и полным отсутствием практических навыков это привело к оттоку потенциальных выпускников ВУЗов с рынка труда в строительной отрасли. Начавшееся с середины 2000гг. возрождение строительства на 60% определено инвестициями государства в работы по госзаказу. Практическое их освоение столкнулось все с тем же дефицитом на рынке труда прорабов, архитекторов, инженеров-проектировщиков, конструкторов, специалистов по управлению проектами. С улучшением финансового обеспечения отрасли возродился и интерес к профильным профессиям. За счет реализации докризисных проектов наблюдалось ежегодное увеличение темпов ввода жилья. Рекордное количество – 85,3 $м^2$ – было достигнуто в 2015г.

Дальнейшее процветание отрасли обусловлено следующими особенностями ее развития в 2016г.: увеличение общей стоимости строительных объектов в РФ, большая продолжительность инвестиционного цикла, «зарегулированность» строительного сектора, высокая стоимость строительных мероприятий на фоне текущего кризиса и снижения курса национальной валюты, невозможность отклонения от требований проектировочной и сметной документации при производстве строительных работ, размещение госзаказов с применением электронных аукционов. Особую проблему для малых предприятий представляют

маловыгодные условия распределения госзаказов – гарантийное обеспечение заявки на тендере составляет до трети стоимости заказа без предоставления аванса, поэтому приходится отвлекать средства из оборотного капитала или брать кредит в банке.

Одной из главных проблем строительной отрасли специалисты называют наличие регулярных ошибок при оформлении и подаче проектной документации:неучтенные работы, оказавшиеся вне подготовленного проекта, передача неполного пакета документов, несоответствие указанных цен текущему их уровню на рынке [4]. Причина заключается в некомпетентности кадров и низком качестве проектировочных решений. Другая важнейшая проблема связана с наличием единственного критерия при распределении госзаказов на электронных аукционах – низкая стоимость – в ущерб практике подрядчика по реализации подобных проектов в заданные сроки и наличию квалифицированного персонала.

На фоне указанных тенденций начиная с 2016г. усугубляются кризисные явления: госзаказ и ввод недвижимости падают, доходность отрасли в 5,2% не «догоняет» официальную инфляцию в 5,4%, что приводит к оттоку капитала и сокращению кредитования сектора [5]. В 2017г. возрастают также объемы документации в области технического регулирования, усложняется соответствующее законодательство. Строительная отрасль оказывается в парадоксальной ситуации, отражающей как ее специфику, так и современные реалии рынка труда. С одной стороны, предприятия вынуждены экономить на рабочей силе, и, прежде всего, на ее обучении. С другой стороны, только компетентные специалисты способны охватить весь объем возрастающих требований к качеству работ.

Таким образом, возрождение строительной отрасли связано с грамотным привлечением госзаказов, оформлением, разработкой и представлением проектно-технической документации. Среди критериев аукционного отбора подрядчиков для выполнения работ квалификационные требования к персоналу отсутствуют.Высокая квалификация кадров становится определяющим фактором для преодоления кризисных тенденций и в то же время излишним бременем для работодателей.

Литература

1. Аврамова Е.М., Гурков И.Б. и др. Требования работодателей к системе профессионального образования/Под ред.: Тлячко Т.Л., Краснова Г.А. – Москва, Макс Пресс, 2010.

2. Безработица- 2017: как будет вести себя рынок труда, кто неизбежно попадёт в зону риска и как не поддаться панике в страхе потерять работу // https://www. novayagazeta.ru/articles/ 2017/01/27/71305-belye-serye-chyrnue.

3. Жуков А.Н., Артюхина О.В. Проблема квалифицированных кадров в строительстве//Молодой учёный. – 2014. - №20. - с.129-131.

4. Актуальные проблемы строительной отрасли – Москва: строим… //https://www.stroimprosto-msk.ru/stati/aktualnye-problemy-stroitelnoj-otrasli.

5. Кризис в строительной отрасли усуглубляется – ВЕДОМОСТИ// http://www. vedomosti.ru>...>Кризис в строительной отрасли усуглубляется.

© Викуловская Н.В., Зотов Л.Д., 2017

УДК 624.03

Гарибов Р.Б.
доктор технических наук,
профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительства"
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Овчинников И.Г.
доктор технических наук, профессор
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),

НЕКОТОРЫЕ БОЛЕВЫЕ ТОЧКИ РОССИЙСКОГО ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

SOME PAINFUL PROBLEMS OF ENGINEERING-CONSTRUCTION EDUCATION IN RUSSIA

Аннотация. Обсуждается проблема подготовки специалистов строительной отрасли и отрасли транспортного строительства в современных условиях в рамках действия закона «О техническом регулировании». Затем рассатриваются недостаки школьного образования, которое не ориентировано на подготовку в дальнейшем инженерного корпуса, а только на подготовку гуманитариев, которые и далее в в вузах вообще не знакомятся с техникой, но нередко потом управляют техническими вузами и предприятиями.Приводится пример необоснованного засилья учебных планов для бакалавров-строителей гуманитарными (историческими и философскими) дисциплинами, при неоправданном уменьшении часов на изучение прочностных дисциплин, что может в скором будущем привести к резкому росту аварий на строительных объектах. Проводится сопоставление учебных планов магистрантов – строителей германского и российского вузов и показано,

что в иностранном вузе из 20 дисциплин все 20 инженерные, а в российском вузе из 20 дисциплин только 5 инженерных, а остальные общеметодологические, поэтому наши магистры не готовы к инженерной деятельности после окончания вуза. Рассматривается неблагоприятная ситуация с аспирантурой, приводящая к резкому снижению подготовки кандидатов наук. Обсуждается также непомерно увеличенная загрузка преподавателей в инженерно-строительных вузах, не оставляющая им возможности заниматься творческой деятельностью и снижающая общую эффективность работы. Отмечается тенденция феминизации даже инженерных кафедр из-за неоправданно низкой зарплаты преподавателей на фоне огромных доходов руководства вузов.

Ключевые слова: высшее строительное образование, бакалавриат, магистратура, аспирантура, загрузка преподавателей, качество строительного образования.

Abstract. The problem of training specialists in the construction industry and in the field of transport construction under current conditions is discussed under the law "On Technical Regulation". Then the shortcomings of school education are skeptical, which is not oriented towards the training of the engineering corps in the future, but only for the training of humanitarians, who are not even acquainted with technology in higher education institutions, but quite often they are then managed by technical universities and enterprises. An example of unjustified dominance of curriculums for bachelors-builders by humanitarian (historical and philosophical) disciplines is given, with an unjustified reduction of hours for studying strength disciplines, which in the near future can lead to a sharp increase in accidents at construction sites. Comparison of the curriculum of undergraduates-builders of German and Russian universities is conducted and it is shown that in a foreign university of 20

disciplines there are 20 engineering disciplines and in the Russian university of 20 disciplines only 5 engineering ones, and the rest are general methodological, therefore our masters are not ready for engineering activity after graduation university.n unfavorable situation with postgraduate study is considered, leading to a sharp decline in the preparation of candidates of science. There is also an inordinate increase in the load of teachers in engineering and construction universities, leaving them unable to engage in creative activities and reduces the overall effectiveness of the work. There is a tendency to feminize even the engineering departments because of the unjustifiably low salaries of teachers against the backdrop of the huge profits of the university administration.

Keywords: higher building education, bachelor's, master's, postgraduate studies, teachers loading, quality of building education.

Сначала отметим, что проблеме инженерного образования в отрасли транспортного строительства и архитектурно строительной посвящен ряд публикаций [1-15].

1. Но начнем с того, что еще 27 декабря 2002 года то есть 15 лет тому назад появился Федеральный закон «184-ФЗ «О техническом регулировании». До этого большинство инженерных сооружений строительного назначения проектировалось и возводилось по типовым проектам. В результате целые поколения заказчиков, проектировщиков и строителей были воспитаны на принципах привязки типовых решений к местным условиям, а у всех инженерных служб творческое начало было сведено к минимуму. Причем основным в деятельности инженерных служб было строгое соблюдение нормативных документов, Строительных Норм и Правил, в которых было прописано, что нужно делать и как нужно делать. При этом типовые проекты не пересматривались десятилетиями и

новые достижения науки в области транспортного строительства и архитектурно-строительной отрасли или не внедрялись в практику строительства или внедрялись с большим трудом и на момент внедрения устаревали морально.

Подготовка специалистов в вузах основывалась на изучении принципов типового проектирования. Появление же Федерального закона «О техническом регулировании» и выпускаемых на его основе технических регламентовносит во многом революционный характер.

И хотя действие этого закона не распространяется на государственные образовательные стандарты, этот закон требует нового подхода к принципам подготовки специалистов, прежде всего потому, что одним из принципов технического регулирования является соответствие принимаемых технических решений уровню научно-технического развития соответствующей отрасли. Это должно направить деятельность служб заказчиков (в первую очередь) и проектных организаций на постоянное непрерывное изучение всей непрерывно изменяющейся информации о новых конструктивных решениях, материалах и технологиях, то есть требует постоянно проводить патентный поиск и анализ.

Технические регламенты должны содержать требования к характеристикам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, транспортировки, реализации и утилизации, но не должны содержать требований к конструкции и к исполнению.

Сложность внедрения положений Закона «О техническом регулировании» и технических регламентов состоит в следующем. Хотя закон не запрещает использовать типовые проекты и решения, на деле применять типовые решения практически невозможно по той причине, что

они все устарели и не соответствуют современному уровню научно-технического развития. Как ни странно, но современный контингент работников многих проектных организаций и заказчиков пока еще во многом не готов работать в новых условиях. Свидетельством этого является то, что закон «О техническом регулировании» действует уже 15 лет, но значительных изменений в практике работы заказчиков, а, соответственно, и проектировщиков не произошло. Мало того, для недостаточно квалифицированных организаций было выпущено распоряжение Правительства РФ №1047-р от 21 июня 2010 г. о применении на обязательной основе ряда разделов рекомендательных нормативных документов. То есть это распоряжение во многом ослабило, дезавуировало сильные стороны закона «О техническом регулировании».

В чем же причина появления этого распоряжения? А дело в том, что ни работающие инженеры, ни обучающиеся в вузах студенты, и даже многие преподаватели не готовы работать в новых, изменившихся с появлением закона 184 ФЗ условиях.

Ведь учебным заведениям строительного профиля (мы говорим только о них) надо пересмотреть подход (программы) подготовки инженерно-строительных кадров в свете закона «О техническом регулировании» и технических регламентов, нужно поменять психологию и преподавателей и студентов, готовить будущих специалистов к творческой работе, а не отсылать их к нормативным документам (приведенным в распоряжении Правительства РФ №1047-р), которые вообще-то на основании закона «О техническом регулировании» имеют рекомендательный характер, а решения, заложенные в них, отражают уровень научно технического развития прошлого столетия, а новые

решения начала этого столетия появились вопреки старым нормативным документам.

Поэтому студентов современных вузов нужно нацеливать не только на патентный поиск и использование новых достижений инженерной мысли, но и на то, что они должны сами активно участвовать в изобретательской деятельности, когда наилучших результатов добьется тот, кто может найти свои собственные эффективные решения проблем в условиях постоянно развивающейся экономики с точки зрения экономической эффективности, технологической простоты, применения новых (своих) конструктивных решений, новых материалов. Необходимо обучать студентов принципам изобретательства, творческому подходу к имеющимся наработкам в сфере их деятельности. Делать это нужно немедленно, ибо уже сегодняшние выпускники не только должны быть готовы работать в новых реалиях, но должны быть готовы взять на себя выстраивание отношений в современных (новых) условиях. Представляется целесообразным работу по подготовке кадров вести в тесном контакте с заинтересованными организациями (проектировщиками, строителями, заказчиками), учитывая их мнение как потребителей продукции высшей инженерно-строительной школы.

2. То, что было написано выше, это, так сказать желательная общая программа развития высшего инженерно-строительного образования. Но, к сожалению, как говорят, «гладко было на бумаге, да забыли про овраги, а по ним ходить».

Поэтому далее рассмотрим те «болевые точки» российского инженерно-строительного образования, которые затрудняют продвижение к светлому будущему. Анализ будем проводить в группе школа – вуз, а в вузе расмотрим цепочку бакалавриат, магистратура, аспирантура,

подготовка и защита кандидатской диссертации и написание книг, учебных пособий для тех же студентов.

Начнем со школы. В наше (советское) время после обучения в школе считалось, что уровень знаний для поступления в вуз не всегда достаточен и может сильно отличаться в разных школах и потому желающие поступать в вуз в течение всего лета готовились по программам для поступающих и на экзамены приходили знающими гораздо больше, чем преподавали в школах. После поступления в вуз такие подготовленные школьники легко включались в учебный процесс и нормально учились в течение всего времени. Что имеем сейчас? Школа сейчас не готовит к обучению в вузе, а готовит к сдаче ЕГЭ, причем после сдачи этого экзамена где-то в апреле, школьники летом практически не готовятся к обучению в вузе, а наоборот, забывают многое из того, что им преподавали и приходят в сентябре вуз знающими даже меньше, чем было перед сдачей ЕГЭ. Парадокс заключается в том, что в нашей стране ЕГЭ не ругает только ленивый, все понимают его ущербность, но министерство образования ничего не предпринимает для улучшения ситуации.

И еще. Мы считаем, что выделение «гуманитариев» и «технарей» на уровне школы путем разрешения первым не сдавать экзамен по физике приводит, во-первых к уменьшению потенциальных кандидатов для поступления на технические специальности вузов и созданию в обществе большой группы молодых людей, не готовых к дальнейшей деятельности по техническим направлениям; а во – вторых в нашем обществе появляется большая группа людей, вообще не знакомых с техникой, но берущихся управлять коллективами технических специалистов (их так и называют – эффективные менеджеры). Забегая вперед, заметим, что на технических специальностях вузов преподается большое количество гуманитарных

предметов и потому «технари» готовы и к деятельности в этих направлениях. Но в то же время на гуманитарных и экономических специальностях не изучется ни одного даже общетехнического предмета! Прямо нонсенс какой-то? Почему такое неравноправие? Может быть потому, что в министерстве образования нет специалистов, которые закончили технические вузы и рекомендовали бы корректировку учебных планов для гуманитариев?

Перейдем к подготовке бакалавров - строителей. Здесь мы видим своеобразный перекос в учебных планах в сторону излишней гуманитаризации. Например, в одном из вузов бакалавры направления 08.03.01 «Строительство» при ограниченном сроке обучения 4 года изучают такие гуманитарные предметы как: «История» (108 часов), «Правовое государство: история и современность» (72 часа), «История культуры России» (72 часа), «История науки и техники» (72 часа), а также «Философия» (108 часов), «Философия науки и техники» (72 часа). Можно с уважением относиться к истории как предмету, но из бакалавров же готовят не историков, а строителей, и здесь по нашему мнению, перебор с этими предметами в ущерб специальным. Тем более, что с точки зрения инженера, история есть не история борьбы классов и изменения формаций общества, а история смены технических идей, парадигм, технологий в соответствующей отрасли, о которых преподаватели исторических кафедр не имеют представления и потому не учат. Студенты же говорят, что на занятиях по разным историческим дисциплинам им читают приблизительно одно и то же. При этом такие важные для строителей дисциплины как «Сопротивление материалов» (180 часов) и «Строительная механика» (180 часов) читаются всего по 1 семестру. При таком отношении к весьма важным, можно сказать основополагающим

инженерным дисциплинам в скором времени следует ожидать резкого увеличения количества аварий и катастроф строительных объектов.

Ситуация с подготовкой магистров не лучше. Чтобы не быть голословными рассмотрим приведенную ниже таблицу. В ней первый столбец (дисциплины магистерской программы «Проектирование зданий и сооружений»Германия, Лейпциг) позаимствован из статьи [13], а данные для других столбцов взяты из учебных планов Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Дисциплины магистерской программы «Проектирование зданий и сооружений» Германия, Лейпциг	Кол. Зачет. единиц	Дисциплины магистерской программы «Искусственные сооружения на транспорте, способы возведения и эксплуатации» Россия, Саратов, СГТУ	Кол. Зачет. единиц	Дисциплины магистерской программы «Промышленное и гражданское строительство», Россия, Саратов, СГТУ	Кол. Зачет. единиц
Обязательные дисциплины		Базовая часть		Базовая часть	
Численные методы и технологии моделирования в механике	3	Философские проблемы науки и техники	2	Философские проблемы науки и техники	2
Метод конечных элементов	3	Методология научных исследований	3	Методология научных исследований	3
Предварительно напряженные железобетонные конструкции	6	Математическое моделирование	2	Математическое моделирование	2
Фундаменты на естественном основании	3	Специальные разделы высшей математики	3	Специальные разделы высшей математики	3
Проектирование мостов	6	Основы педагогики и андрогогики	2	Основы педагогики и андрогогики	2
Композитные конструкции	6	Деловой иностранный язык	3	Деловой иностранный язык	3

Динамика сооружений	3	Информационные технологии в строительстве	3	Информационные технологии в строительстве	3
Тонкостенные пространственные конструкции. Оболочки	6	Методы решения научно-технических задач в строительстве	2	Методы решения научно-технических задач в строительстве	2
Строительная механика. Избранные темы	6				
Экспериментальная механика	6				
Железобетонные конструкции	6				
Огнезащита строительных конструкций	3				
Дисциплины по выбору		Вариативныя часть			
Строительные материалы	3	Методология научных исследований в строительной деятельности	5	Методология научных исследований в строительной деятельности	5
Строительные материалы и окружающая среда	3	Математическое моделирование в строительной деятельности	5	Математическое моделирование в строительной деятельности	5
Энергоэффективные и экологически безопасные здания	3	Перспективные конструкции мостов и тоннелей	3	Уникальные проекты и изыскания в строителсьтве	3
Конструкции из стекла и пластмасс	3	Обследование, испытание и оценка прочности и ресурса мостов и тоннелей	3	Инновационные технологии в строительстве	3
Металлические конструкции. Избранные темы	6	Аварии транспортных сооружений	3	Экспертиза в строительстве	3
Железобетонные конструкции. Избранные темы	6	Технический перевод в строительстве	2	Технический перевод в строительстве	2

Пространственные железобетонные конструкции	6	Основы предпринимательской деятельности и бизнес-планирование в строительстве	2	Основы предпринимательской деятельности и бизнес-планирование в строительстве	2
Сборные железобетонные конструкции	6				
		Дисциплины по выбору		Дисциплины по выбору	
		Автоматизированные методы моделирования в строительстве	3	Автоматизированные методы моделирования в строительстве	3
		Коммуникационные технологии международного общения	3	Коммуникационные технологии международного общения	3
		Оценка надежности и долговечности мостов и тоннелей	5	Методология и современные концепции проектирования зданий и сооружений	5
		Защита близлежащих зданий и сооружений от динамических воздействий	6	Методология и современные концепции возведения зданий и сооружений	6
Итого дисциплин	20	Итого дисциплин	20	Итого дисциплин	20
Итого зачетных единиц	93	Итого зачетных единиц	60	Итого зачетных единиц	60

Анализ показывает, что при близких названиях магистерских программ и одинаковом количестве изучаемых дисциплин (20), количество зачетных единиц в Германии составляет 93, а в российском вузе только 60. При этом если посмотреть внимательнее, то окажется, что в Германии все изучаемые дисциплины носят инженерный характер, в то время как в российском вузе таких инженерных дисциплин всего 5, остальные же общеметодологические. Причем в российском учебном плане некоторые дисциплины почти дублируют друг друга, например «Методология

научных исследований», «Методы решения научно-технических задач в строительстве» и «Методология научных исследований в строительной деятельности», а также «Математическое моделирование», «Математическое моделирование в строительной деятельности» и «Автоматизированные методы моделирования в строительстве». Как видно, в нашей магистратуре готовят скорее к научной деятельности, причем больше говорят об инструментах решения научных задач, чем об области приложения этих инструментов. Поэтому то выпускники, приходя на предприятия после окончания нашей магистратуры, не готовы приступить сразу же к инженерной деятельности, которой от них ждут, а научно-исследовательских организаций на всех их не хватает.

Кроме того, по новым учебным планам на производственную или технологическую практику отводится гораздо меньше времени, чем раньше, а предприятия не заинтересованы брать на практику студентов на короткое время. И потому нередко практика оказывается формальной.

Мало того, по российским правилам в магистратуру могут поступать выпускники бакалавриата любого направления, в том числе и гуманитарного (напомним, это те, которые не сдавали ЕГЭ по физике и не изучали ни одного технического предмета). Для них следовало бы разработать свой специализированный учебный план, может быть даже продленный на 1 год, но этого, несмотря на неоднократные предложения руководству вузов, не делается, и представьте себе, какие это будут магистры?

После магистратуры идет аспирантура, которая согласно закону «Об образовании в РФ» с 1.09.2013 года стала третьим этапом удлинившейся цепочки высшего образования, а не формой подготовки кандидатов наук, ибо сейчас аспирантура как и предыдущие ступени обучения является

формой передачи знаний, но не получения новых знаний, как это было раньше. По окончании аспирантуры выдается диплом «преподаватель-исследователь». Но проблема в том, что наше министерство образования придумало эту квалификацию, а министерстов труда пока еще о ней не знает и потому на предприятиях не могут понять, что делать с обладателем такого диплома. Мы полагаем, что при таком подвешенном статусе этого диплома время обучения в асрантуре можно считать потраченным напрасно.

И еще ряд соображений. Раньше период обучения в вузе и аспирантуре составлял 5+3 = 8 лет, и активные молодые люди к этому времени становились кандидатами наук. Сейчас же существет цепочка бакалавриат, магистратура, аспирантура с периодами обучения 4+2+4 = 10 лет. Причем до окончания аспирантуры сейчас защищать диссертацию нельзя, а это добавляет к цепочке еще 1 год. То есть при нынешней системе мы удлинили период подготовки кадров высшей квалификации практически на 3 года. И проблема еще и в том, что раньше на аспирантскую стипендию можно было прожить и не отвлекаться от научной деятельности на зарабатывание на хлеб насущный, а сейчас, начиная с магистратуры с ее мизерной стипендией и аспирантуры с ее 6 тысячами рублей в месяц, студенты просто вынуждены подрабатывать. А это отвлекает их от научной деятельности и еще более отдаляет получение искомой степени. Правильно говорил ректор МГУ «…в свете современных реформ положение российской системы образования только ухудшается и закрепляет воспроизводство неконкурентоспособной рабочей силы».

Во время обучения в аспирантуре желательно опубликовать не менее 3 статей в журналах из списка ВАК, и по последним требованиям не менее 1 статьи в журналах, входящих в международные базы SCOPUS или Web

of Sciense. Аспирант должен принимать участие в конференциях, но так как средства на поездки и оргвзносы практически не выделяются, то участие часто становится заочным и аспиранты не знакомятся с ведущими учеными отрасли вживую.

Допустим, в аспирантуре проучился активный аспирант, который за время обучения опубликовал положенное количество статей и подготовил диссертацию. Что же его ждет дальше? После защиты выпускной научно-квалификационной работы он получает справку о сданных экзаментах, которые раньше относились к кандидатским и выписку от вуза о диссертационной работе. После этого он никакого отношения к вузу уже не имеет и задача находить диссертационный совет, близкий по тематике к его диссертации и организовывать защиту решается бывшим аспирантом и его научным руководителем, который и во время обучения его ученика в аспирантуре имел на научное руководство гораздо меньше часов, чем раньше, а теперь эта работа выполнячется вообще на добровольных началах. Кроме того диссертационных советов (кроме гуманитарных) стало значительно меньше, требования к их членам стали жестче, чем раньше (по количеству и уровню публикаций), да и стимулов к работе в составе диссертационного совета стало меньше. Возникла немалая проблема подбора подходящих оппонентов, так как по непонятной причине членов совета нельзя привлекать к оппонированию, хотя раньше это было даже обязательным и подчеркивало знакомство совета с тематикой диссертационной работы. Поездки выпускника аспирантуры и его руководителя на предзащиту и защиту в диссертационный совет (особенно если он в другом городе) вузом уже не финансируются по формальным причинам, так как выпускник уже не работает в вузе.

Так что, к сожалению, министерство образования, вместо улучшения

ситуации с подготовкой высококвалифицированных кадров только усугубило ее. Но этого мало. Почему-то теперь диссертационные работы в обязательном порядке еще до защиты выставляются на сайтах организаций, где будет проходить защита, что открывает доступ к диссертациям иностранным организациям, весьма тщательно отслеживающим появление диссертационных исследований в России. Обращения в первые отделы вузов ни к чему не приводят: их сотрудники соглашаются с имеющейся проблемой, но никаких мер по устранению сложившейся ситуации не предпринимают.

3. Рассмотрим теперь болевые точки, касающиеся преподавателей вузов. Как известно, качество кадрового потенциала кафедр оценивается наличием преподавтелей с учеными стеепнями, опытом работы и возрастом. Что же мы имеем сейчас? Преподавательский состав на кафедрах состоит из двух групп: преподаватели со степенями, с опытом работы, но уже в возрасте и молодые преподаватели, редко со степенями и практически без опыта работы, преподавателей среднего возраста весьма мало. Причем, так как заработная плата основной рабочей силы кафедр – доцентов, кандидатов наук, даже имеющих опыт работы, находится в пределах 20 тысяч рублей в месяц, а заработная плата молодого выпускника вуза в проектной или строительной организации начинается с 25-30 тысяч рублей в месяц, то на кафедры идут работать преимущественно женщины. То есть сейчас в вузах имеет место стремительная феминизация инженерных кафедр. И вообще, количество инженерных кафедр в вузах сокращается из-за их укрупнения путем объединения. При этом количество гуманитарных и экономических кафедр почему-то, несмотря на развернувшуюся «борьбу» с ними, не уменьшается. Кроме того происходит весьма быстрый рост загруженности

преподавателей инженерных кафедр. И делается это просто – путем снижения часового лимита на различные виды работ. Например, если раньше годовая нагрузка руководителя одного аспиранта составляла 50 часов, то сейчас она составляет до 30 часов, и эти слова «до» в каждом вузе котируются по своему. А так как теперь руководитель аспиранта практически не отвечает за его защиту, то и работает он с аспирантом только эти менее 30 часов в год. Имеет место значительное снижение часов и на руководство выпускными квалификационными работами (ВКР) студентов. Дело дошло до того, что министерство образования не рекомендует называть ВКР магистрантов магистерскими диссертациями, как это делается в мире, ибо это потребует выделения больших часов на руководство их выполнением. И вообще загрузка преподавателя в наших технических вузах выросла значительно.

Для примера приведем загрузку профессора типового российского вуза на год: руководство 6 аспирантами, руководство научной работой 13 магистрантов очного и заочного обучения, руководство подготовкой ВКР у 6 магистрантов, 1 специалиста и 2 бакалавров, чтение лекций по 7 дисциплинам бакалаврам, магистрантам, аспирантам очного обучения и по 6 дисциплинам специалистам, магистрантам и аспирантам заочного обучения. Кроме того практические занятия, руководство курсовым проектированием, зачеты, экзамены, участие в ИГА (итоговой государственной аттестации) бакалавров, специалистов, магистрантов и в ГЭК (государственной экзаменационной комиссии) бакалавров, специалистов и магистрантов. Интересно, что в этом перечне нет консультаций, так как на консультацию по каждой дисциплине согласно индивидуальному плану отводится 0,1 часа, то есть 4,5 минуты. Кроме того, надо заниматься научной работой, писать статьи, учебные пособия,

монографии, принимать участие в конференциях но при этом на эти виды работ средства практически не выделяются.

Мало того. Руководство вузов взяло за правило заключать не 5 летние контракты с преподавателями, избранными по конкурсу, а всего на 1, маесимум 2 года. Но при этом преподавателей заставляют разрабатывать планы работы на 5 лет! Как можно разрабатывать такие планы, имея одногодичный контракт? Говорят, что Н.Цискаридзе, когда его назначили ректором Академии русского балета имени А.Я. Вагановой, ознакомился с положением дел и сразу перевел преподавателей академии на 5 летний контракт, чтобы они могли не только планировать, но и реализовывать запланированное.

Преподавателей технических вузов еще и призывают заниматься хоздоговорной научно-исследовательской работой, то есть «зарабатывать» дополнительные средства для себя и для вуза. Естественно это вызывает весьма большое недовольство преподавателей, которые имеют возможность сравнить свою заработную плату (напомним, у доцента 20 тысяч рублей в месяц или 240 тысяч рублей в год) с доходами руководства вузов. Например, информация на сайтах ряда ведущих технических вузов Приволжского и Южного Федеральных округов показывает, что доход ректоров этих вузов в 2016 году составил от 6 до 7 миллионов рублей в год. То есть ректор получает в год в 25 раз больше чем доцент. Как говорит министерство образования, по закону зарплата ректора не может превышать среднюю зарплату преподавателя более, чем в 8 раз. Конечно доход и заработная плата вещи разные, но все равно дискриминация преподавательского состава налицо.

Поэтому-то молодые кандидаты наук, задумываясь освоих перспективах и финансовых и социальных аспектах своей работы в вузе,

приходят к необходимости перейти на государственную службу или в различные фирмы, обеспечивающие им лучшие, чем в вузе, условия.

Напомним, что раньше (в советские времена) заработная плата доцента была 320 рублей в месяц, а управляющего крупной организацией только 280 рублей. Поэтому и конкурс для работы в вузе был большой и умные выпускники считали, что им повезло, если они распределялись в аспирантуру или на кафедру.

Повышение квалификации преподавателей в настоящее время – это отдельная песня. В большинстве случаев повышение квалификации организуется в том же вузе, где работают преподаватели, при этом их не освобождают от работы на кафедре и учат не методике преподавания инженерных дисциплин, а просто сообщают что-то околонаучное, а потом выдают документ о повышении квалификации.

Проблему написания и издания учебных пособий, монографий, организации стажировок преподавателей в ведущих организациях строительного профиля и за рубежом, проблему участия преподавателей в конференциях, в том числе и зарубежных, мы только обозначим.

Заметим только, что у одного из авторов статьи три года подряд проходил стажировку профессор из технического университета Алжира. Тому, что он рассказывал, наши преподаватели завидовали. Можно не говорить, что заработная плата профессора в их вузе в разы больше зарплаты наших профессоров, но и каждый год их профессор имеет право в течение месяца посетить любой вуз по его выбору для прохождения стажировки и ему вуз оплачивает и проезд, и проживание. Повторим, что это каждый год и потому этот профессор приезжает уже три года подряд к нам на стажировку.

Также только обозначим проблемы оснащения кафедр

современными приборами и оборудованием, а не только компьютерными системами.Более подробное обсуждение этих проблем, а также возможные пути их решения приведены в статье [12]. Интересные соображения содержатся также в статье [16].

Литература

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Подготовка специалистов в области транспортного строительства: применение информационных технологий // Красная линия. Дороги. Инновации в дорожном строительстве. СПб. 2010. №47. с. 26-27.

2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Выпускающая кафедра вуза – основа сохранения высшей инженерной школы и внедрения инновационных технологий в вузах // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне «Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды». Том 3. Инновации в транспортном строительстве. Издательство Пермского государственного технического университета. Пермь. 2010. С. 107-113.

3. Смирнов В.Н. Ответит ли бизнес-сообщество на кадровый вопрос? // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. Февраль. С. 16-17.

4. Шишова Т.А. Высшая школа: пути спасения // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. Февраль. С. 18-19.

5. Ответит ли бизнес-сообщество на кадровый вопрос? Дискуссия за круглым столом // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. Апрель. С. 6-8.

6. Егоров В.В., Ледяев А.П., Смирнов В.Н. Получить бесплатно востребованного специалиста – иллюзия российского бизнеса // Вестник строительного комплекса. 2012. №84.

7. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Квалификация под угрозой. Дорожная Держава. 2012. №42. с. 52-54.

8. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Квалификация под угрозой (продолжение). Дорожная Держава. 2012. №44. с. 67-69.

9. Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Проблема создания виртуальной кафедры «Транспортное строительство» // Интернет-журнал "Науковедение" №3, 2013. с. 1-5. 102ТВН313.

10.Овчинников И.Г., Распоров О.Н., Овчинников И.И., Распоров К.О. Проблема подготовки мостовиков в вузах: чему их учить? // Транспортное строительство. 2014. №9, с. 27-29.

11. Мозалев С.В. Кому доверяем строить мосты? Российское мостостроение переживает научный и информационный кризис // Отраслевой журнал «Строительство». 2014, №12, с. 33-36.

12.Овчинников И.И., Овчинников И.Г. О проблемах подготовки инженеров путей сообщения // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №2 (2016) http://t-s.today/PDF/01TS216.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

13. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О концепции и стандартах реформирования современного архитектурно-строительного образования//Стратегические приоритеты №1 (9), 2016 г. С.44-56.

14. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Современное архитектурно-строительное образование в свете решения задач безопасности среды жизнедеятельности//Жилищное строительство. 2016.№3.с. 3- 10.

15. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О подготовке специалистов архитектурно-строительной отрасли на основе парадигмы биосферной совместимости//Промышленное и гражданское строительтство. 2017, №9. С.9-17.

16. Степанова А., Дятликович В. Россия: нет современных кадров – нет будущего (80% трудоспособного населения России не подготовлено для работы на современных рынках)// Отраслевой журнал Строительство. 2017, № 11. с.67 – 69.

© Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г., 2017

УДК 624.012.4-192:539.3

Гарибов Р.Б.
доктор технических наук,
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительства»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАЗРЕШАЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ СТАЛЕБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ И ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ
RESOLVING EQUATIONS OF DEFORMATION OF TUBULAR STEEL CONCRETE ELEMENTS UNDER INFLUENCE OF LOAD AND CHLORIDE-CONTAINING ENVIRONMENT

Аннотация. В статье рассмотрены уравнения деформирования трубчатых сталебетонных элементов под воздействием нагрузки и хлоридсодержащей агрессивной среды. А так жеработасталебетонного элемента, имеющего трубчатое поперечное сечение и подвергающегося воздействию хлоридсодержащей среды как изнутри, так и снаружи и действию сжимающей нагрузки.

Ключевые слова: деформирование, сталежелезобетонные элементы, хлоридсодержащая среда, нагрузки,трубчатой обоймы.инкубационный период,эквивалентное напряжение

Summary. In the article the equations of deformation of tubular steel-concrete elements under the influence of load and chloride-containing

aggressive medium are considered. And also the work of a concrete-reinforced concrete element having a tubular cross-section and exposed to a chloride-containing medium both from the inside and outside and to the action of a compressive load.

Keywords: deformation, steel composite elements, chloride-containing medium, loads, tubular collar. incubation period, equivalent stress

Проблеме моделирования поведения армированных (железобетонных) конструкций в агрессивных средах посвящены исследования [1-13]. В последнее время довольно широко стали применяться трубобетонные элементы, представляющие собой сочетание металлической трубчатой оболочки и бетонного или железобетонного сердечника, причем сердечник может быть полым и изнутри также армирован металлической оболочкой [12,15].

В настоящей статье рассматривается работа сталебетонного элемента, имеющего трубчатое поперечное сечение и подвергающегося воздействию хлоридсодержащей среды как изнутри, так и снаружи и действию сжимающей нагрузки. Считается, что нагрузка и агрессивная среда действуют на трубобетонную конструкцию симметрично(рис. 1, 2). Изменение толщины материала трубчатой обоймы описывается моделью коррозионного износа в виде [16]:

$$\frac{d\delta}{dt} = V_0 + m\sigma,$$

где $d\delta$ – глубина коррозионного поражения; dt – время коррозии; V_0 – скорость коррозии; m – коэффициент, учитывающий влияние уровня напряженного состояния на кинетику снижения защитных свойств покрытия; σ – эквивалентное напряжение.

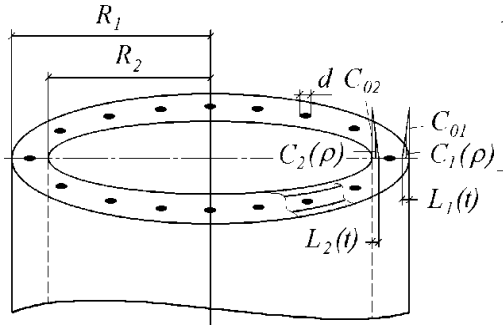


Рис. 1. Сжимаемый элемент трубчатогосечения:R_1-наружный; R_2 - внутреннийрадиусы

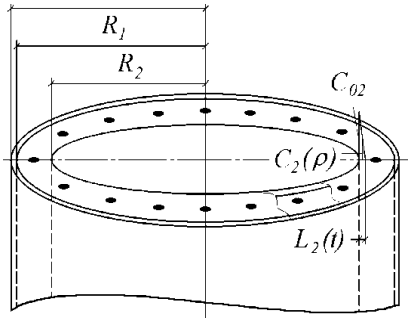


Рис. 2. Сжимаемый элемент трубчатого сечения состальной внешнейобоймой

Не учитываются влияние коррозионных продуктов арматуры на бетон и работа конструктивной арматуры. Считаем, что сжатый элемент обладает устойчивостью. Влияние агрессивной среды на материал элемента конструкции исследуется поэтапно, на каждом этапе сечение стойки имеет различное поведение:

Этап 0: отсутствует агрессивная среда. Элемент конструкции центрально нагружен сжимающим усилием *N*.

Этап 1: определяются ограничительные условия для модели проникновения среды. При этом считаем, что значение концентрации агрессивных веществ на поверхности элемента конструкции возрастает от 0 до C_0 за определенный промежуток времени $t_{гр}$.

Этап 2: хлоридсодержащая среда проникает в бетон и происходит разрушение защитного бетонного слоя. Эта стадия длится до момента смыкания фронтов $t_{см}$(рис. 5, *в*).

Этап 3: длится с момента смыкания фронтов $t_{см}$до момента времени, в котором значение концентрации агрессивных веществ на поверхности арматуры достигает критического уровня $C_{кр}$. В течение этапа происходит разрушение бетона. Инкубационный период для этой точки t_{incr}- это отрезок

времени, в течение которого достигнута критическая концентрация в точке (рис. 5, *г*).

Этап 4: длится с момента времени t_{incr} до момента времени t_{str}. В момент времени t_{str} арматура наполовину от всей площади сечения стержней коррозировала. Идет продолжение деградации бетона, а также дальнейшее коррозирование арматуры. При достижении момента времени t_{str} железобетонный трубчатый элемент необходимо усилить внешней стальной обоймой с защитным покрытием (рис. 5, *д*).

Этап 5: продолжается от момента времени t_{str} до момента полной деградации защитного покрытия стальной обоймы t_{pns}. Как и в предыдущем этапе, идут процессы разрушения бетонного заполнения и коррозионного износа арматуры (рис. 5, *е*).

Этап 6: начало в момент времени t_{pns}, а конец в момент времени t_{corr}, когда арматурное заполнение достигло полного коррозионного износа. На этом этапе также длится разрушение бетона, начинает коррозировать металлическая обойма (рис. 5,*ж*).

Этап 7: длится до полного коррозирования металлической обоймы. Происходит дальнейшее изнашивание бетона.

Этап 8: сечение элемента конструкции полностью подвержено воздействию хлоридсодержащей среды, арматура и обойма не работают (рис. 5, з).

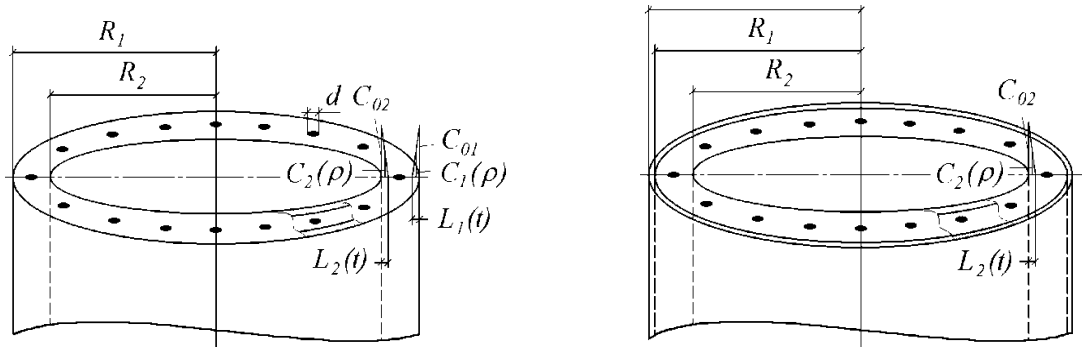


Рис. 3. Сжимаемыйэлементтрубчатого сечения: R_1 – наружный; R_2 – внутренний радиусы

Рис. 4. Сжимаемый элемент трубчатого сечения со стальной внешней обоймой (обозначения на рис. 3)

Изменение концентрации хлоридсодержащей среды C в материал конструктивного элемента (рис. 3,4) для интервала времени $0 < t \le t_{str}$ описывается уравнением:

$$C(\rho,t)=\begin{cases} C_1(\rho)=C_{01}+\dfrac{C_{01}}{L_1(t)}(\rho-R_1), & R_1-L_1(t)\le\rho\le R_1; \\ C_2(\rho)=C_{02}+\dfrac{C_{02}}{L_2(t)}(R_2-\rho), & R_2\le\rho\le R_2+L_2(t); \end{cases} \quad (1)$$

для интервала времени $t > t_{str}$ - уравнением:

$$C(\rho,t)=\begin{cases} C_1(\rho)=const, & R_1-L_1(t)\le\rho\le R_1; \\ C_2(\rho)=C_{02}+\dfrac{C_{02}}{L_2(t)}(R_2-\rho), & R_2\le\rho\le R_2+L_2(t). \end{cases} \quad (2)$$

Воздействие агрессивной среды на внутреннюю и внешнюю поверхности элемента одновременно, представим, что:

$$C(\rho=R_1)=C_{01},\ C(\rho=R_2)=C_{02},\ C_{01}=C_{02}=1,\ C(t=0)=0. \quad (3)$$

Рассмотрим математические модели для каждого этапа.

Этап 0. Уравнение равновесия для сжимаемого стержня имеет вид:

$$N=N_{rs}+N_c, \quad (4)$$

где N - действующее на стержень сжимающее усилие; N_{rs}- усилие, воспринимаемое арматурой; N_c- усилие, воспринимаемое бетоном.

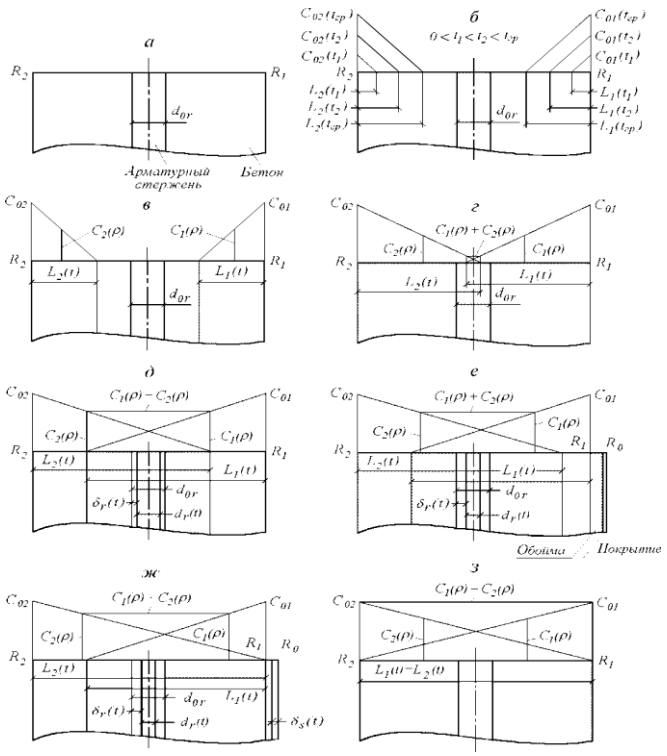


Рис. 5. Схема работы сжимаемого элемента трубчатого сечения, усиливаемого внешней стальной обоймой

$$N_{rs} = \sigma_{rs} \cdot \sum_{i=1}^{n_{rs}} F_{rsi};\ N_c = \iint_{F_c} \sigma_c dF_c = \int_{R_2}^{R_1} \sigma_c 2\pi\rho d\rho. \qquad (5)$$

Здесь σ_{rs} - напряжение в арматуре; n_{rs} - количество арматурных стержней; F_{rsi} - площадь сечения i-го арматурного стержня; σ_c - напряжение в бетоне; F_c - площадь поперечного сечения элемента, занятая бетоном; ρ - координата вдоль радиуса круглого сечения ($R_2 \le \rho \le R_1$).

Подставим (4) в (5) и далее проинтегрируем, получится разрешающее уравнение относительно деформации:

$$N = \varepsilon\alpha_{01} - \varepsilon^3\alpha_{02} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{03}, \qquad (6)$$

где $\alpha_{01} = A_c\pi\left(R_1^2 - R_2^2\right);$ $\alpha_{02} = B_c\,\pi\left(R_1^2 - R_2^2\right);$ $\alpha_{03} = a_r\,\frac{\pi}{4}\sum_{i=1}^{n_{rs}} d_{0ri}^2\,.$

Этап 1. Этап длится: $0 < t \le t_p$.

Уравнение относительно деформации ε имеет вид

$$N = \varepsilon\alpha_{11} - \varepsilon^3\alpha_{12} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{13}, \qquad (7)$$

где $\alpha_{11} = \pi\left[A_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{ca}\alpha\sqrt{t}\left(C_{01}(t)\left(R_1 - \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right) + C_{02}(t)\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$

$$\alpha_{12} = \pi\left[B_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{cb}\alpha\sqrt{t}\left(C_{01}(t)\left(R_1 - \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right) + C_{02}(t)\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{03}.$$

В зависимости от равномерности или неравномерности концентрации C_0в промежуток времени t определяется вид соотношения для концентрации $C_{0i}(t)$.

Этап 2. Длительность этого этапа: $t_{гр} < t \le t_{см}$, определяется по формуле:

$$t_{см} = \left(\frac{R_1 - R_2}{2\alpha}\right)^2. \qquad (8)$$

Уравнение равновесия после необходимых преобразований имеет вид

$$N = \varepsilon\alpha_{21} - \varepsilon^3\alpha_{22} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{23}, \qquad (9)$$

где $\alpha_{21} = \pi\left[A_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{ca}\alpha\sqrt{t}\left(C_{01}\left(R_1 - \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right) + C_{02}\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$

$$\alpha_{22} = \pi\left[B_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{cb}\alpha\sqrt{t}\left(C_{01}\left(R_1 - \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right) + C_{02}\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{03}.$$

Этап 3. Продолжительность этого этапа: $t_{см} < t \le t_{incr}$, где t_{incr} определяется по формуле

$$t_{incr} = \left(\frac{(R_2 - R_1)(C_{01} + C_{02})}{2\alpha \left(C_{кр} - C_{01} - C_{02} \right)} \right)^2 . \qquad (4.19)$$

Уравнение равновесия идентично уравнению равновесия на 2-м этапе.

Этап 4. Этап ограничен во времени: $t_{incr} < t \le t_{str}$, где t_{str} находится из решения уравнения коррозионного износа шаговым методом, и данное значение такое же, как и в момент времени, при котором поражение арматурного заполнения коррозией составит половину их первоначальной площади. Уравнение относительно деформации имеет вид:

$$N = \varepsilon \alpha_{41} - \varepsilon^3 \alpha_{42} + \varepsilon^{m_r} \alpha_{43}, \qquad (11)$$

где $$\alpha_{41} = \alpha_{21}; \quad \alpha_{42} = \alpha_{22};$$

$$\alpha_{43} = a_r n_{rs} \frac{d_{0ri}^2}{4} (\pi - \alpha + \sin\alpha), \quad \alpha = 2\arccos\left(1 - \frac{2\delta_r(t)}{d_{0r}} \right).$$

Этап 5. Продолжительность этого этапа: $t_{str} < t \le t_{pns}$, где t_{pns} определяется по формуле:

$$t_{pns} = t_{str} + \frac{1}{\alpha_n (1 + k_n E_n \varepsilon)}. \qquad (12)$$

Уравнение равновесия после необходимых преобразований имеет вид:

$$N = \varepsilon \alpha_{51} - \varepsilon^3 \alpha_{52} + \varepsilon^{m_r} \alpha_{53} + \varepsilon^{m_s} \alpha_{54}, \qquad (13)$$

где $$\alpha_{51} = \alpha_{41}; \; \alpha_{52} = \alpha_{42}; \; \alpha_{53} = \alpha_{43}; \; \alpha_{54} = a_s \pi \left(R_0^2 - R_1^2 \right).$$

Этап 6. Этап длится в течение времени: $t_{pns} < t \leq t_{corr}$, где t_{corr} – время, когда арматура полностью коррозировала. Значение t_{corr} находится из решения уравнения коррозионного износа шаговым методом.

Уравнение равновесия после необходимых преобразований имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{61} - \varepsilon^3\alpha_{62} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{63} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{64}, \qquad (14)$$

где $\alpha_{61} = \alpha_{41};\ \alpha_{62} = \alpha_{42};\ \alpha_{63} = \alpha_{43};\ \alpha_{64} = a_s\pi\left(\left(R_0 - k_s\left(t - t_{pns}\right)\right)^2 - R_1^2\right).$

Этап 7. Длительность данного этапа: $t_{corr} < t \leq t_{cors}$, где t_{cors} – время, при котором металл обоймы коррозировал полностью. Определяется по формуле:

$$t_{cors} = t_{pns} + \frac{R_0 - R_1}{k_s}. \qquad (15)$$

Уравнение равновесия после необходимых преобразований имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{71} - \varepsilon^3\alpha_{72} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{73}, \qquad (16)$$

где $\alpha_{71} = \alpha_{41};\ \alpha_{72} = \alpha_{42};\ \alpha_{73} = \alpha_{64}.$

Этап 8. На данном этапе работа арматуры и обоймы прекращается, сечение элемента конструкции полностью подвержено воздействию хлоридсодержащей среды (рис. 5, *з*). Этот этап имеет свое начало в момент времени t_{cors}. Уравнение равновесия имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{81} - \varepsilon^3\alpha_{82}, \qquad (17)$$

где $\alpha_{81} = \pi\left[\left(A_c - k_{ca}\right)\left(R_1^2 - R_2^2\right)\right];\ \alpha_{82} = \pi\left[\left(B_c - k_{cb}\right)\left(R_1^2 - R_2^2\right)\right].$

Полагаем, что все модели и предположения, приведенные для кольца, тождественны и для обоймы. Проанализируем поэтапно работу нагруженного элемента в хлоридсодержащей среде:

Этап 0: отсутствует агрессивная среда. Элемент конструкции центрально нагруже сжимающим усилием *N* (*рис. 6, а*).

Этап 1: установливаются начальные и конечные условия для модели воздействия среды. Будем считать, что значение концентрации хлоридов на внутренней поверхности конструктивного элемента увеличивается от 0 до C_0 за определенный промежуток времени $t_{гр}$ (*рис. 6, б*).

Этап 2: защитный бетонный слой теряет свои свойства, защитное покрытие металлической обоймы разрушается в связи с проникание хлоридов в бетон элемента. Этот этап продолжается до момента, когда будет разрушен защитный слой t_{pns}.

Этап 3: длится от момента времени t_{pns} до момента времени t_{incr}, в течение этого промежутка времени значение концентрации агрессивных веществ на поверхности арматурного стержня примет значение критического уровня $C_{кр}$. На этом этапе также продолжается процесс деградации бетона, а также металлическая обойма начинает коррозировать (*рис. 6,в*).

Этап 4: начало – момент времени t_{incr} и конец - момент времени t_{cors}. На данном этапе металл обоймы достиг предельного состояния по коррозионному износу. Идет продолжение процесса деградации бетона и начинается коррозионный износ арматуры (*рис. 6,г*).

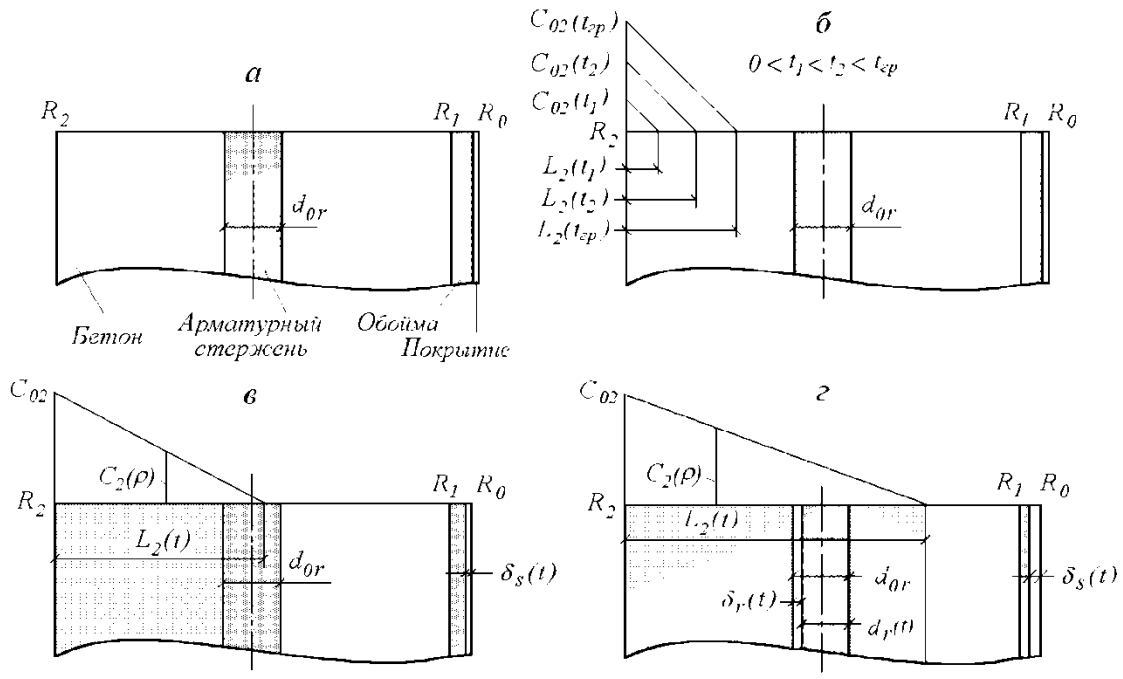


Рис. 6. Схема работы сжимаемого элемента трубчатого сечения
с внешней стальной обоймой

Приведем лишь окончательные результаты - разрешающие уравнения для каждого этапа с входящими в них коэффициентами.

Этап 0. Разрешающее уравнение имеет вид

$$N = \varepsilon\alpha_{01} - \varepsilon^3\alpha_{02} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{03} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{04}, \qquad (18)$$

где $\alpha_{01} = A_c\pi\left(R_1^2 - R_2^2\right); \quad \alpha_{02} = B_c\pi\left(R_1^2 - R_2^2\right);$

$$\alpha_{03} = a_r\frac{\pi}{4}\sum_{i=1}^{n_{rs}} d_{0ri}^2; \quad \alpha_{04} = a_s\pi\left(R_0^2 - R_1^2\right).$$

Этап 1. Этап длится: $0 < t \le t_{гр}$. Разрешающее уравнение имеет вид

$$N = \varepsilon\alpha_{11} - \varepsilon^3\alpha_{12} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{13} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{14}, \qquad (19)$$

где $\alpha_{11} = \pi\left[A_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{ca}\alpha\sqrt{t}\left(C_{02}(t)\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$

$$\alpha_{12} = \pi\left[B_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{cb}\alpha\sqrt{t}\left(C_{02}\left(t\right)\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{03}; \quad \alpha_{14} = \alpha_{04}.$$

В зависимости от равномерности или неравномерности концентрации C_0 в промежуток времени t определяется вид соотношения для концентрации $C_{0i}(t)$.

Этап 2. Этап длится: $t_{гр} < t \leq t_{pns}$, где время разрушения защитного покрытия на обойме t_{pns} определяется по формуле:

$$t_{pns} = \frac{1}{\alpha_n\left(1 + k_n E_n \varepsilon\right)}. \tag{20}$$

Разрешающее уравнение имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{21} - \varepsilon^3\alpha_{22} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{23} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{24}, \tag{21}$$

где $$\alpha_{21} = \pi\left[A_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{ca}\alpha\sqrt{t}\left(C_{02}\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{22} = \pi\left[B_c\left(R_1^2 - R_2^2\right) - k_{cb}\alpha\sqrt{t}\left(C_{02}\left(R_2 + \frac{1}{3}\alpha\sqrt{t}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{03}; \quad \alpha_{24} = \alpha_{04}.$$

Этап 3. Этап длится: $t_{pns} < t \leq t_{incr}$, где t_{incr} определяется по формуле

$$t_{incr} = \left(\frac{C_{02}\left(R_1 - R_2 - d_{0r}\right)}{2\alpha\left(C_{02} - C_{кр}\right)}\right)^2. \tag{22}$$

Разрешающее уравнение имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{31} - \varepsilon^3\alpha_{32} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{33} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{34}, \tag{23}$$

где $\alpha_{31} = \alpha_{21};\ \alpha_{32} = \alpha_{22};\ \alpha_{33} = \alpha_{03};\ \alpha_{34} = a_s\pi\left(\left(R_0 - k_s\left(t - t_{pns}\right)\right)^2 - R_1^2\right).$

Этап 4. Этап длится: $t_{incr} < t \leq t_{cors}$, где время разрушения стальной обоймы t_{cors} определяется по формуле:

$$t_{cors} = t_{pns} + \frac{R_0 - R_1}{k_s} \tag{24}$$

Разрешающее уравнение имеет вид:

$$N = \varepsilon\alpha_{41} - \varepsilon^3\alpha_{42} + \varepsilon^{m_r}\alpha_{43} + \varepsilon^{m_s}\alpha_{44}, \tag{25}$$

где $\alpha_{41} = \alpha_{21}; \quad \alpha_{42} = \alpha_{22};$

$$\alpha_{43} = a_r n_{rs} d_{0r}^2 \left[\frac{\pi}{4} - \frac{(\alpha - \sin\alpha)}{8}\right], \quad \alpha = 2\arccos\left(1 - \frac{2\delta_r(t)}{d_{0r}}\right); \; \alpha_{44} = \alpha_{34}.$$

Проанализировав результаты расчета, можно сделать вывод о том, что хлоридсодержащая среда влияет на значения характеристик напряженно-деформированного состояния. Стержень разрушается, в большинстве случаев, по стальной части сечения, когда значения напряжений превышают критический уровень. Когда уровень нагружения высокий ($N/N_{пред} \sim 0{,}8$), стержень разрушается в результате достижения напряжениями в стальной части сечения (обойме) критического уровня. Когда уровень нагружения небольшой ($N/N_{пред} < 0{,}5$), стержень разрушается в результате полного коррозирования арматурного заполнения и стальной обоймы. Деформационные изменения в сечении и напряжения в кольце и обойме увеличиваются с течением времени для всех рассчитанных конструктивных элементов.

Литература

1. Овчинников И.Г. Раткин В.В., Гарибов Р.Б. Моделирование поведения сжимаемого железобетонного элемента, усиливаемого внешней

стальной обоймой после воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды// Известия вузов. Строительство. 2003.№1. с.9-15.

2. Овчинников И.Г., Кривцов А.В., Матора А.В. Расчет прямоугольных пластин на упругом основании в условиях воздействия хлоридсодержащих сред// Известия вузов. Строительство. 2003, №8, С.135– 140.

3. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Гарибов Р.Б. Модель деформирования и расчет сжато-изогнутой железобетонной балки в условиях сульфатной агрессии// Бетон и железобетон, 2006, №1, с. 26 – 29.

4. Иванов А.В., Овчинников И.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния осесимметрично загруженной железобетонной цилиндрической оболочки в условиях хлоридной коррозии// Региональная архитектура и строительство. 2007 №1(2), С. 43 -52.

5.Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г. Маринин А.Н., Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при совместном воздействии хлоридной коррозии и карбонизации// Бетон и железобетон. 2007. №6. С. 25 – 29.

6. Гарибов Р.Б. Деформирование железобетонной пластины на упругом основании под воздействием хлоридсодержащей среды / Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников, А.В. Кривцов // Architecture, civil engineering and ecology: Program, papers and reports of international scientific and practical conference-seminar. - Spain, Barcelona,2002.

7. Гарибов Р.Б. Моделирование напряженно-деформированного состояния пластинчатых железобетонных конструкций, подвергающихся хлоридной коррозии / Р.Б. Гарибов, И.И. Овчинников// Тр. XXI Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. - Саратов: СГТУ, 2005.

8.Овчинников И.И. Расчет напряженно-деформированного состояния и поврежденности армированной пластины в хлоридсодержащей среде//

Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009, №3, С.3- 9.

9.Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Применение нелинейной деформационной модели для анализа поведения армированных пластин на упругом основании, взаимодействующих с хлоридсодержащей средой. Основные соотношения // Инженерно-строительный журнал. 2013. №1(36). С. 27-38.

10. Овчинников И. И., Мигунов В. Н., Овчинников И. Г. Учет коррозионного растрескивания арматуры при расчете предварительно напряженного армированного стержневого конструктивного элемента // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 37-47.

11. Овчинников И.И. Вероятностное моделирование железобетонной сваи при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды / Овчинников И.И., Чэнь Т., Овчинников И.Г. // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4 (29). – С. 55-61.

12. OvchinnikovI.I., OvchinnikovI.G., SnezhkinaO.V. SimulationofcorrosionwiththeinfluenceoftheStress-strainstate, temperature and concentration of aggressive environment on the corrosion rate//Ponte. Florence. Italy. International Journal of Sciences and Research. Vol. 73 | No. 3 | Mar 2017. p.295 – 301.

13. Овчинников И.И., Чэнь Тао, Овчинников И.Г. Вероятностное моделирования несущих железобетонных конструкций предприятий текстильной промышленности при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. №5. (371). 2017. С. 198-204.

14. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из

разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/95TVN415

15. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/112TVN415.

16. Овчинников И.Г. Механика пластинок и оболочек, подвергающихся коррозионному износу / И.Г. Овчинников; Сарат. политехн. ин-т. – Саратов, 1991. – 115 с. Деп. в ВИНИТИ 30.07.91. № 3251-В91.

17.Петров В.В. Математическое моделирование процесса взаимодействия элементов конструкций с агрессивными средами / В.В. Петров, И.Г. Овчинников // Деформирова- ние материалов и элементов конструкций в агрессивных средах: межвуз. науч. сб. – Саратов: СПИ, 1983. – С. 3-11.

18.Овчинников И.Г. Работоспособность сталежелезобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, Р.Б. Гарибов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2002. – 156 с.

© Гарибов Р.Б., 2017

УДК 624.04

Горбачева И.А.
магистрант, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия
Овчинников И. Г.
доктор технических наук, профессор, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ» Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), г. Балаково, Россия

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ МОСТОВОЙ ЭСТЕТИКИ

ANALYSIS OF MAIN POSTULATES OF BRIDGE AESTHETICS

Аннотация. Рассматривается задача оценки эстетических качеств мостовых сооружений. Отмечается, что в России этой задаче уделяется мало внимания, в то время как за рубежом существует довольно много публикаций на эту тему.Анализируются три постулата, которые полагаются «незыблемыми» и используются при проектировании мостов с учетом эстетических требования. Это постулаты: форма моста следует за его функцией, потребитель всегда прав и архитекторы сделают это лучше. Показывается, что эти постулату не всегда правомерны и нужны новые, более эффективные подходы к проектированию мостов, основанные на положениях мостовой эстетики, которую еще надо разрабатывать.

Ключевые слова: мосты, эстетика мостов, архитектура мостов, форма сооружения, функция сооружения, принципы проектирования мостов, экспертная система, по оценке мостов.

Abstract. The problem of an estimation of aesthetic qualities of bridge constructions is considered. It is noted that little attention is paid to this task in

Russia, while there are many publications abroad on this subject. Three postulates are analyzed, which are supposed to be "unshakable" and are used in the design of bridges taking into account aesthetic requirements. These are postulates: the shape of the bridge follows its function, the consumer is always right and the architects will do it better. It is shown that these postulates are not always legitimate and new, more effective approaches to the design of bridges are needed, based on the provisions of bridge aesthetics, which still need to be developed.

Keywords: bridges, aesthetics of bridges, architecture of bridges, form of construction, function of construction, principles of designing bridges, expert system for assessing the aesthetics of bridges

Введение

Когда мы начали подбирать и анализировать литературу по эстетике мостовых сооружений, то, к нашему глубокому сожалению, обнаружили, что в России опубликовано определенное количество монографий по архитектуре мостов [1 - 11], и только несколько работ по эстетике мостовых сооружений [12,13]. В то же время за рубежом опубликовано достаточно много работ по эстетике мостов, сошлемся только на некоторые из них [14 -18]. Поэтому далее мы, основываясь на этих работах по эстетике мостов порассуждаем о некоторых постулатах мостовой эстетики.

Но сначала заметим, что, как отмечается в [19], в конце 2014 года в России имелось 42 тысячи автодорожных мостов (и путепроводов), общая протяженность которых составила 2,1 млн. метров, а также 30,5 тысяч железнодорожных мостов и путепроводов суммарной протяженностью 993

тысячи метров. Итого в России в общей сложности насчитывается 72,5 тысячи автодорожных и железнодорожных мостов.

В Соединенных Штатах Америки насчитывается более 600 тысяч мостов, из которых около 100 тысяч железнодорожных.

Кстати, самый насыщенный мостами город – Гамбург, в котором их более 2300, в то время как в Санкт-Петербурге мостов около 400.

Согласно справочнику по эстетике мостов [18] из этих 600 тысяч мостов в США доля обычных балочных мостов, длина которых не превышают 100 метров, составляет 98 процентов!Поэтому, отмечают авторы этого справочника, при всем уважении к остальным 2 процентам мостов, нужно стараться сделать и основную массу мостовых сооружений эстетически привлекательными. Можно предположить, что и в России соотношение не сильно отличается от этого, поэтому и у нас стоит задача создания эстетически привлекательных мостов. Кстати, так как в США протекает только 250 тысяч рек, а вРоссии аж 2,8 миллиона рек, то нам в России еще строить и строить мосты и потому нам, даже более, чем американцам, надо стараться сделать наши мосты более привлекательными.

Процесс проектирования мостов регламентируется набором нормативных документов, включая Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", национальные стандарты, своды правил, стандарты организаций, что во многом ограничивает возможность и способность проектировщика мостов в создании проектов, имеющих не только техническую, но и эстетическую ценность. Причем проектирование мостов подспудно опирается на ряд постулатов, которые на первый взгляд кажутся очевидными и в какой-то мере незыблемыми, но при детальном анализе их незыблемость оказывается кажущейся. К таким постулатам относятся следующие [16].

Первый постулат: мосты, запроектированные конструктивно эффективными, всегда выглядят эстетически выразительно. Этот постулат можно кратко сформулировать так: **форма моста следует за его функцией**. Хотя нередко можно слышать и в некотором роде обратное утверждение: красивые мосты всегда прочные. Если вспомнить советское определение качества как соответствие нормам, то можно полагать, что в соответствии с нормами запроектированные мосты являются качественными, а, значит, и эстетичными, то есть красивыми.

Второй постулат: эстетичными (красивыми) считаются мосты, которые нравятся людям. Здесь уже вспоминается более правильное и широкое определение качества как степени соответствия запросам потребителя. Краткая формулировка этого постулата выглядит следующим образом: **потребитель всегда прав.**Правда при этом остается невыясненным вопрос об установлении этих потребностей, ибо для этого нужно разработать какую-то систему опроса потребителей и анализа результатов опроса, по крайней мере, по отношению к эстетике мостов в нашем случае.

Третий постулат: инженеры могут создавать прочные и долговечные мостовые сооружения, но не способны создавать эстетически выразительные сооружения и этим должны заниматься архитекторы. Этот постулат можно кратко сформулировать так: **архитекторы сделают это лучше.**Как ни странно, с нашей точки зрения этот постулат противоречит первому.

Далее проанализируем эти постулаты более подробно.

1. Постулат первый: форма моста следует за его функцией.

Этот эстетический постулат или принцип, как утверждается в [16], в свое время провозгласил и использовал в своих работах американский архитектор Louis Sullivan (Салливан), оказавший весьма большое влияние

формообразование современных небоскребов [20]. Салливан трактовал этот постулат в том смысле, что внешний вид элементов сооружения должен отражать функции, которые они реализуют в его конструкции. Например, Салливан возражал против горизонтального визуального разделения офисных этажей высотных зданий, так как эти этажи выполняют одинаковые функции, и настаивал на визуальном выделении вертикальных элементов высотных зданий.

Мостовики взяли за основу этот первый постулат, но значительно изменили его смысл, достаточно далеко уйдя от идей Салливана. Мостовики стали утверждать, что эффективное конструктивное решение моста и его низкая стоимость являются достаточными условиями его визуальной эстетичности. В [16] говорится, что такая точка зрения поддерживается большинством работ по эстетике мостовых сооружений, написанных в течение последних пятидесяти лет.

Например, в статье «Пять принципов проектирования мостов» [21] утверждается, что эстетика свойственна хорошей конструкции моста и классический принцип «форма следует за функцией», является основным принципом в мостостроении; по-настоящему пропорциональный мост привлекателен, а размер и форма составных элементов мостовой конструкции обеспечивают реализацию его цели; это то, что люди ценят, когда дело доходит до оценки эстетических свойствмоста; инновационные решения автоматически делают структуру моста эстетически привлекательной.

А в статье «Внутренняя красота вантовых мостов» [22] говорится, что вантовым мостам изначально присуща красота, поэтому большинство вантовых мостов красивы, несмотря на все наши усилия, чтобы сделать их уродливыми. То есть в обеих статьях провозглашается, что хорошо спроектированным, т.е. конструктивно эффективным мостам заранее

присуща эстетичность. Примечательно, что ни в одной статье нет ссылок на творческие усилия, направленные конкретно на эстетические аспекты проектирования. Из этих утверждений можно даже сделать вывод, что, применяя концепцию «Форма следует за функцией», можно автоматически стать архитектором.

Но, с другой стороны, хотя приведенные выше два утверждения ни в коем случае не являются изолированными примерами, они, по общему признанию, несколько экстремальны. Хотя, например, после серии исследований, сравнивающих «обычные» и «красивые» мосты, Gottemoeller [23] так формулируетхарактеристики «эстетичных» мостов: простота, тонкость, непрерывность линий, форма их элементов соответствует игре сил, возникающих в них.Понятно, что это видимые признаки конструктивной эффективности. При этом подразумевается, что улучшение эстетического качества может быть достигнуто увеличением конструктивной эффективности, что, по существу, идентично интерпретации применительно к мостам постулата «форма следует за функцией». Про конструктивную эффективность можно сказать, что это свойство, которое можно измерить. Поэтому, если она становится главным мерилом «эстетического качества», то существует тенденция рассматривать и эстетику мостов как свойство, которое можно измерить и, следовательно, улучшить.

В результате процесс проектирования мостов вместо того, чтобы сосредоточиться на поиске и разработке новых креативных идей, превращается в процесс, направленный на достижение целей, которые с самого начала известны как «эстетически приятные», поскольку они соответствуют конструктивным системам с высокой эффективностью. Запроектированные на основе этого подхода мосты, в целом похожи по внешнему виду и на них приятно смотреть. Но потому, что они были

разработаны так, чтобы соответствовать существующим идеям, а не оспаривать их, они, как правило, не имеют той выразительности, которая присуща значительным произведениям искусства.

Такая точка зрения на постулат «форма следует за функцией» вместе со склонностью инженеров к расчетному анализу (то есть склонностьюпроверять алгеброй гармонию) привела к появлению предложений по разработке в какой-то мере количественных методов решения эстетических проблем применительно к мостам. Например, в [15] описывается «экспертная система», основанная на использовании 177 утверждений об эстетике мостов, извлеченных из работ по эстетике мостовых сооружений. Эта экспертная система оценивает внешний вид балочных мостов в баллах от 0 до 10, причем балл 0 соответствует очень уродливому мосту, а балл 10 соответствует максимально красивому мосту.Понятно, что эти баллы были получены в результате опроса группы экспертов, имеющих отношение и к мостостроению, и к архитектуре мостов.

Проектировщики мостов, используя эту экспертную систему, могут улучшать визуальные характеристики проектируемого моста и тем самым повышать его рейтинг (по крайней мере, до тех пор, пока позволяет финансирование). Однако, очевидно, что наивысшие рейтинги будут присуждаться тем проектам мостов, которые близки к содержащимся в базе данных этой экспертной системы и потому экспертная система будет помогать производить только копии проверенных и достоверных проектов. При этом творческая составляющая проектирования мостов фактически трансформируется в процесс следования правилам, а не оспаривания их.

Мы полагаем, что можно считать, что постулат «форма следует за функцией» принципиально ошибочен, поскольку позволяет определять

внешний вид проектируемого моста без какого-либо конкретного рассмотрения эстетических проблем.

Разработки знаменитых проектировщиков мостов (Р.Майара [24], Ф.Леонгарда[14], Калатравы [25]) и других мастеров проектирования мостов с эстетической точки зрения показывают, что существует определенная связь между конструкцией моста и его эстетическим видом, но эта связь сложнее, чем указывают существующие традиционные знания. Взятые сами по себе, конструктивная эффективность и экономичность моста не имеют эстетического значения.

2. Постулат второй: потребитель всегда прав

В последнее время особенно за рубежом при разработке проектов мостовых сооружений (правда больше уникальных и городских) имеет место тенденция, направленная на привлечение общественности к обсуждению проектов. Жители требуют участия в обсуждении проектов в определенной мере из-за озабоченности внешним видом мостовых сооружений, которые должны быть построены в окрестности мест их проживания или по которым им придется ездить, а также из-за того, что они полагают, что эти проблемы без их участия не будут решены надлежащим образом.Неучёт общественного мнения при реализации некоторых крупных мостовых проектов привел к приостановке реализации проектов или даже их закрытию.И вот для того, чтобы избежать появления таких проблем в будущих мостовых проектах, некоторые инвесторы и будущие владельцы сооружений предоставляют общественности право участия в процессе проектирования (хотя бы путем обсуждения проектов и высказывания замечаний и пожеланий). Например, в работе «Участие общественности привело к созданию революционного проекта моста» [26] отмечается, что населению было разрешено выбирать основные характеристики большинства конструктивных компонентов мостового

сооружения путем голосования. Но не всегда участие общественности приводит к положительным результатам. Известны случаи, когда общественность настаивала на внесении дополнительных элементов в конструкцию моста, которые никак не соответствовали статической схеме его работы. Поэтому следует понимать, что не на все возникающие при проектировании мостов вопросы участие общественности даст не только эффективные в эстетическом плане, но даже и приемлемые ответы. Тем более, что участие общественности обычно приводит к какому-то консенсусу и потому выразительных проектов в таких случаях получить не удается.

3. Постулат третий: архитекторы сделают это лучше

Привлекать архитекторов имеет смысл в тех случаях, когда надо спроектировать знаковое сооружение, в какой-то мере являющееся визитной карточкой территории, где оно расположено. Инвесторы обычно готовы профинансировать такие проекты с участием даже выдающихся архитекторов, которые нередко придают проекту мостового сооружения уникальную форму, не умаляя его инженерные характеристики. К сожалению, так бывает не всегда, поскольку обучение архитекторов построено так, что они уделяют весьма мало внимания процессу силового анализа конструктивной схемы сооружения, пренебрегают игрой сил в нем.

В то же время следует учитывать, что в течение длительного времени инженеры – мостовики понимали эстетическую сторону мостового сооружения в рамках первого постулата (форма следует за функцией), а кроме того, в течение длительного времени создание мостовых сооружений велось на основе типового проектирования, что и привело к появлению невыразительных, тусклых с эстетической точки зрения,мостовых сооружений.

Но, с другой стороны, основываясь на догматическом убеждении, что только архитекторы могут создавать эстетически привлекательные мосты, мы можем лишить себя уникального видения конструкции инженером, чувствующим игру сил в конструкции и придающей мостовому сооружению форму, соответствующую этой игре сил. Подавляющее большинство архитекторов занимается компоновкой абстрактных и символических визуальных форм, и не всегда учитывает возможность придать осмысленное визуальное выражение равновесию конструкции под действием внешних сил.

Заключение

Эстетическое видение инженера уходит корнями в творческие возможности, предлагаемые визуальным выражением потоков сил, которые любая мостовая конструкция должна пропустить сквозь себя и передать на нижележащий грунт. Проектирование мостов нередко страдает от догматического представления о том, кто их должен проектировать. Для того, чтобы проектирование мостов могло развиваться как форма искусства, надо учитывать важность технологий как источника творческих идей, которые могут быть визуально выражены в проектах мостов.

Литература

1.Щусев П.В. Мосты и их архитектура. М. Стройиздат. 1952. 360 с.

2. Надежин, Б.М. Мосты и путепроводы в городах: архитектурно-планировочные особенности. М.: Стройиздат, 1964. 287 с.

3. Пунин, А.Л. Архитектура современных зарубежных мостов. Л.: Стройиздат, 1974. – 73 с.

4. Толмачев, К.Х. Основы архитектурного проектирования мостов.Новосибирск, 1978.62 с.

5. Пунин А.Л. Архитектура отечественных мостов. М. Стройиздат. Ленинградское отделение.1982.152 с.

6. Гибшман ЕМ. Средства архитектурной композиции городских транспортных сооружений. МАДИ. М., 1986.123 с.

7.Бунин, М. С. Мосты Ленинграда. Очерки истории и архитектуры мостов Петербурга – Петрограда - Ленинграда. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение. 1986.280 с.

8. Гибшман Е. М. Архитектурное проектирование мостовых сооружений. М.: МАДИ, 1988.87 с

9. Надёжин Б.М. Архитектура мостов. М. Стройиздат. 1989. 96 с.

10. Ефимов П.П. Архитектура мостов. М. ФГУП «Информавтодор».2003.212 с.

11. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. Учебное пособие. Саратов. СГТУ. 2005. 226 с.

12. Картопольцев, В.М. Архитектура мостов: курс лекций / В.М. Картопольцев, О.В. Горлушко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2005. – 70 с.

13. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Бахтин С.А., Овчинников И.И. Висячие и вантовые мосты: эстетические проблемы. (учебное пособие). Саратов: Сарат. Гос. Техн. ун-т. 2002. 107 с.

14.Аржаникова О.А., Стахеев О.В. Критерии оценки эстетических качеств мостов// Материалы 57 научно-технической конференции. Томск. ТГАСУ. 2011. С. 314 – 319.

15.Leonhardt, F. Bridges: Aesthetics and Design, 308 pp., Deutsche Verlags-Anstalt (MIT Press, Cambridge, Massachusetts), 1982.

16. Zuk, William. “A Rating Index for Bridge Aesthetics”. Concrete International 17 (August 1995): 45-47.

17. Gauvreau, P. “The Three Myths of Bridge Aesthetics”. In Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering 2002, pp. 49-56. Ed. P. H. Brett, N. Banthia, and P. G. Buckland. Montreal: Canadian Society for Civil Engineering, 2002.

18.Gauvreau, P. “Innovation and Aesthetics in Bridge Engineering”. Canadian Civil Engineer 23.5 (Winter 2006-2007): 10-12, 2007.

19.Bridge Aesthetics Sourcebook. Practical Ideas for Short and Medium Span Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. 2.2009. 69 p.

20. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б., Михалдыкин Е.С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. С. 1-19.

21. CarlW. Condit. Sullivan's Skyscrapers as the Expression of Nineteenth Century Technology// Technology and Culture, Vol. 1, No. 1. (Winter, 1959), pp. 78-93.

22. Finley, R. Craig. “Five fundamentals of bridge design”. CE News 13 (August 2001): 48-49.

23. Buckland, P. G. “The Inherent Beauty of Cable-Stayed Bridges”. In Esthetics in Concrete Bridge Design. Detroit: American Concrete Institute, 1990.

24. Gottemoeller, Frederick. Bridgescape: The Art of Designing Bridges. New York: John Wiley & Sons, 1998. 276 p.

25. David. P. Billington. Robert Maillart: Builder; Designer and Artist, Cambridge University Press, New York, 1997. All discussion of Maillart's works and ideas come from this biography.

26. Кудрявцева С. Сантъяго Калатрава. ИД Комсомольская правда. Директ. Медиа. 2015. 72 с.

27. Figg, Eugene C. «Public Involvement Creates Revolutionary Bridge Design». In Proceedings of the International Bridge Conference. Pittsburgh: Engineers Society of Western Pennsylvania, 2001.

© Горбачева И.А., Овчинников И.Г., 2017

УДК 539.3

Дикова Е.В.
Московский политехнический университет,
Российский университет транспорта

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАДЗЕМНОГО НЕФТЕПРОВОДА С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ МУСАЕВА В.К.

MATHEMATICAL MODELING OF SAFETY ACCORDING TO THE BEARING CAPACITY OF AN ABOVE-GROUND OIL PIPELINE WITH AN ELASTIC BASE UNDER NON-STATIONARY SEISMIC INFLUENCES WITH THE HELP OF MUSAEV V.K COMPLEX OF PROGRAMS

Аннотация. Приводится некоторая информация моделирования безопасностипри нестационарном волновом сейсмическом воздействии на надземный нефтепровод с помощью численного метода. Рассмотрена

задача о воздействии плоской продольной сейсмической волны под углом девяносто градусов к горизонту на надземный нефтепровод. Решается система уравнений из 32032288 неизвестных. Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда. Приводится контурное напряжение в надземном нефтепроводе.

Ключевые слова: безопасность, надземный нефтепровод, сейсмическое воздействие, численный метод, алгоритм, комплекс программ Мусаева В.К., сейсмическое воздействие, напряженное состояние, несущая способность, прочность.

Abstract: Is some information modeling safety in non-stationary seismic wave effects on above-ground pipeline with the help of numerical method. The problem of the impact of a flat longitudinal seismic waves at an angle of ninety degrees to the horizon on the aboveground pipeline. Solve the system of equations of 32032288 unknown. The seismic excitation is modeled as a function of Heaviside. Contour provides a voltage in the above-ground pipeline.

Keywords: security, overhead pipeline, seismic effects, numerical method, algorithm, software complex Musayev V.K., seismic effects, stress state, load bearing capacity, durability.

Для прогноза безопасности уникальных сооружений машиностроения и других объектов экономики по несущей способности (прочности), находящихся в твердой деформируемой среде, при волновых воздействиях, применяется численное моделирование. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для решения линейных двумерных плоских задач, которые позволяют решать сложные задачи при волновых воздействиях на сооружения.

В работах [1–19] приведена информация о моделировании

нестационарных волн напряжений в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых сейсмических воздействиях.

Рассмотрим задачу о воздействии плоской продольной сейсмической волны (рис. 2) под углом девяносто градусов к горизонту на надземный нефтепровод (рис. 1).

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: 1 кгс/см^2 ≈ 0,098 МПа; 1 кгс·с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

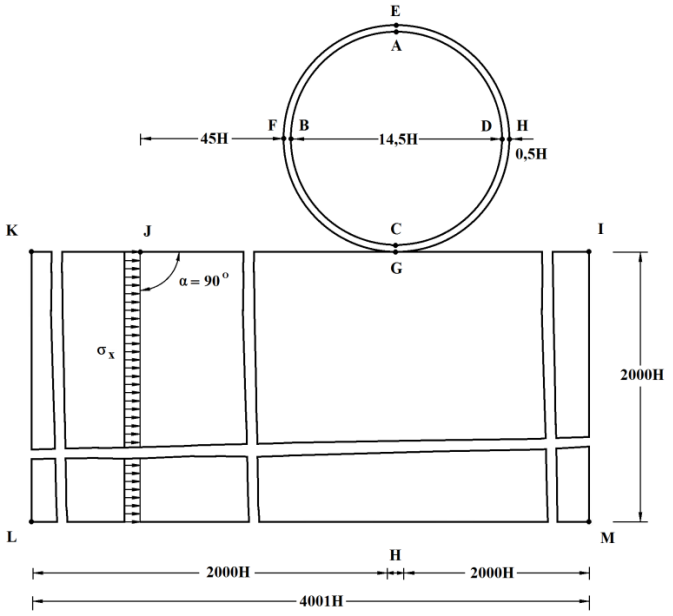


Рис. 1. Постановка задачи

Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда, которое приложено на расстоянии трех среднихдиаметров от края трубы (рис. 1). От точки J под углом девяносто градусов на расстоянии трех средних диаметров от края трубы приложено нормальное напряжение σ_x, которое при $0 \le n \le 26$ $(n = t/\Delta t)$изменяется линейно от 0 до P, а при $n \ge 26$ равно P ($P = \sigma_0$, σ_0 = 0,098 МПа (σ_0 = 1 кгс/см^2)). Граничные условия для контура KLMI при $t > 0$ u = v = &= &= 0. Отраженные волны

от контура KLMI не доходят до исследуемых точек при $0 \le n \le 3000$. Внутренний контур трубы ABCD свободен от напряжений. Наружный контур EFGH трубы свободен от напряжений, кроме точки G, которая находится на контакте с упругой полуплоскостью. В точке G контакта трубы и основания приняты условия непрерывности перемещений. Контур KJGI свободен от нагрузок, кроме точек G и J, которые находятся в упругой полуплоскости.

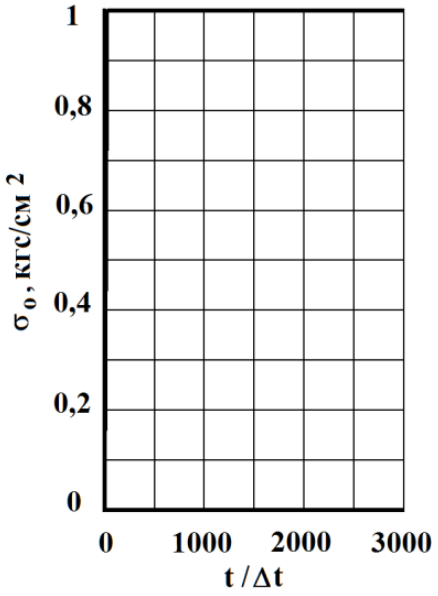


Рис. 2. Сейсмическое воздействие в виде ступенчатой функции (функция Хевисайда)

Для исследуемых материалов приняты следующие исходные данные.

Для трубы приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t = 9{,}309 \cdot 10^{-7}$ с; $E = 2{,}06 \cdot 10^{5}$ МПа ($2{,}1 \cdot 10^{6}$ кгс/см^2); $\nu = 0{,}3; \rho = 0{,}784 \cdot 10^{4}$ кг/м^3 ($0{,}8 \cdot 10^{-5}$ кгс$\cdot$с^2/см^4); $C_p = 5371$ м/с; $C_s = 3177$ м/с.

Для основания приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t = 2{,}788 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3{,}09 \cdot 10^{4}$ МПа ($3{,}15 \cdot 10^{5}$ кгс/см^2); $\nu = 0{,}2; \rho = 0{,}25 \cdot 10^{4}$ кг/м^3 ($0{,}255 \cdot 10^{-5}$ кгс с^2/см^4); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с.

При расчетах принимается минимальный шаг по времени $\Delta t = 9{,}309 \cdot 10^{-7}$ с.

Внутренний диаметр трубы равен $14{,}5H$. Средний диаметр трубы равен $15H$. Наружный диаметр трубы равен $15{,}5H$. Толщина трубы равна $0{,}5H$. Исследуемая расчетная область имеет 8008072 узловых точек. Решается система уравнений из 32032288 неизвестных.

Результаты расчетов были получены в виде упругого контурного напряжения $\overline{\sigma}_k$ ($\overline{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) во времени n в точках A1 - A10 (рис. 3), находящихся внадземном трубопроводе с основанием.

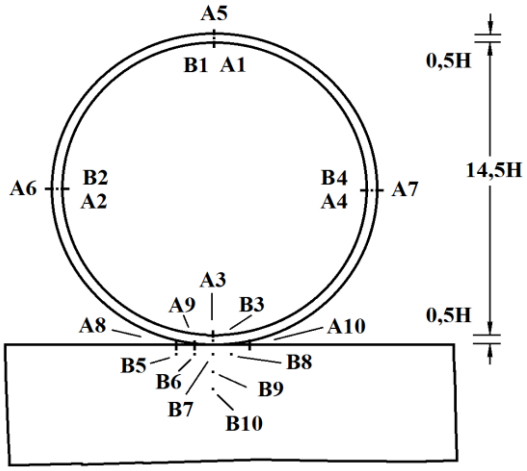


Рис. 3. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени

Результаты расчетов были получены в виде компонентов тензора напряжений во времени n в точках B1 - B10 (рис. 3), находящихся внадземном трубопроводе с основанием.

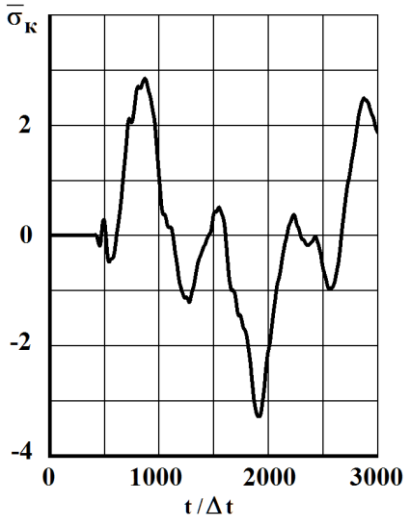


Рис. 4. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке $A1$ (воздействие приложено под углом девяносто градусов к горизонту)

На рис. 4 в качестве примера приводится изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке $A1$ (рис. 3).

Автор выражает благодарность научному руководителю Мусаеву В.К. за оказанную помощь и внимание к работе.

Литература

1. Musayev V.K. Problem of the building and the base interaction under seismic loads // Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2741. Auckland: UniversityofCanterbury, 2000. P. 1–6.

2. Мусаев В.К. О моделировании сейсмической волны параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 61–64.

3. Бедняков В.Г., Ситник С.В., Савичев В.А., Куранцов О.В., Денисюк Д.А. Достоверность результатов численного метода Мусаева В.К. в перемещениях при моделировании отражения упругих волн напряжений

в виде дельта функции от свободной поверхности // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2012. С. 237–239.

4. Мусаев В.К. Математическое моделирование напряженного состояния технических объектов с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 3–4. С. 206–218.

5. Сущев Т.С., Акатьев С.В., Мусаев А.В., Самойлов С.Н., Стародубцев В.В. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XVII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2015. С. 333–342.

6. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих динамических напряжений в полуплоскости без полости и с полостью с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–2. С. 227–231.

7. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных изгибных волн напряжений в плотине Койна (Индия) с упругим основанием (полуплоскость) с помощью волновой теории при сейсмическом воздействии // Актуальные проблемы формирования культуры безопасности жизнедеятельности населения. XXI Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий

от чрезвычайных ситуаций. Сборник докладов. МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – С. 301–309.

8. Musayev V.K. Mathematical modeling of seismic nonstationary elastic waves stresses in Kurpsai dam with a base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3.P. 73–83.

9. Musayev V.K. Numerical simulation of non-stationary seismic stresses in elastic waves dam Koyna with base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3. P. 84–94.

10. Федоров А.Л., Стародубцев В.В., Мусаев А.В., Кузнецов М.Е., Идельсон Е.В. Определение закономерностей нестационарного волнового напряженного состояния в геообъектахс помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. МатериалыМеждународной научно-практической конференции. Выпуск XVIII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2016. С. 289–297.

11. Мусаев В.К. Компьютерное моделирование безопасности подземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях // Международный журнал экспериментального образования.2016. № 11–1. С. 42–46.

12. Мусаев В.К. Моделирование безопасности надземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–3. С. 397–402.

13. Мусаев В.К. Определение сейсмических нестационарных

упругих волн напряжений в полуплоскости с прямоугольной вертикальной полостью (соотношение ширины к высоте один к двенадцати) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–3. С. 403–407.

14. Мусаев В.К. Применение волновой теории сейсмической безопасности для моделирования динамических упругих напряжений в полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к четырем) // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12–1. С. 143–147.

15. Дикова Е.В. Моделирование безопасности надземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. М.: РГГУ, 2016. С. 247–251.

16. Самойлов С.Н. Моделирование безопасности подземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. М.: РГГУ, 2016. С. 255–258.

17. Мусаев В.К. Применение волновой теории сейсмического воздействия для моделирования упругих напряжений в Курпсайской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98–105.

18. Мусаев В.К. Применение нестационарной волновой теории сейсмической безопасности к моделированию волн напряжений в упругой полуплоскостис полостью (соотношение ширины к высоте один к восьми) // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 51–57.

19. Мусаев В.К. Математическое моделирование изгибных волн напряжений в плотине Койна (Индия) с упругим основанием (полуплоскость) при нестационарном сейсмическом воздействии // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 3. С. 30–35.

© Дикова Е.В., 2017

УДК 620.1

Дубнов С.А.,
студент гр. СЗС-31
Гарибов Р.Б.
доктор технических наук,
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительства»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОПОВЕДЕНИИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

ON THE BEHAVIOR OF MATERIALS AND STRUCTURES IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

Аннотация. Материалы и конструкции зданий и сооружений подвергаются воздействию не только эксплуатационных нагрузок, но также и различным агрессивным средам. В связи с этим они должны проходить соответствующую процедуру защиты от агрессивной среды, в которой в дальнейшем будут эксплуатироваться. В статье рассмотрены виды агрессивных сред, основные факторы, вызывающие разрушение, способы защиты материалов и конструкций.

Ключевые слова: агрессивная среда, коррозия, материалы и конструкции, защита, долговечность.

Annotation. Materials and structures of buildings and constructions are exposed not only to operating loads, but also various aggressive environments. Therefore, they must pass an appropriate procedure for the protection against aggressive environments in which they will continue to be operated. The article describes how aggressive media types, basic factors, causing the destruction and methods of protection of materials and structures.

Keywords: aggressive environment, corrosion, materials and structures,protection, durability.

Агрессивные среды классифицируются по физическому состоянию на газообразные, жидкие и твердые. По степени воздействия на строительные конструкции среда выступает неагрессивной, слабо-, средне- и сильноагрессивной. Например, внутри производственных сельскохозяйственных зданий до 60% конструкций подвергаются воздействию агрессивных газообразных сред и до 50% конструкций – воздействию жидких сред.

По характеру воздействия агрессивные среды подразделяются на химические (например, магнезиальная, кислотная, щелочная и т.п.) ибиологические (прямое воздействие растений, мхов, грибов, бактерий; жизнедеятельность микроорганизмов).

В зависимости от степени агрессивного воздействия на строительные конструкции среды делятся на: неагрессивные; слабоагрессивные; среднеагрессивные; сильноагрессивные.

Влияние степени агрессивности среды и глубины разрушения поверхностного слоя бетона на потерю несущей способности конструкций представлено в таблице 1.

Степень агрессивности среды, влияющая на глубину поражения арматуры, представлена в таблице 2.

Таблица 1

Степень агрессивности среды	Глубина разрушения поверхностного слоя, мм/год	Среднегодовая потеря несущей способности при эксплуатации конструкций, %	
		Подземных	Несущих и ограждающих
Слабая	До 0,4	3	5
Средняя	0,4…1,2	5	10
Сильная	Более 1,2	8	15

Таблица 2

Степень агрессивности среды	Коррозионные повреждения, мм/год	Баллы по ГОСТ 13819-68	Снижение прочности в зоне коррозии, %
Неагрессивная	0,1	1…3	0
Слабая	0,01 – 0,05	4,5	До 5
Средняя	0,05 – 0,5	6	До 10
Сильная	> 0,5	> 7	> 10

Характеристики коррозионного процессаопределяются главным образом химическим составом пары агрессивная среда - материал конструкции, микроструктурой поверхности материала, температурой и напряженно-деформированным состоянием[1].

В первую очередь степень агрессивности среды зависит от вида и свойств материала конструкций. Степень агрессивности для бетонных, железобетонных, каменных, деревянных полимерных, стальных и прочих металлических конструкций будет различна. Также для бетонных, железобетонных конструкций она изменяется в зависимости от марки бетона по водонепроницаемости.

Степень агрессивности среды по отношению к строительным конструкциям зависит также от условий эксплуатации, которые характеризуются следующими показателями:

- для газообразных сред – это вид это вид и концентрация газа, влажность и температура, растворимость в воде;
- для жидких сред – это химическийсостав и концентрация агрессивных агентов, температура и величина напора жидкости у поверхности конструкции;
- для твердых тел, включающих соли, в том числе удобрения, аэрозоли, пыль, грунт – это дисперсность и растворимость в воде, гигроскопичность и влажность окружающей среды.

В СНиП отражено, что достаточно значительное влияние на степень агрессивности среды оказывает влажностной климат местности объекта (сухой, нормальный, влажный, мокрый). Также необходимо учитывать специфические особенности этого климата: морской, арктический, тропический, особо жаркий пустынный и т.д.

Также при оценке степени агрессивности среды СНиП учитывает наличие, вид, толщину вторичной защиты на конструкции.

Агрессивными газами по отношению к строительному конструкциям являются газы: углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3) сернистый ангидрид

(SO_2), фтористый водород (HF), сероводород (H_2S), оксиды азота (NO – NO_2), хлор (Cl).

В зависимости от концентрации содержащихся в атмосфере воздуха газов (мг/м^3), газовоздушные среды по степени агрессивного воздействия на строительные конструкции условно делятся на 4 группы: А, В, С и Д. Влияние агрессивного воздействия газов на конструкции возрастает от А к Ди зависит от относительной влажности воздушной среды. Воздушная среда подразделяется на 3 группы: сухая (до 60%), нормальная (от 61 до 75%) и влажная (выше 75%).

На рис. 1 изображен график зависимости скорости атмосферной коррозии металла V от толщины слоя влаги h на поверхности металла, где 1 – область сухой атмосферной коррозии (h = 1-10 нм); 2 – область влажной атмосферной коррозии (h = 0,01 – 1 мкм); 3 – область мокрой атмосферной коррозии (h = 1 мкм – 1мм).

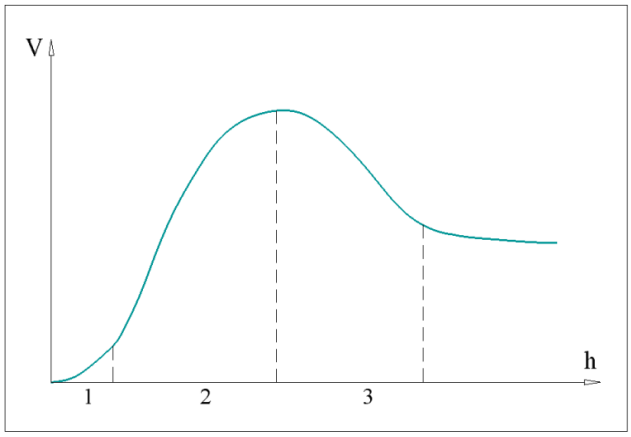


Рис. 1. Зависимость скорости коррозии от толщины слоя влаги

Периодическая конденсация водяных паров, как на внутренней поверхности, так и в материале поперечного сечения несущих и ограждающих конструкций, особенно в присутствии агрессивных агентов, значительно сокращает срок службы строительных конструкций.

Причинами выпадения конденсата влаги являются недостаточная величина сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, повышенная относительная влажность воздуха и пониженная температура воздуха.

Условием, препятствующим выпадению конденсата влаги на поверхности или в толще паропроницаемой строительной конструкции, является:

$$t < \tau_p, (1)$$

где t – температура в любой точке материала такой конструкции, ^{o}C;

τ_p – «точка росы»– температуравыпадения конденсата влаги при определенном уровне гидростатического давления, ^{o}C.

Расчетная температура материала (поверхности) ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$\tau_x = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_0}\left(R_в + \sum R_i\right), (2)$$

где τ_x – расчетная температура на поверхности и в толще конструкции, ^{o}C;

$t_в$ – нормативная температура газовоздушной внутренней среды, ^{o}C;

$t_н$ – нормативная температура наружного воздуха для зимних условий эксплуатации конструкции, ^{o}C;

R_0 – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м$^2 \cdot {}^{o}$C/Вт;

$R_в$ – сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности ограждения, м$^2 \cdot {}^{o}$C/Вт;

$\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждающей конструкций со стороны внутреннего помещения, м$^2 \cdot {}^{o}$C/Вт.

Расчетное значение температуры до точки выпадения конденсата влаги определяется исходя из формулы, ^{o}C:

$$\varphi = e/E \cdot 100\% (3)$$

где φ – фактическая относительная влажность газовоздушной среды, %;

е – фактическая упругость водяного пара в газовоздушной среде, Па(мм рт.ст.);

Е – максимальная упругость водяного пара в газовоздушной среде, Па(мм рт.ст.), при заданной температуре газовоздушной среды.

Для предотвращения снижения механических, антикоррозионных, гидро- и теплофизических свойств паропроницаемого материала ограждающей конструкции вследствие его увлажнения при адсорбции эксплуатационной влаги, выпадении на ее поверхности конденсата или попадании атмосферных осадков, поверхностный слой такого материала необходимо обработать водными растворами кремнийорганических соединений (ГЖК-10, ГЖК-11, ГЖК-94). Пропитанный раствором на глубину от 2 до 10 мм бетон приобретает свойство не впитывать воду, в то же время воздухо- и паропроницаемость (потенциал деаэрации) гидрофобизированного бетона изменяются незначительно. Так, например, в 1968 г. нас стволе Останкинской телевизионной башни была выполнена гидрофобизация поверхности 5%-ным раствором полиэтилгидросилоксана (ГЖК-94) в толуоле. Эффект несмачиваемости поверхности бетона сохранялся до 1978 г.

В целях естественного удаления вредных выделений соответствующих газов из атмосферы промышленных, транспортных, дорожно-строительных или производственных сельско-хозяйственных объектов для их расположения необходимо выбирать открытые площадки,

хорошо обдуваемые ветром. Предприятия с вредными выделениями не рекомендуется размещать в долинах, у подножья гор или на склоне гор с подветренной стороны. Промышленные и сельско-хозяйственные здания , выделяющие вредности (газы и пыль), должны располагаться в отдалении на 500 – 1000 метров от других объектов с подветренной стороны по направлению господствующих ветров.

Поперечный разрез (профиль) здания и внутренние размеры помещений здания необходимо проектировать с учетом обеспечения быстрого удаленияагрессивных газов из помещений, например, за счет устройства вытяжных фонарей на покрытии, расположенных непосредственно над местами выделения газов. Общая вентиляция, а также местное удаление воздуха в зонах выделения агрессивных газов, паров и пыли уменьшает или исключает коррозионную опасность для конструкций. Например, подача теплого сухого воздуха в зону несущих металлических конструкций, покрытых капельным конденсатом, позволяет увеличить межремонтные сроки эксплуатации в 2 – 3 раза.

С другой стороны, вентиляция сухим теплым воздухом, например, помещений склада аммиачной селитры ($NaNO_3$) значительно увеличивает долговечность здания, поскольку аммиачная селитра в твердом и сухом состоянии не является коррозионно-опасной для материала строительных конструкций.

Эффективным способом защиты строительных конструкций является изоляция зон, выделяющих агрессивные продукты, с помощью непроницаемых ограждений, в том числе с помощью конструкций верхнего перекрытия. Для значительного уменьшения концентрации агрессивных газов в межферменном пространстве в этой зоне необходимо

создавать избыточное давление воздуха за счет действия приточной вентиляции.

К *жидким агрессивным средам* относятся: вода, неорганические кислоты (HCl, H_2SO_4, H_2SO_3, HNO_3и т.д), щелочи, растворы солей (NaCl, KCl и т.д.), органические кислоты, растворители, масла, нефть и нефтепродукты и т.д.

В жидких средах коррозию бетона и железобетона делят на 3 вида: первый вид - коррозия выщелачивания; второй вид - кислотная коррозия; третий вид – солевая коррозия.

1-й вид представляет собой постепенное растворение структуры цементного камня и вымывание растворенных компонентов пресной водой через толщу бетона;

Рис. 2 Коррозия плиты перекрытия под действием проливов фосфорной кислоты

2-й вид обусловлен действием органических и неорганических кислот (Рис. 2 и 3 – предприятие БФ АО «Апатит»), щелочей и некоторых солей (хлорид натрия или магния).

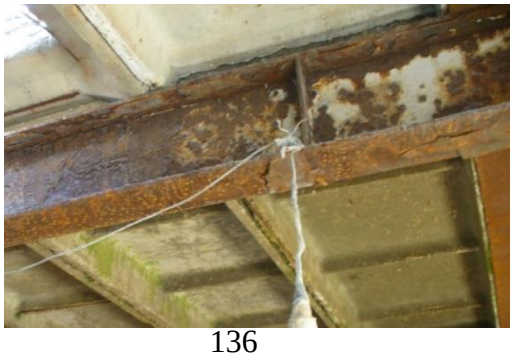


Рис. 3 Коррозия несущей балки под действием кислотных испарений

3-й вид обусловлен проникновением в капилляры бетона жидких сред, содержащих компоненты, образующие с поровой жидкостью или цементным камнем нерастворимые кристаллические соединения

По данным натурных обследований, анализа проектных материалов и экспертного опроса специалистов установлено, что воздействию агрессивных, в том числе хлоридсодержащих, сред подвергаются 75% инженерных конструкций и сооружений [2].

Для обеспечения коррозионной стойкости бетона под воздействием жидких агрессивных сред следует защищать поверхности конструкций облицовкой и футеровкой, кислотостойкими керамическими и шлакоситалловыми изделиями, а также штучными покрытиями на основе полимерных вяжущих с применением оклеечной изоляции из листовых и пленочных материалов.

При малой степени коррозии можно рекомендовать, как один из видов защитных мероприятий, нанесение на поверхность бетона торкрета с полимерными добавками.Также коррозионную стойкость бетона можно улучшить путем повышения его плотности и водонепроницаемости.

В случае большой степени агрессивного воздействия дополнительно рекомендуется защитить поверхность конструкции торкрет-покрытиями с полимерными добавками на основе цементных вяжущих.

Все эти защитные мероприятия необходимо осуществлять только после исследования механизма разрушения конструкций, выявления вида коррозии, и предварительной разработки профилактических мероприятий по предотвращению контакта агрессивных сред со строительными конструкциями.

В свою очередь степень агрессивного воздействия среды на материалы строительных конструкций зависит как от свойств среды (вида, концентрации, температуры жидкой среды, скорости ее движения у поверхности конструкции), так и отдельных свойств конструкции (водопроницаемости бетона, наличия армирования) и принимается по СНиП 2.03.11-85*.

Степень агрессивного воздействия *твердых сред* на неметаллические и металлические конструкции зависит от относительной влажности воздуха, растворимости твердых тел и определяется по СНиП 2.03.11-85*.

Для получения долговечных конструкций при проектировании зданий необходимо принимать соответствующие решения в следующей последовательности:

- снижение степени агрессивности среды;
- принятие новых принципов конструирования, как отдельных конструкций, так и здания в целом (прежде всего, формы поперечного профиля);
- повышенные технологические требования при производстве конструкций;
- поверхностная защита.

Введение модификаторов в роли поверхностной защиты значительно увеличивает стойкость бетона к агрессивным средам, микроорганизмам и снижает коррозию арматурных стержней. Положительное действие ряда модифицирующих добавок заключается в образовании нерастворимых соединений, равномерно распределенных в теле бетона. Нерастворимые частицы заполняют поры и трещины в теле бетона и тем самым создают преграду для удаления активных веществ [3].

Основными причинами коррозионного разрушения строительных конструкций являются:

- превышение степени агрессивности эксплуатационной среды над нормативной;
- несоответствие проектных конструктивных решений фактическим условиям эксплуатации;
- низкая коррозионная стойкость конструкционных материалов;
- недостаточная эффективность противокоррозионной защиты;
- большой физический износ конструкций, вследствие несоответствующего технического ухода за ними.
- К зданиям с наиболее выраженными агрессивными средами относятся объекты, связанные с производством:
- нефтехимических продуктов;
- кислот: серной, соляной, азотной, фосфорной, уксусной, муравьиной, бензойной, фталевой и др.;
- щелочей и их продуктов: едких натрия и калия, соды и др.;
- аммиака и его солей;
- цветной металлургии;
- цементной промышленности;
- коксохимической промышленности;
- электрохимического производства;
- газового производства;
- серы.

При проектировании этих зданий с агрессивными средами выбор архитектурно-конструктивных решений производится с соответствующим техническим и экономическим обоснованием строительных конструкций и материалов. Одновременно защита строительных конструкций от коррозии

должна предусматриваться при проектировании предприятий с агрессивными средами. К сожалению, построенные в 60-80-г гг. отдельные промышленные объекты без учета влияния процесса коррозии на техническое состояние строительных конструкций, получили серьёзные коррозионные повреждения и находятся в плохом техническом состоянии. Стоимость ремонтно-восстановительных работ на осуществление защитных мероприятий в настоящее время приближается к затратам на первоначальное строительство.

Одновременно, защита строительных конструкций от коррозии придает бетону, железобетону, металлам и дереву дополнительную прочность, трещиностойкость и долговечность. При этом сохраняется архитектурно-художественный облик зданий в течение длительного времени.

Литература

1. Овчинников И.И. Проблема оптимального проектирования нагруженных конструкций,подвергающихся воздействию агрессивных сред (обзор) / Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Занин А. А., Зеленцов Д., Короткая Л. И. // Интернет-журнал «Науковедение», 2012. Вып. 4(13). 97 с.

2. Гарибов Р.Б. Сопротивление железобетонных элементов конструкций воздействию агрессивных сред/Р.Б. Гарибов. Саратов: СГТУ, 2003. 228 с.

3. Павлова И.Л., Игольников А.К. Способы защиты бетонных и железобетонных конструкций от действия агрессивных сред//Повышение надежности и безопасности транспортных сооружений и коммуникаций: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т./под ред. Н.Е. Кокодеевой,

Э.Ю. Шмагиной, А.В. Панкратовой. Саратов: Издательский Дом «Райт-Экспо», 2015.Т.2. 308 с. С. 213-217.

4. Овчинникова Т.С. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций/Т.С. Овчинникова, А.Н. Маринин, И.Г. Овчинников//Интернет-журнал «Науковедение», сентябрь-октябрь 2014. -Вып. 5 (24). -25 с.

5. Анализ факторов, влияющих на работоспособность железобетонных конструкций инженерных сооружений при воздействии агрессивных сред / Пахомова Е.Г., Семеринов В.Г., Гутенева Е.И. / Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6 (69). С. 81-88.

6. Пахомова Е.Г., Переверзев Е.О., Конорев Д.Ф. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений при воздействии агрессивных сред//Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. -2014. -№1. -С. 72-74.

7. Повышение безопасности железобетонных конструкций в условиях агрессивных сред / Рудакова Е.М., Фролов А.Е. / Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013 С. 98-102.

© Дубнов С.А., Гарибов Р.Б., 2017

УДК 624.04

Жедёнова С.В.
магистрант, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия
Овчинников И. И.
кандидат технических наук, доцент, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

PROBLEMS OF PROTECTION OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS OF TRANSPORT STRUCTURES FROM CORROSION

Аннотация. Рассматриваются принципы и методы защиты железобетонных и бетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии, относящиеся к группам первичной, вторичной и специальной защиты. Приводится таблица, облегчающая выбор принципов и методов антикоррозионной защиты.

Ключевые слова: бетон, железобетон, коррозия, антикоррозионная защита, долговечность, принципы защиты, методы защиты.

Abstract. Principles and methods of protection of reinforced concrete and concrete constructions of transport structures against corrosion, relating to primary, secondary and special protection groups are considered. A table is provided that facilitates the selection of principles and methods of corrosion protection.

Keywords: concrete, reinforced concrete, corrosion, corrosion protection, durability, protection principles, methods of protection

Введение

Практически все транспортные сооружения в процессе эксплуатации подвергаются совместному воздействию разнообразных внешних факторов: нагрузок, температур, агрессивных эксплуатационных сред. Под влиянием этих факторов в материале конструкций развиваются деформации и разрушения, коррозионные и другие деструктивные процессы, под влиянием которых изменяется напряженно-

деформированное состояние конструкций, значительно сокращается срок их безаварийной эксплуатации. Поэтому для обеспечения надежной эксплуатации конструкций следует учитывать по возможности все факторы, оказывающие влияние на поведение материалов и конструкций из них, а также предпринимать необходимые меры по снижению или исключению отрицательного влияния внешней агрессивной среды на конструкции.

В настоящее время нормативные документы разделяют защиту от коррозии на первичную, предусматривающую обеспечение коррозионной стойкости на стадии проектирования и изготовления конструкции, и вторичную, благодаря которой эта коррозионная стойкость, в необходимых случаях, повышается и сохраняется на определенный, заданный срок службы [1].

Группы защиты бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии

Традиционно считалось, что во вторичной защите от коррозии железобетонные и бетонные конструкции они не нуждаются и, как показал опыт, реальный срок эксплуатации их не превысил 30-50 лет и оказался ниже долговечности металлических конструкций [2,3].

В настоящее время методы защиты бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии делятся на три группы:

1) методы первичной защиты, включающие разработку конструктивных решений бетонных и железобетонных конструкций, применение соответствующих материалов или изменение их структуры, с тем, чтобы обеспечить заданный срок службы конструкций в реальных эксплуатационных условиях;

2) методы вторичной защиты, включающие нанесение защитных покрытий, пропитку поверхности конструкций, облицовку различными материалами, то есть методы, снижающие интенсивность или вообще исключающие действие эксплуатационной среды на бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений;

3) методы специальной защиты, которые не относятся к первичной и вторичной защите, но позволяют снизить воздействие агрессивной среды на конструкции (ингибиторы, катодная защита, правильный водоотвод и т.п.).

Методы первичной защиты применяются при проектировании и изготовлении бетонных и железобетонных конструкций и включают следующие мероприятия.

А) конструктивные:

- подбор таких форм бетонных и железобетонных конструкций, которые повышали бы их слитность, то есть уменьшали бы площадь контакта с агрессивной внешней средой, исключали бы или уменьшали количество агрессивных компонентов, накапливающихся в отдельных зонах на поверхности конструкций;

- подбор соответствующего вида и класса сталей для арматуры;

- применение полимерной композитной арматуры;

- использование фибробетонов с металлической или полимерной фиброй;

- правильное задание толщины защитного слоя в зависимости от условий эксплуатации железобетонных конструкций;

- повышение трещиностойкости и снижение допустимого раскрытия трещин в бетоне;

- определение внешних нагрузок с учетом допустимого длительного раскрытия трещин;

- применение высокопрочных бетонов.

Б) технологические:

- подбор цементов, стойких к эксплуатационной среде;

- выбор заполнителя с повышенным сопротивлением к эксплуатационной среде;

- использование корректной методики проектирования состава бетона;

- правильный выбор соответствующих добавок и модификаторов;

- обеспечение пониженной проницаемости бетонов;

- повышение качества бетона при изготовлении, укладке и уплотнении бетонной смеси;

- правильный уход за бетоном, обеспечивающий снижение образования температурных и усадочных трещин;

- организация транспортировки, хранения и монтажа, обеспечивающих сохранность бетонных и железобетонных конструкций.

К методам вторичной защиты относятся:

- использование лакокрасочных материалов;

- использование мастичной гидроизоляции;

- использование оклеечной изоляции;

- применение пропитки поверхности и стойкими материалами;

- использование гидрофобизирующих составов для обработки поверхностей;

- применение облицовки штучными или блочными изделиями.

Этот вид защиты используется, если недостаточно мер первичной защиты. Так как долговечность вторичной защиты ограничена, то ее нужно периодически возобновлять.

При выборе вторичной защиты следует проводится сравнение вариантов по технико-экономическим показателям с учетом заданного срока службы защищаемой конструкции, долговечности вторичной защиты,

расходов на регулярное возобновление защиты, текущий и капитальный ремонты сооружений и других эксплуатационных затрат, с учетом положений ГОСТ Р ИСО 14040-2010, а также ОДМ 218.3.095-2017 [4].

Принципы и методы защиты от коррозии

Принципы и методы защиты от коррозии приведены в таблице

Принципы защиты от коррозии	Методы защиты, позволяющие реализовать соответствующий принцип
1	2
1. Защита от проникания (уменьшение или предотвращение проникания агрессивных реагентов (воды, других жидкостей, пара, газа, агрессивных сред, биологических агентов))	1.1 Пропитка (Применение материалов, проникающих в бетон и блокирующих систему пор)
	1.2 Нанесение защитного покрытия на поверхность с заделкой трещин или без нее
	1.3 Заделкалокально изолированных трещин
	1.4 Заполнение (инъектирование) трещин
	1.5 Преобразование трещин в швы
	1.6 Установка наружныхпанелей (облицовки)
	1.7 Устройство (нанесение) мембран
2. Контроль влажности (регулировка и поддержание содержания влаги в бетоне в заданных пределах; контроль неблагоприятных реакций путем осушения бетона и предотвращения скапливания влаги; неблагоприятные реакции включают взаимодействие щелочей цемента с кремнеземом заполнителя и сульфатную коррозию; насыщенный влагой бетон может быть подвержен негативному воздействию циклов замораживания-оттаивания.	2.1 Гидрофобная пропитка
	2.2 Нанесение поверхностных слоев
	2.3 Защита укрытием или установкой облицовки
	2.4 Электрохимическая обработка
3. Восстановление бетона при защите эксплуатируемых конструкций (восстановление исходного бетона как элемента конструкции до проектных характеристик; замена части бетона на защищаемой конструкции)	3.1 Нанесение ремонтной смеси вручную
	3.2 Восстановление применением наливных составов
	3.3 Нанесение ремонтного состава или бетонараспылением (набрызгом)
	3.4 Замена поврежденных элементов
4. Конструкционное усиление (восстановление или даже повышение несущей способности поврежденного бетонного или железобетонного элемента для восприятия реально действующей на конструкцию нагрузки)	4.1 Замена замоноличеннойв бетон или внешней арматуры, добавление арматуры
	4.2 Установка анкеров в подготовленные отверстия в бетоне
	4.3 Усиление конструкции для увеличения несущей способности

	4.4 Увеличение сечения конструкции добавлением ремонтной смеси или бетона
	4.5 Инъектирование трещин, полостей или пустот
	4.6 Заполнение трещин, полостей или пустот
	4.7 Создание предварительного напряжения - (с последующим натяжением арматуры)
5. Повышение стойкости к физическим или механическим воздействиям	5.1 Нанесение дополнительных поверхностных слоев илипокрытий
	5.2 Пропитка бетона
6. Повышение стойкостик химическим воздействиям и повреждениям, вызванным химическими воздействиями	6.1 Нанесение поверхностных слоев или покрытий
	6.2 Пропитка
7. Сохранение или восстановление пассивации арматуры (создание химических условий, при которых поверхность арматуры поддерживается в пассивированном состоянии или возвращается в него)	7.1 Увеличение защитного слояарматуры с помощью дополнительного цементирующего раствора, бетона и других восстанавливающих смесей
	7.2 Замена загрязненного или карбонизированного бетона
	7.3 Электрохимическое обесщелачивание карбонизированного бетона
	7.4 Обесщелачивание карбонизированного бетона путем диффузии
	7.5 Электрохимическое извлечение хлоридов
8. Повышение удельного электрического сопротивления бетона	8.1 Ограничение содержания влаги путем гидрофобизациионповерхности нанесением гидроизоляционных и защитныхпокрытий или мембран
9. Катодный контроль (создание условий, при которых потенциально катодные зоны арматуры не способны запускать анодную реакцию)	9.1 Ограничение содержания кислорода (в катоде) путем насыщения или защитного покрытия поверхности.
10. Применение катодной защиты	10.1 Использование электрического потенциала
11. Регулировка анодных зон (создание условий, при которых возможные анодные реакции арматуры не способны участвовать в коррозионном процессе)	11.1 Нанесение на арматуру покрытий, содержащих активированные пигменты
	11.2 Нанесение на арматуру защитных покрытий
	11.3 Нанесение на бетон ингибиторов

Заключение

Для выполнения работ по защите от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений необходимо разработать проект антикоррозионной защиты.При этом определение подходящих принципов защиты является наиболее важной частью проекта и производится путем анализа требований к сооружению, предъявляемых

заказчиком, а также экономических, функциональных, экологических и других факторов.

Основной показатель при сравнении вариантов защитных антикоррозионных систем - расчетный срок службы защищаемой конструкции. При этом подходящими могут оказаться несколько вариантов, и окончательный выбор должен основываться на сравнении вариантов. После отбора принципов защиты должны быть подобраны соответствующие методы (таблица) с дополнительным указанием эксплуатационных требований к материалам и системам защиты.

Литература

1.Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания/ И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров и др. –Саратов: Изд-во «Кубик», 2014. – 504 с.: ил. 155., табл. 23., библ. 175 наим.

2. Овчинников И.Г. Проблема защиты от коррозии металлических и железобетонных мостовых сооружений – пути решения// Мир дорог. 2014, №76, с.49-51.

3. Овчинников И.Г., Дудкин Е.В., Овчинникова Т.С. Проблема антикоррозионной защиты железобетонных мостовых конструкций//Бетоны. Оборудование. Опалубка «2015–2016». Специальный выпуск журнала «Мир дорог». С. 38-41.

4.Овчинников И.Г., Жедёнова С.В., Овчинников И.И. ОДМ 218.3.095-2017. Отраслевой дорожный методический документ.Защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО (РОСАВТОДОР). Москва 2017. 143 с.

© Жедёнова С.В., Овчинников И.И., 2017

УДК 69.03

ЖестковаС.А.
аспирант
Саратовскийгосударственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.

ОБЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА НЕОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ НА СДВИГ

TOTAL STABILITY OF A SPATIAL HIGH-RISE OBJECT ON AN INHOMOGENEOUS BASE ALLOWING FOR SHIFT

Аннотация. Рассматривается задача устойчивости, пространственного высотного объекта, в зависимости от неоднородности жесткостных свойств основания объекта и изгибной жесткости фундаментной плиты с учетом основания на сдвиг.Расчеты произведены с помощьюпрограммы, выполненнойна основе Delphi 7.0. Показано, что малое несовершенство жесткостных свойств основания высотного объекта существенно влияет на его общую устойчивость.

Ключевые слова: устойчивость, высотный объект, фундаментная плита, деформируемое основание.

Abstract. The problem of stability, a spatial high-altitude object, is considered, depending on the inhomogeneity of the rigidity properties of the base of the object and the flexural rigidity of the base plate with allowance for the basis for shear.Calculations are made with the help of the program executed on the basis of Delphi 7.0. It is shown that a small imperfection of the rigidity properties of the base of a high-rise object significantly affects its overall stability.

Key words: stability, high-altitude object, foundation plate, deformable base.

Под общей устойчивостью в данном случае понимаем устойчивость исходного строго вертикального состояния равновесия пространственного высотного объекта на деформируемом основании, описываемом моделью местных деформаций.

Классическая проблема устойчивости сводится к решению задач на собственные значения, где собственные значением является критическая нагрузка потери устойчивости (решение Эйлера) [1]. Существует и другой способ решения задач устойчивости. Это решение нелинейной неоднородной задачи, в которой прослеживаются равновесные состояния объекта в процессе нагружения. В качестве неоднородности в таких задачах вводится малое начальное несовершенство. Например, в задачах устойчивостиоболочек в качестве неоднородности задается малое начальное несовершенство формы серединной поверхности оболочки. В задачах общей устойчивости высотного объекта, рассматриваемого как объект с высокорасположенным центром сил тяжести, в качестве неоднородности обычно задается начальный эксцентриситет центра сил тяжести. При таком подходе к решению задачи устойчивости нелинейное решение неоднородной задачи позволяет достаточно точно определить критическую нагрузку [2]. В работе [3] рассмотрена задача расчетаобщей устойчивостии деформаций кренавысотного объекта с малым начальным эксцентриситетом центра сил тяжести.

Рассмотрим задачу общей бифуркационной устойчивости высотного объекта на деформируемом основании. В качестве начального несовершенства примем малую неравномерность жесткостных свойств основания по плану фундаментной плиты (Рис. 1).

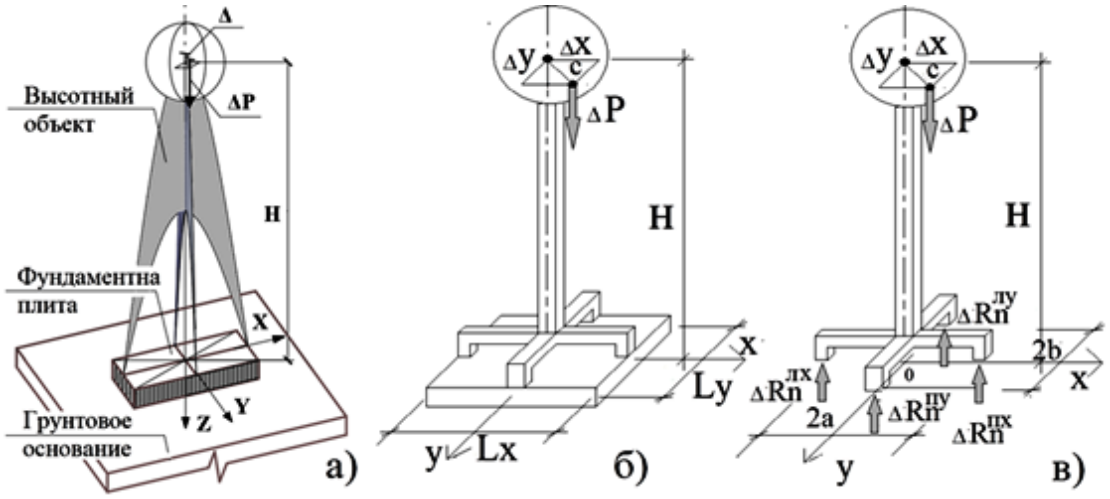


Рис. 1

Грунтовое основание строительных объектовобычно сложено природными слоями с различными жесткостными характеристиками.Работу на сжатие несущегослоя (Рис. 1) оценим, рассматривая переменный по плану фундаментной плиты коэффициент:

$$k(x,y) = k_0 + k_x x + k_y y; \tag{1}$$

где k – коэффициент Винклера (коэффициентпостели), характеризующий работу основания на обжатие; k_x, k_y- коэффициенты, задающие начальное несовершенство жесткостных свойств основания.

Для рассматриваемого случая дифференциальная задача бифуркационной устойчивости на базе статического критерия имеет вид :

$$\nabla^2\nabla^2\Delta W - 2r^2\nabla^2\Delta W + s^4\Delta W = \frac{\Delta q(\Delta W, W, \Delta P, P)}{D};$$

$$r^2 = \frac{t}{D}; \quad t = \frac{E_0 H_0}{12(1+\nu_0)}; \; s^4 = \frac{k}{D}; \quad k = \frac{E_0}{H_0(1-\nu_0^2)}; \tag{2}$$

Здесь: D – цилиндрическая жесткость фундаментной плиты; $\Delta W(x,y)$ - приращение вертикальных перемещений деформируемой плиты в «возмущенном» состоянии равновесия;r - коэффициент учитывающий работу касательных напряжений, возникающих в основании; Δq -

приращение нагрузки на фундаментную плиту под опорами сооружения; *P* – равнодействующая веса сооружения в центре сил тяжести.

Для свободных краев плиты граничным условием является равенство нулю момента M=0. Учет неразрывности функции $\Delta W(x,y)$ на свободных краях плиты, представлено ввиде двух уравнений:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta W_{ПЛИТЫ} = \Delta W_{ОСНОВАНИЯ} \\ \Delta S_{ПЛИТЫ} = \Delta S_{ОСНОВАНИЯ}\end{array}\right\} \quad при \quad x = 0;\, L_x, \quad y = 0;\, L_y. \qquad (3)$$

где: $\Delta S_{плиты}$, $\Delta S_{основания}$ - обобщенные поперечные силы .

Для рассматриваемой расчетной схемы приращение нагрузки на фундаментную плиту под опорами сооружения в «возмущенном» состоянии равновесия получим в виде рекуррентных соотношений из условия равновесия высотного объекта:

$$\Delta q_n^{nx,ny}\left(W^{nx}, W^{лx}, P\right) = \frac{\Delta P}{2F_{on}}\left(\frac{1}{2} \pm \frac{H}{2a^2}\sum_{i=1}^{n-1}\left(W^{nx} - W^{лx}\right)\right) \pm \frac{P}{2F_{on}}\frac{H}{a^2}\left(\Delta W^{nx} - \Delta W^{лx}\right); \qquad (4)$$

$$\Delta q_n^{ny,лy}\left(W^{ny}, W^{лy}, P\right) = \frac{\Delta P}{2F_{on}}\left(\frac{1}{2} \pm \frac{H}{2b^2}\sum_{i=1}^{n-1}\left(W^{ny} - W^{лy}\right)\right) \pm \frac{P}{2F_{on}}\frac{H}{b^2}\left(\Delta W^{ny} - \Delta W^{лy}\right);$$

H – высота центра сил тяжести высотного объекта; 2a=2b=B - расстояние между опорами; D– изгибная жесткость фундаментной плиты; $\Delta x, \Delta y$ - приращения эксцентриситета в направлении осей x и y (Рис.1б,в); C – положение центра сил тяжести с учетом приращения эксцентриситета (Рис.1б,в);

Для дискретизации системы дифференциальных уравнений устойчивости используем метод конечных разностей [3].

Исследовать процесс деформирования высотного объектав докритическом состоянии с определением приращений перемещений деформаций крена будем путем решения линеаризованных неоднородных

уравнений устойчивости метода конечных разностей, представленных в матричной форме:

$$\Omega \Delta U = \lambda \Psi \Delta U + \Delta \lambda \Theta U; \qquad (5)$$

где: ΔU – столбец неизвестных метода конечных разностей; λ - собственное значение системы уравнений; Ω, Ψ, Θ - матрицы коэффициентов алгебраической задачи.

Рассмотрим вопрос общей бифуркационной устойчивости высотного объекта, основываясь на предположении, что фундаментная плита недеформированная. Это позволит привлечь для сравнения результатов аналитическое решение для критической нагрузки P_{kp}. Так при ширине фундаментной плиты L = 25 м получим [4]:

$$\frac{HP_{kp}}{k} = J_0 = 3.26 * 10^4 м^4 \qquad (6)$$

где J_0 - наименьший центральный момент инерции площади основания.

Рассмотрим результаты расчета высотного объекта на деформируемом неоднородном основании.

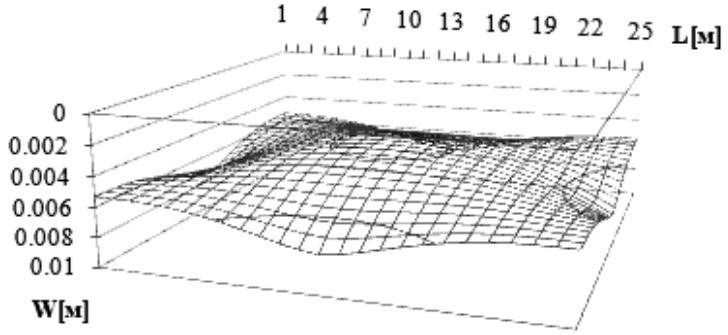


Рис.2

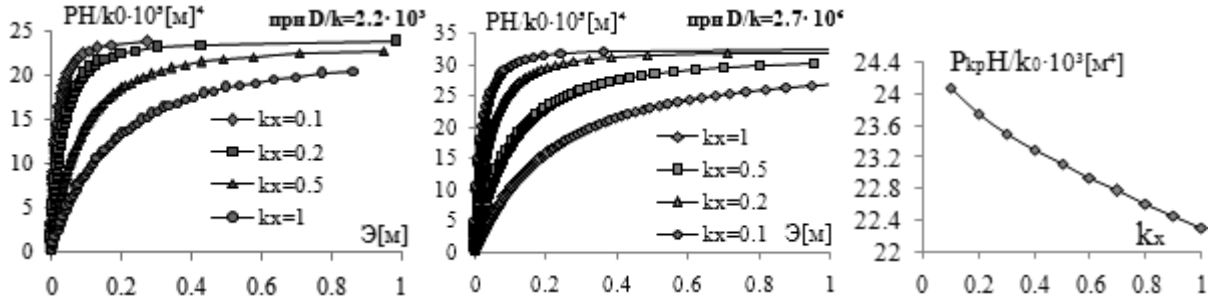
На рис 2 показаны вертикальные перемещения (осадки) фундаментной плиты при:

$$\frac{D}{k_0} = 2.2 \cdot 10^3; \quad \frac{k_x}{k_0} = \frac{k_y}{k_0} = 0;$$

На рис 3а показаны деформации крена высотного объекта для достаточно жесткой фундаментной плиты:

$$\frac{D}{k_0} = 2.7 \cdot 10^6; \quad \frac{k_x}{k_0} = \frac{k_y}{k_0} = 0.01;$$

При приближении к значению критической нагрузки получаемой по аналитическому решению для абсолютно жесткой плиты (6) деформации крена высотного объекта возрастают и стремятся к бесконечности.



а) б) в)

Рис.3

На рис. 3б показаны графикидеформаций крена высотного объекта дляфундаментной плиты средней жесткости.Увеличение неоднородности жесткостных свойств основания повышает склонность высотного объекта к развитию деформаций крена и снижает величину критической нагрузки (Рис. 3в).

Таким образом, можно сделать вывод, что малое несовершенство жесткостных свойств основания, учитывающего работу на сдвиг, существенно влияет на общую устойчивость высотного объекта.

Литература

1. Алфуров Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. «Машиностроение»,1978-312 с.

2. Коллац Л. Задачи на собственные значения. М.: Наука, 1968 -504 с.

3. Иноземцев В.К., Иноземцева О.В., Жесткова С.А. Деформации крена высотного объекта на деформируемой плите. Журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений», 2017-стр.74-78

4. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. Гос. Изд. Технико-теоретической литературы. Москва 1955.

5. Энгель, Х Несущие системы /Хайно Энгель; предисл. Ральфа Рапсона; пер. с нем. Л.А.Андреевой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. с. 344: илл.

© Жесткова С.А., 2017

УДК 624.014

Захаренко А. А.
Студентка группы СТЗС-41
Ращепкина С.А.
Кандидат технических наук, доцент, профессор РАЕ
Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

STRUCTURAL SYSTEMS APPLICATION FOR BUILDINGS OF DIFFERENT PURPOSES

Аннотация. В работе представлен краткий обзор пространственных конструкций применяемых в гражданском и промышленном строительстве. На основе технико-экономического анализа различных конструктивных решений структурных систем принято оптимальное решение для проектируемого здания развлекательного центра.

Ключевые слова: структурные системы, стальные конструкции, анализ, оптимальное решение.

Abstract. The paper presents a brief overview of the spatial structures used in civil and industrial construction. Based on the techno-economic analysis of

different constructive solutions to the structural systems adopted the optimal solution to the designed building of the entertainment centre.

Key words: structural system, steel design, analysis, optimal decision.

1. Краткий обзор применения структурных систем

Структурные системы состоят из многократно повторяющихся линейных элементов, образующих систему часто расположенных пересекающихся ферм. Они обладают повышенной жесткостью, меньшей (примерно в 2 раза) строительной высотой по сравнению с плоскими фермами, что позволяет сократить объем здания и эксплуатационные расходы. В зависимости от конструктивного решения различают системыструктуртипа «Берлин», «Модуль», «Кисловодск», «ЦНИИПСК», «ЦНИИСК», МАРХИи множество других пространственных облегченных каркасов. Системы типа МАРХИ появились в нашей стране в 1969 году, созданные специалистами кафедры инженерных конструкций Московского архитектурного института. Был разработан способ строительства сборных сооружений практически любой формы, экономичных и эстетически привлекательных [1].

Павильон Триумф на территории выставочного комплекса "Росстройэкспо"на Фрунзенской набережной, г. Москва, 1985г. [2]. Общий размер павильона 113х33м (рис.1,а). В покрытии применены две полурамы размером 33х33м с контурным опиранием с переходом конструкции на вертикальную стену (система МАРХИ**)**. Расход стали 24,0кг/м^2.

Атриум делового центра. Расположен в Москве, в районе Сокол[2]. Конструкция вспарушенной формы, покрыта стеклом(рис.1,б). Размеры конструкции в плане - 14,5х14,5 м. Расход стали составил 21,6 кг/м^2.

Конструкция была собрана на земле, затем поднята на рабочую отметку башенным краном в стесненных условиях(рис.1,в).

Магазин «Мой»в г.Калугас размерами в плане 36х36м[2]. Здесь применены конструкции системы МАРХИ с диагональной структурой решетки. Расход стали 11,3кг/м^2(рис.1,в).

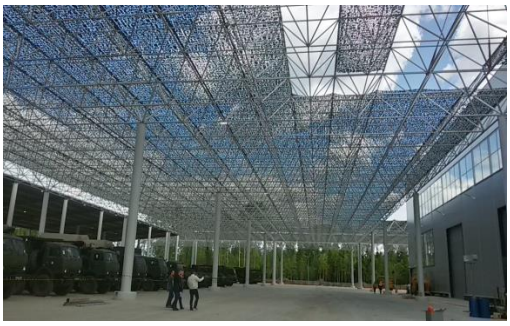
Выставочный павильон. Блок 1. Павильон Военно-Промышленного комплекса на территории парка «Патриот» [3]**,** расположен в г. Кубинка Московской области (рис.1,г).. Общая площадь павильона - более 5,1 тыс. м^2**.** Приведенная масса конструкции к площади покрытия - 22 кг/м^{2}Высота здания до оси нижнего пояса конструкции - 17,4 м.

Выставочный павильон. Блок 2. Блок 2 П-образной формы является пристройкой к Выставочному павильону Военно-Промышленного комплекса на территории парка "Патриот" (рис.1,е) [3]. Конструкция покрыта маскировочной сетью для создания тени над экспозицией. Размер конструкции в плане - 72х141 м. Общая площадь - более 8 600 м^2. Расход стали на покрытие составил 15,74 кг/м^2.

а - выставочный павильон «Триумф», г. Москва

б - деловой центр, г. Москва

в - магазин «Мой» г.Калуга



д - блок 1 е - блок 2

Выставочный павильон,г.Кубинка

Рис.1. Гражданские здания

Многоуровневый паркинг, выполненный сборно-разборном варианте в конструкциях системы МАРХИ (рис.2). Здесь применён модульный размер стержней равный 1,5 м[2]. Высота между поясами структурной плиты равна 1060 мм.Проект разработан к Зимней Олимпиаде в 2014г.

Рис. 2. Многоуровневый паркинг, г. Сочи

Саяно-Шушенская ГЭС. Восстановление разрушенных конструкций на Саяно-Шушенской ГЭС. В 2009г. в результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС были разрушены полностью перекрестно-стержневые пространственные конструкции системы МАРХИ шатра машинного зала[4]. Сильно пострадала вертикальная стена-стойка рамы, и получили различного рода повреждения отдельные стержни во всех остальных рамных секциях шатра.

Благодаря высокому профессионализму работников НПЦ «Виктория», в течение 10 дней с учетом имеющихся разрушений была разработана на стадии рабочего проекта КМД и передана на завод вся техническая документация по восстановлению разрушенных конструкций с необходимыми расчетами, учитывающими специфику состояния конструкций, обеспечивающими их эксплуатационную надежность (рис.3,а).

Вопросы, связанных с расчленением на части основных монтажных блоков каждой новой секции рамного шатра и их взаимные стыковки на рабочей отметке, а также сохранение шатра в зоне 1-го агрегата, потребовало выполнения большого объема вычислительных работ, обеспечивающих надежность рамной конструкции на всех этапах возведения пространственного сооружения.

Бурейская ГЭС. Машинный зал представляет собой рамную конструкцию системы МАРХИ размером в плане 150х28,5 м (рис.3, б) [5]. Конструкция собрана из стержней длиной 2,0 м. Ригель рамы двухярусный высотой сечения 2,82 м. Стойки рамы двухпоясные с размером сечения 1,0 м.Бурейская ГЭС является крупнейшей электростанцией на Дальнем Востоке России. Расход металла (включая стены) составил 42,55 кг/м^2.

а - восстановлениеконструкций на Саяно-Шушенской ГЭС

б - рамная конструкция системы МАРХИ на Бурейской ГЭС

в - Каркас склада, г.Пермь

Рис. 3. Промышленные здания

Каркас склада с применением покрытия системы МАРХИ[6]**.** Структурное покрытие 108,6 х 72,4 м, г. Пермь, 2012г. Подъём первого фрагмента структуры размерами 36х36м показан на рис.2. Монтаж велся автокраном ГП 300 тонн с вылетом стрелы 24 $м^3$ (рис.3,в).

2. Типы структурныхсистемы МАРХИ

Перекрестно-стержневые пространственные конструкции системы МАРХИ обладают большими формообразующими возможностями, позволяющими решать практически любые объемно-композиционные задачи, в которых пространственный каркас решает не только функционально-утилитарную задачу перекрытия пространства, но и является формообразующей композиции всего сооружения[1].

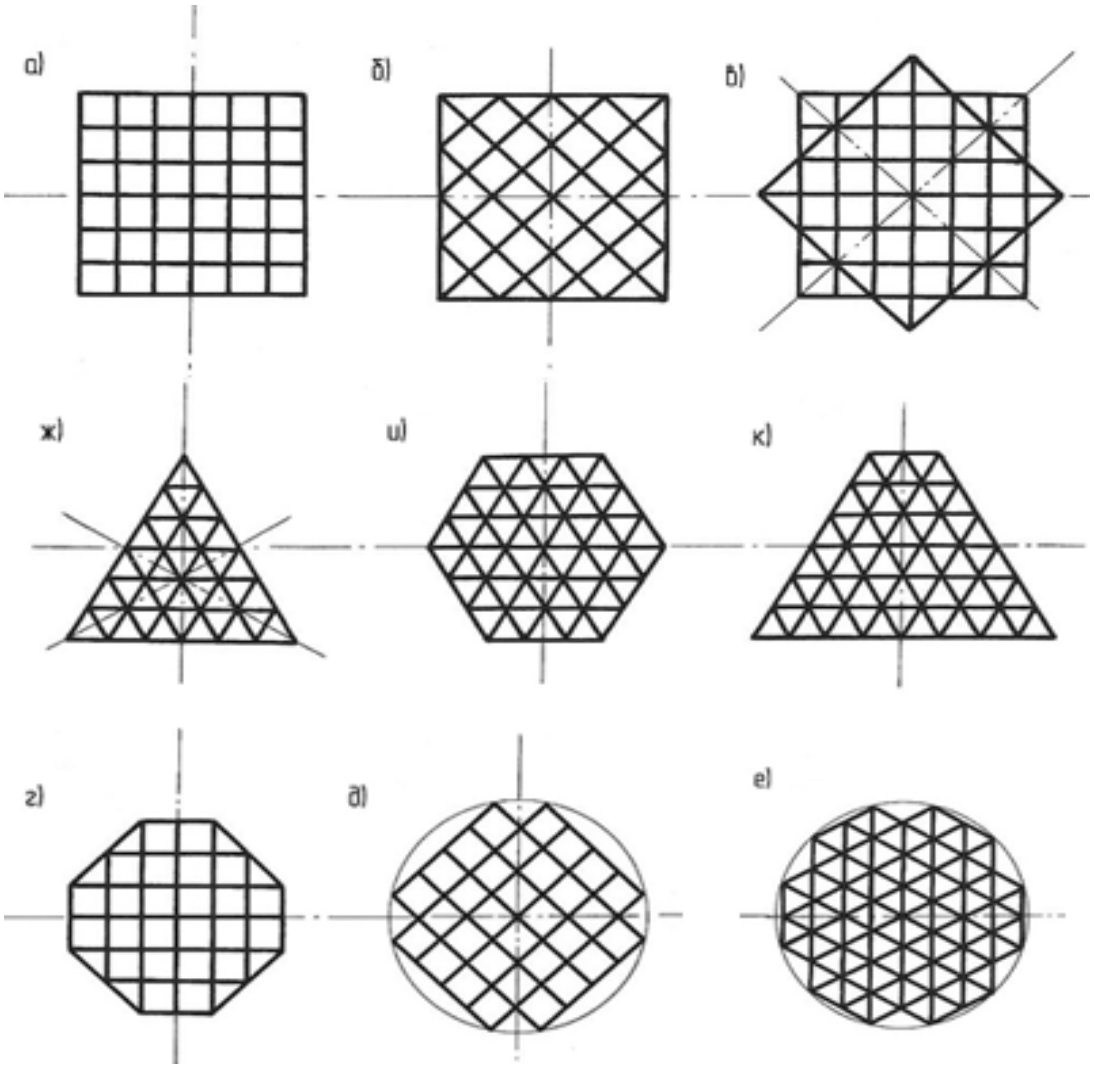


Рис.4. Конструктивные схемы пространственных каркасов типа МАРХИ: а-в– системы, образованные пирамидами на квадратном основании; ж-е– системы,образованные пирамидами на многоугольном основании

Собираемые из отдельных трубчатых стержней и многогранных узловых элементов при помощиболтового соединения,системы МАРХИ представляют собой регулярные структуры, в основе которых лежат правильные многогранники. Они обладают важнейшим свойством – плотным заполнениемпространства и единой длиной модульного стержня в пределах проектируемой конструкции.

Таблица 1

Технико-экономическое сравнение различных типов структур [7, 8]

Тип структурного покрытия	Расход стали, кг/м^2	Трудоемкость, чел.-ч/м^2
«Берлин»	20,54	1,56
«Кипсер»	30	2,8
«МАрхИ»	13,63	1,14
«Кисловодск»	18,75	1,42
«ЦНИИСК»	22,8	0,88

Конструктивные решения структурных плит отличаются большим многообразием, в мировой практике применения структур насчитываются около 130 различных систем, отличающихся, прежде всего конструкцией узла сопряжения стержней.

Анализ данных табл. 1 показал, что применение системы «МАрхИ»экономичнеепорасходусталиипообщейтрудоемкости, чем остальных систем соответственно.

3. Технико-экономическое обоснование применения многогранной плиты

На основе проведенного анализа существующих решений и уникальных особенностей пространственных металлических покрытий было решено применить круглую в планепространственную структурную плиту, подчеркивающую архитектурную выразительность здания (рис.5) [1]. Кроме того, необычная форма здания, сочетающаяся с пространственным покрытием, впечатляет красотой и оригинальностью.Здание диаметром 76 м перекрывают стержневой плитой из тетраэдров, плита опирается на железобетонные колонны, расположенные по периметру здания, передовая нагрузку от конструкции на них.

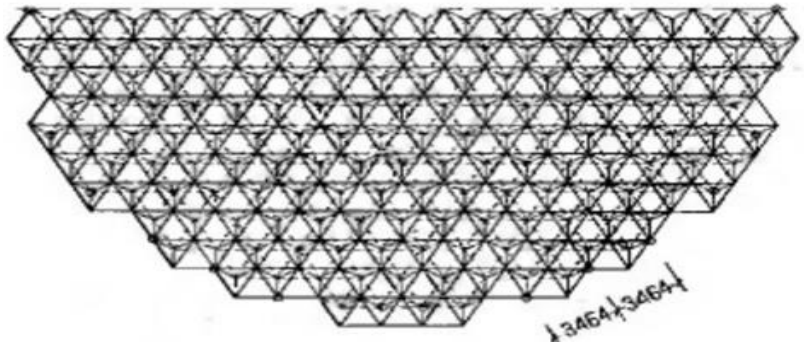


Рис. 5. Многогранное пространственное покрытие

Производился анализ разных профилей, на основе котороговыбиралось наиболее выгодное сечение по усилиям и соответственно расходу металла (табл. 2).

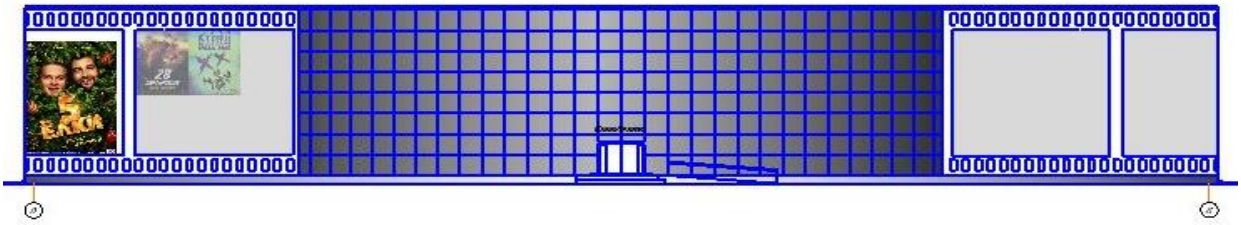
Таблица 2

Технико-экономическое сравнение разных типов сечений элементов [9, 10]

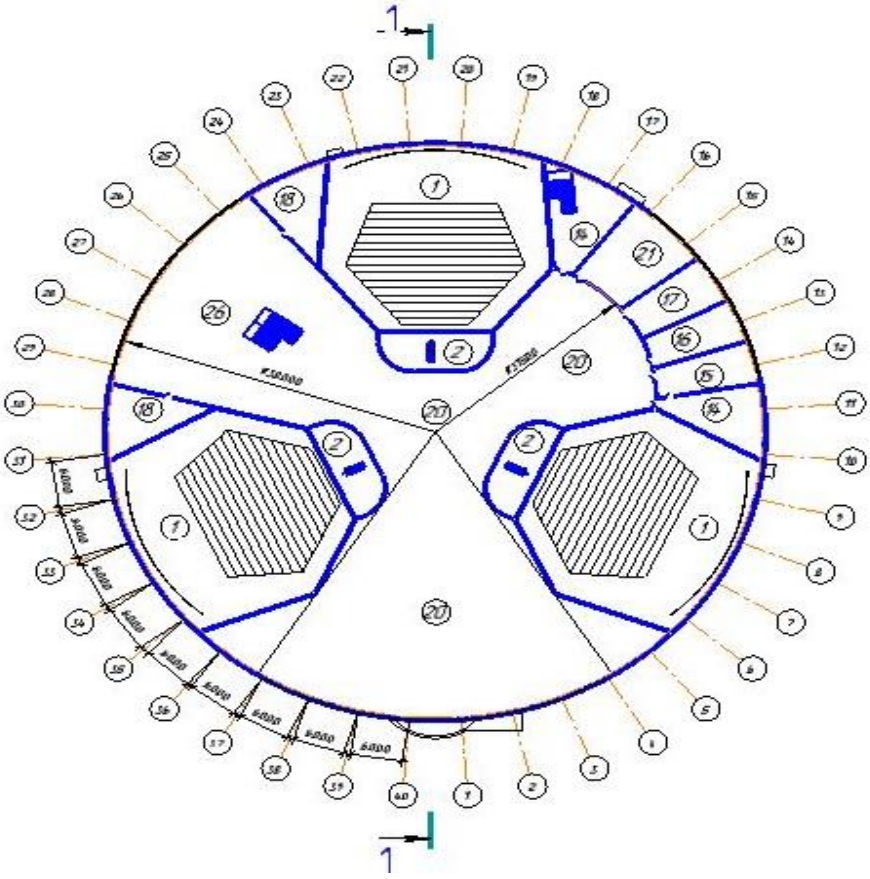
№	Наименование и профиль	Поперечное сечение	Материалоемкость, *т*	Цена за тонну, *тыс. руб.*	Общая цена, *тыс. руб.*
1	Двутавр №14 140х80		28,69	50,6	1451,714
2	Тавр составленный из двух уголков №7 70х6		23,06	43,6	1005,416
3	Двутавр из двух швеллеров 8У 80х40		25,44	41,3	1050,672
4	Профиль круглой трубы 102х5		21,58	55,2	1191,216
5	Профиль квадратной трубы 80х5		21,35	43,3	918,050

Развлекательный центр – это отдельно стоящее двухэтажное общественное здание, по внешнему виду напоминающим цилиндр, в основании которого – круг (рис.6).Здание является каркасным, по материалу несущих конструкций - каркас смешанный (пролетом 6м). Диаметр основной конструкции –структурной плиты – 78м. Для

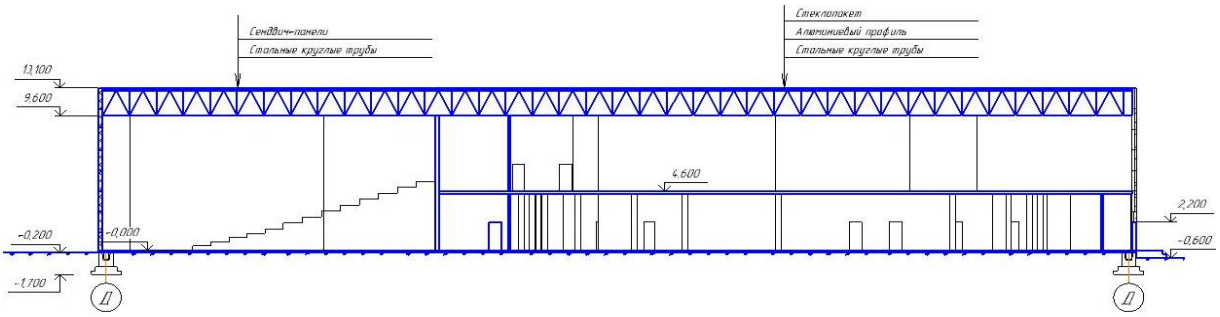
остекления конструкции используются стеклопакеты из каленого стекла, заполненные инертным газом – аргоном, для понижения теплопередачи и сохранения тепла в помещении в зимнее время.



Южный фасад



План на отм. 4.600



Разрез 1-1

Рис.6. Развлекательный центр

Выводы. На основе краткого обзора и анализа различных конструктивных решений было принято оптимальное решение – пространственное структурное покрытие из тетраэдров. Были выявлены новые возможности и уникальные особенности структурных покрытий.

Выбор данной стержневой металлической плиты обусловлен тем что, данная конструкция имеет особую необычную форму, тем самым привлекая взгляды людей, оставаясь у них в памяти, и служит рекламой для здания развлекательного центра.

Литература

1.Трущев А.Г.Пространственныеметаллическиеконструкции– М.:Стройиздат, 1983. – 215с.

2.Информационный портал: http://www.sistems-marhi.ru/works/exhibition_centers.php?ELEMENT_ID=380(Дата обращения: 17.12.17).

3. Информационный портал: https://www.aviapanorama.ru/2015/07/mezhdunarodnyj-voenno-texnicheskij-forum-armiya-2015-2/ (Дата обращения: 20.12.17).

4. Информационный портал:https://www.chel.kp.ru/daily/26306/3184540/ (Дата обращения: 20.12.17).

5. Информационный портал:https://engineering-ru.livejournal.com /299494.html (Дата обращения: 20.12.17).

6. Информационный портал: http://www.doski.ru/metallokonstruktsii-sistemy-marhi-msg1070846.htm (Дата обращения: 22.12.17).

7. Рекомендациипопроектированиюструктурныхконструкций. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М.:Стройиздат, 1984. – 298 с.

8. Проектированиеметаллическихконструкций/В.В.Биркелев [идр].– Л.:Стройиздат,1990.–432с.

9. Городецкий А. Примеры расчета и проектирования / А.С. Городецкий. – Киев: Факт, 2002. – 99с.

10. ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. М.: изд-во ЗАО "ЦНИИПСК им. Мельникова". – 2003.

© Захаренко А.А., Ращепкина С.А., 2017.

УДК 691.328.006

Землянский А.А.
доктор технических наук, профессор,
БИТИ филиал НИЯУ «МИФИ», Россия
Попова Ю.А., Дубнов С.А., Глухов А.Е.
студенты СЗС-31

ОПЫТ НАТУРНОГО ИСПЫТАНИЯЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫМАРКИ2ПГ12-3АIIIв

FIELD TESTING EXPERIENCE FOR CONCRETE PLATE BRAND 2ПГ12-3АIIIВ

Аннотация. В работе представлены обширные результатыполевого обследования и испытания железобетонной, ребристой,преднапряженнной плиты с использованием приборов неразрушающей дефектоскопии и

магнитометрических методов определения фактического уровня напряженного состоянияработочей арматуры.

Ключевые слова:Обследование, испытание, приборы неразрушающего контроля, магнитометрическая система мониторинга напряжения варматуре.

Abstract. The paper presents extensive results of field inspection and testing of reinforced concrete, ribbed, pre-stressed plate with the use of devices of nondestructive flaw detection and magnetic methods of determining the actual level of the stress state of the working reinforcement.

Key words: Examination, testing, non-destructive testing devices, magnetic monitoring system voltage in the armature.

В 90-х годах прошлого столетия в капитальном строительстве России имело место достаточно частое использование старых плит покрытия и перекрытия длянового строительства, что требует на практике обязательного тщательного обследования и предварительного испытания указанных плит в полевых условиях. Современные методы обследования и испытания несущих строительных конструкций, бывшихв эксплуатации и предназначенных для повторного использования при строительстве других ответственных строительных объектов, имеют очень много особенностей, которые, по нашему мнению, следуетв обязательномпорядке учитывать при разработке детальной программы обследования ииспытания указанных конструкций на практике в полевых условиях. Именно этому, достаточно сложному и непростому вопросу, посвящена рассматриваемая работа.

В нашем случае, по результатам архивных данных установлено, что партия железобетонных ребристых плит размером 3х12 для покрытия одноэтажных производственных зданий серии 1.465.1-15 [5]имарки – 2ПГ12-3IIIв была использована в 1991-1993 годах при строительстве крупного завода по переработке кожаных изделий на территории Химзавода г. Балаково. Однако, после 1993 года, данное строительство было приостановлено и возведенные корпуса стали разбираться, а несущие железобетонные колонны, фермы и плиты покрытия повторноиспользоваться при строительстве различных объектов в г. Балаково. Именно поэтому, авторам данной работы поступило официальное задание в 2016 г. выполнить комплексное обследование и испытание, в частности, большеразмерных плит покрытия на предмет дальнейшего безаварийного использования при строительстве других промышленных объектов в г. Балаково.

Одновременно авторами были установлены фактические условия хранения изделий стройиндустрии до их обследования и испытания. При этом, выявлено, что, после разбора недостроенных корпусов, плиты покрытия складировались на открытой площадке без использования дополнительных средств защиты от атмосферных осадков и сезонного перепада температуры, а часть плит при хранении имела непроектное опирание. В результате у многих плит в середине рабочего ребра жесткости имеются трещины, раскрытие которых несколько увеличивается в акватории сжатой зоны плиты. В целом, указанные плиты хранились на открытой площадке и не использовались по назначению более 22 лет.

Для оценки уровня остаточного ресурса рассматриваемых плит, на первом этапе данной работы авторами была разработана детальная программа обследования и испытания указанных плит, в которой был отражен: объем и состав визуального обследования плит; состави объем инструментального обследования плит; методика и последовательность испытанияплит;перечень применяемого оборудования и приборов неразрушающего контроля качества, используемого материала в обследуемых плитах;методика обработки полученных результатов, а также методика оценки годности плит для дальнейшего использования в новом строительстве.

На втором этапе была изучена вся проектная и априорная документация, имеющаяся на обследуемые плиты. В результате установлено, что дата изготовленияплити номер партии – неизвестны. На плитах отсутствует какая-либо маркировка, что свидетельствует о некондиционности рассматриваемых плит. Более детальное изучение конструкции плит позволило установить, что данная партия плит относиться к Серии 1.465.1-15 [5], а конструктивные особенности обследуемых плит относятся к марке – 2ПГ12-3IIIв.

На третьем этапе были установлены условия хранения плит до испытания. При этом выявлено, что плиты складировались на открытой площадке без использования дополнительных средств защиты от атмосферных осадок и сезонного перепада окружающей температуры.Часть плит прихранении имела непроектноеопирание, в результате в обследуемой и испытываемой плите в середине рабочего ребра жесткости имеется трещина, раскрытие которой увеличивается в

акватории сжатой зоныплиты.В целом указанные плиты хранились на открытой площадке в указанном виде более 22 лет.

На четвертом этапе в ходе визуального освидетельствования плит выявлено, что по геометрическим размерам, качеству бетонной поверхности и внешнему виду все плиты соответствуют требованиям ГОСТ 28042-2013. При этом отклонения по длине плиты не превышают ±10 мм, по высоте ±5 мм, по толщине полки ±3 мм, по ширине плиты ±6 мм. Имеются усадочные трещины, ширина раскрытия которых не превышают 0,1 мм. В отобранной для испытания плите имеется трещина, раскрывающаяся в сжатой зоне до 0,2 мм, но при испытании плиты в проектном положении последняя – закрылась. Одновременно в ходе визуального обследования плит установлено, что все выявленные дефекты: незначительные трещины, небольшие изъяны поверхности (сколы, раковины, каверныинезначительноерасслоение бетона в сжатой зоне) полностью соответствуют ограничительным требованиям ГОСТ 28042-2013.Одновременно при визуальном обследовании плит выявлено, что на бетоне отсутствуют пятна ржавчины, зоны выщелачивания, сульфатации и карбонизации бетона, какие-либо отклонения и отличия диаметров и шага продольной и поперечной арматуры от требований проектной документации, и в частности серии 1.465.1-15 [5]. Концы преднапряженной арматуры выходят за пределы торцевой части плит не более 10 мм с покрытием битумной мастикой для защиты от коррозии.

На пятом этапе было выполнено инструментальное обследование плит, при котором были использованы цифровые, поверенныеэ лектронные приборы неразрушающей дефектоскопиии ряд механических методов неразрушающего контроля. В частности, для

ультразвукового определения прочности бетона плиты использовался прибор марки «Пульсар 1.0», для склерометрического определения прочности бетона применялся прибор марки «Оникс 2.5», для определения толщины защитного слоя, диаметра и шага рабочей и конструктивной арматурыплитыи спользовался прибор марки ИПА МГ-4 и «Поиск 2.3», для определения влажности бетона использовался влагомер маркиМГ-4. В ходе неразрушающего контроля состояния плиты и оценки прочности бетона, толщины защитного слоя, влажности бетона, диаметра и шага рабочейиконструктивной арматуры было выявлено, что все указанные параметры полностью соответствуют требованиям проектной документации на плиты и требованиям серии1.465.1-15 [5]. При этом класс бетона по прочности на сжатие обследованных плит соответствует В30. Фактические прочностные характеристики бетона на день проведения испытания плиты равны($R_{сж}$ =35-40 МПа.) Вид армирования икласс арматурной стали для рабочей арматуры принят – арматуройвколичестве 4-х стержней(по 2 стержня в ребре) диаметром 25 мм класса АIIIв. Фактические прочностные характеристики арматуры определены косвенно по твердости стали и соответствуют классу АIIIв. По априорной информации выявлено, что по категории трещиностойкости,обследуемые плиты относится ко 2-й категории.

На шестом этапе были выполнены все подготовительные мероприятияи проведено само испытание одной из отбракованных плит в полном соответствии с требованиями ГОСТ 8829-94 [4].При этом принятая схема испытания полностью соответствовала требованиям нормативной документации. Масса плиты равна 7300 кг.На плите

имелся слой утеплителя в виде керамзита толщиной 10-12 см (1500 кг) и слой цементно-песчаной стяжки толщиной 2-2.5 см. (1500 кг).Масса загрузочных элементов состояла из типовых бетонных фундаментных блоков марки ФБС 24-3-6m массой 970 кг.

Контрольные значения нагрузок, указанных в проектной документации были приняты следующими:

- по прочности$P_{\text{контр}}$= 6,70 КПа, при с = 1,2;

$P_{\text{контр}}$= 7,70 КПа , при с = 1,4;

$P_{\text{контр}}$ = 9,20 КПа, при с = 1,6;

- по жесткости$P_{ж}$= 2,60 КПа;

- по образованию трещин$P_{1\ тр}$ = 2,30 КПа;

- по ширинераскрытия трещин$P_{2\ тр}$ = 3,70 КПа.

Контрольные значения прогибов и ширины раскрытия трещин, полученные при испытании плиты, не должны были превышать:$f_{\text{контр}}$=20 мм,$a_{\text{контр}}$= 0,25 мм.

Испытание плиты выполнялась за счет статического загружения плиты бетонными фундаментными блоками. При этом загружение осуществлялось по ступеням, величина которых составляла 1/10 от базовогозначения максимальной нагрузки. Измерение прогибов в середине плиты выполнялась с помощью двух прогибомеров Максимова,установленных в середине плиты, строго по рабочим сторонам (с точностью 0,1 мм.). Расчетная схема загружения плиты фундаментными блоками в ходе испытанияпредставлены на рис. 1

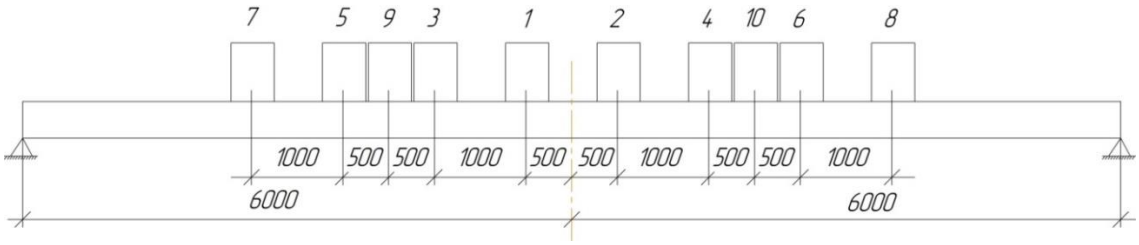


Рис. 1.Расчетная схема испытания плиты марки 2ПГ12-3IIIв

Процедура испытания плиты и определения прогибов плиты с оценкой ширины раскрытия трещин и деформации преднапряженной рабочей арматуры в зоне анкеровки представлены на рис. 2 и рис.3 и систематизированы по всем ступеням загрузки плиты, в таблице 1.

Рис. 2. Последовательность загрузки плиты

Рис. 3. Схема измерения прогибов плиты в ходе испытания

Таблица 1

Количество блоков нагрузки	В пересчете на экв.нагрузку, кг/кв.м	Показание прогибо-мера №1	Прогиб по ребру №1, мм	Показание прогибомера №2	Прогиб по ребру №2, мм	Средний прогиб, мм
0		0,053	0	0,092	0	0
1	110.2	0,198	1,45	0,347	2,55	1,35
2	137.2	0,497	4,44	0,621	5,29	4,87
3	164.2	0,838	7,85	0,924	8,32	8,09
4	191.2	1,179	11,26	1,226	11,34	11,30
5	218.2	1,454	14,01	1,453	13,61	13,81
6	242,2	1,725	16,72	1,700	16,08	16,40
7	272.2	1,930	18,77	1,878	17,86	18,32

8	299.2	2,149	20,96	2,085	19,90	20,43
9	326.2	2,525	24,72	2,402	23,10	23,91
10	353.2	2,870	28,17	2,725	26,33	27,25
10, после 30 мин. выдержки	353.2	3,057	30,04	2,885	27,93	28,99

Детальный анализ результатов полученных в ходе испытания плиты позволил установить, что нагрузка, соответствующая началу образования первой волосяной трещины в нижней растянутой части середины ребра жесткость плиты равна 3.26 КПа, что значительно больше, чем регламентировано требованиями серии 1.465.1-15 [5], в частности по проектной документации, первая волосяная трещина должна была появиться при нагрузке $P_{1\,тр}$= 2,30 КПа. При этом, при нагружении плиты до $P_{2\,тр}$= 3,70 КПа, указанная трещина не достигла предельной ширины, равной $a_{контр}$=0,25 мм, а составила всего 0.20 мм. Прогиб при соответствующей контрольной нагрузке по жесткости $P_{ж}$= 2,60 КПа, составил всего 18.32 мм, что также значительно ниже, чем допускаемый прогиб, равный в рассматриваемом случае $f_{контр}$=20 мм. Наконец, смещение концов рабочей арматуры в торцеплиты составило 0.01 мм, что ниже предельно допускаемого значения равного 0,10 мм. Измерение указанного параметра осуществлялось с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0.001 мм.

Кроме отмеченного, при испытании плиты авторами был использован магнитометрический метод определения напряженно-деформированного состояния рабочей арматуры плиты (разработанной

А.А.Землянским), который позволил в первом приближении установить уровень напряжения в рабочей арматуре, который составил в рассматриваемом случае не более 400 МПа при нагрузки $P_{2\,тр}$= 3,53 КПа, что полностью подтверждает высокий уровень эксплуатационной надежности испытываемой плиты.

Полный анализ результатов полученных в ходе детального освидетельствования иполевого испытания плиты позволил установить, что испытанная плита проходит как по первому, так и по второму предельному состоянию и даже имеет некоторый запас прочности несмотря на то, что рассматриваемые плиты хранились под открытым небом в течение 22 лет. При этом прочность бетона не снизилась, а наоборот несколько увеличилась. Характеристики арматуры, включая элемент совместной работы арматуры и бетона также не претерпели каких-либо ощутимых негативных изменений, что объясняется, вероятно, только тем, что плиты хранились не в агрессивной среде, а в благоприятных для бетона условиях. Учитывая все отмеченное,в рассматриваемом случае, можно признать, что техническое состояние плит является абсолютно – **работоспособным**, согласно требованиям ГОСТ 8829-94 [4] и ГОСТ 31937-2011 [2], а также РД ЭО 0462-03 [3], кроме того, полученные положительные результаты испытания можно распространить на все плиты рассматриваемой партии.

Литература

1. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.ГосстройРоссии. Москва 2011.

2. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва Стандартинфор. 2014

3. РД ЭО 0462-03 Методика по обоснованию срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций. Москва. ОАО «Концерн Росэнергоатом» 2015.

4. ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением, правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Москва. Изд. МНТКС 1994.

5. Серия 1.465.1-15 Плиты железобетонные ребристые размером 3х12 для покрытия одноэтажных промышленных предприятий. Москва. Госстрой СССР. 1990

6. ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности бетона. Москва ГосстройСССР.1988.

7. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочностимеханическими методами неразрушающего контроля. Москва. Госстрой СССР. 1988

8. ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения армату-ры. Москва. Госстрой России 1993.

9. Землянский А.А. Патент № 2295118 С1Магнитоупругий датчик. Москва. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2007.

© Землянский А.А., Попова Ю.А.,
Дубнов С.А., Глухов А.Е., 2017

УДК 624.07

Зиннуров Т.А.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Шаймухаметов Л.Р.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Гиздатуллин А.Р.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Куклин А.Н.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬТИПОВЫХ БЕТОННЫХ БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРОЙ

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF TYPE CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH FIBERGLASS AND STEEL

Аннотация. В работе представлены результаты испытания бетонных балок, изготовленные в соответствии с типовой серией 1.038.1-1, которые армированы стеклопластиковой и стальной арматурой. По результатам испытаний установлены параметры прочности, деформативности балок и характер их разрушения. Даны рекомендации по увеличению прочности и деформативности балок со стеклопластиковой арматурой.

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, испытания балок, типовая балка, ширина раскрытия трещин, прогиб балки.

Abstract. The paper presents the results of testing concrete beams, manufactured in accordance with the standard series 1.038.1-1, which are reinforced with fiberglass and steel reinforcement. Parameters of strength, deformation of beams, and the nature of their destruction areestablishedon the

test results. Recommendations are given to increase the strength and deformation of beams with fiberglass reinforcement.

Keywords: fiberglass reinforcement, beam testing, typical construction, crack opening width, deflection of beam.

В современном строительстве всё чаще применяется композитная арматура, причиной этому служит снижение закупочных цен и коррозионная стойкость материала арматуры [1]. Особенно остро вопрос ценовой политики складывается при производстве типовых конструктивных элементов, поэтому для конкуренции на рынке железобетонных изделий производители предлагают бетонные изделия с полимеркомпозитной арматурой. Сравнительная оценка прочности, жесткости и трещиностойкости бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитной и стальной арматурой на основе испытаний, продемонстрирует возможность эффективной замены стальной арматуры на полимеркомпозитную.

В испытаниях участвовали две партии балок по три образца, одна партия балок армирована традиционной стальной арматурой тип БЖ - 1, в другой стальная арматура заменена на стеклопластиковуюарматуру тип БК - 1. Балки со стальной арматурой А500с изготовлены в соответствии с типовой серией 1.038.1-1 выпуск 1 [1], балки со стеклопластиковой арматурой изготовлены по аналогии с сохранением геометрии, диаметра и количества стержней. Испытания проводились в соответствие с ГОСТ 8829-94[3]. Образцы балок имеют сечение 250х220 мм, длину образцов 2980 мм,класс бетона по испытаниям кубиков В27.5, а повреждения и дефекты, влияющие на прочность конструкций, не выявлены.

Расчетной схема испытания стандартная с двумя точками приложения нагрузки (Рис. 1). Принятая схема чистого изгиба применяется в лабораторных условиях для информативности полученных результатов и получения максимальных усилий в растянутой зоне изгибаемых элементов в соответствии с [3].

Программа испытания включала в себя две схемы нагружения. В первой схеме нагрузка прикладывалась до предельной разрушающей нагрузки величиной 9500кгс [2] с перманентным контролем деформаций. В случае если при испытании не была достигнуто первое предельное состояние, с образца снималась нагрузка. Вторая схема предполагала доведение образцов до разрушения.

Для проверки жесткости балок контрольная ширина раскрытия трещины a_{cp} в соответствии с серией 1.038.1-1 [2] принята равной 0.25 мм.Максимально допустимый прогиб [f] для перемычек в соответствии с СП 20.13330.2011 [4] принят равнымL/150=18.5 мм.

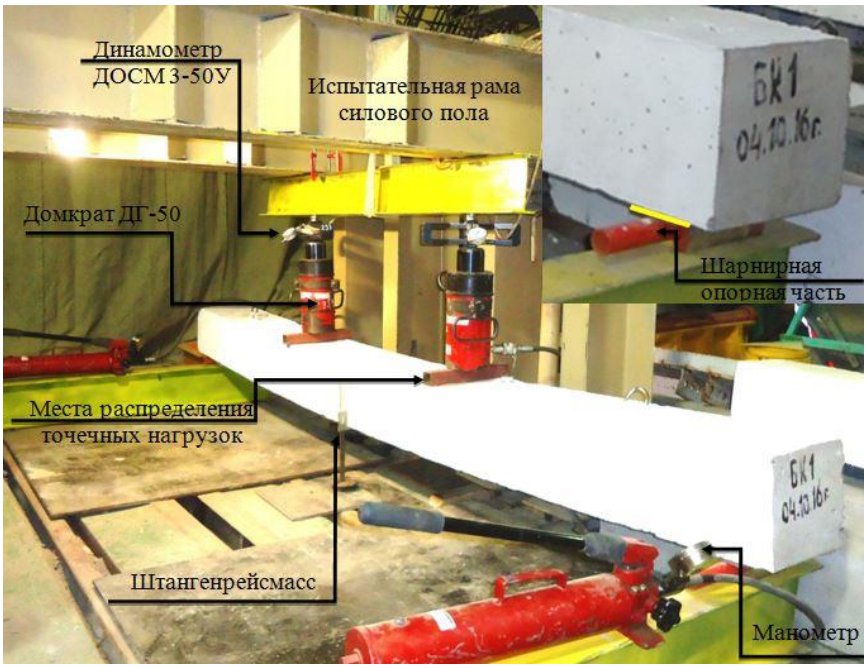


Рис. 1. Схема и оборудование испытаний балок

Испытания балок армированных стеклопластиковой арматурой показали следующие результаты. Момент трещинообразования с максимальной шириной раскрытиятрещин 0.025мм составил 4.54кН*м, что соответствует нагрузке 1000тс.Изгибающий момент, соответствующий предельно допустимому прогибу [*f*] составил 18.18 кН*м,контрольная величина раскрытия трещин a_{cp}достигается при изгибающем моменте 22.726кН*м. Нагрузка 10070 кгс привела к разрушению сжатого слоя бетона, мгновенному срезу арматуры в верхнем сжатом слое бетона и последующему разрушению по наклонному сечению с отслоением защитного слоя бетона от растянутых стержней приопорного участка балки.

Характер деформаций балок типа БК-1 при испытаниях показывает линейную зависимость прогибовот нагрузки, появление трещин в зоне чистого изгиба происходит при нагрузке 1000 − 2000 кгс, с увеличением нагрузки трещины возникают в опорных зонах. Более подробная зависимость напряженно-деформированного состояния трех образцов балок БК-1 продемонстрирована на рисунке 2.

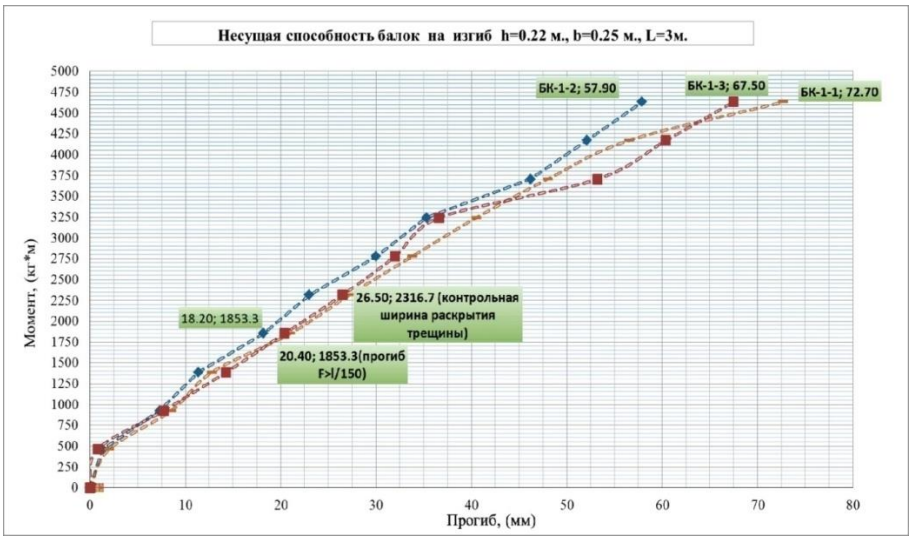


Рис. 2. График зависимости "Изгибающий момент − Прогиб" для балок, армированных стеклопластиковой арматурой

Испытания балок армированных стальной арматурой показали следующие результаты. Момент трещинообразования составил 13.638 кН* м, что соответствует нагрузке 3000 кгс при ширине раскрытия до 0.04 мм. Изгибающий момент в размере 49.991 кН*м соответствует предельно допустимому прогибу [*f*], а изгибающий момент в размере 59.085кН*м, соответствует контрольному значению раскрытия трещин a_{cp}.Разрушениеобразцов происходит в сжатом слое бетона в середине пролета с резким увеличением ширины раскрытия трещины до 1.4 мм в растянутой зоне при нагрузке 13000кгс.

Зависимость прогибовот нагрузкидля балок типа БЖ -1 линейна, с образованием зон текучести на этапе разрушения. Появление трещин в зоне чистого изгиба происходит при нагрузке 3000 − 5000 кгс, с увеличением нагрузки трещины возникают в опорных зонах. График зависимости "Изгибающий момент −Прогиб" для трех образцов продемонстрирован на рисунке 3.

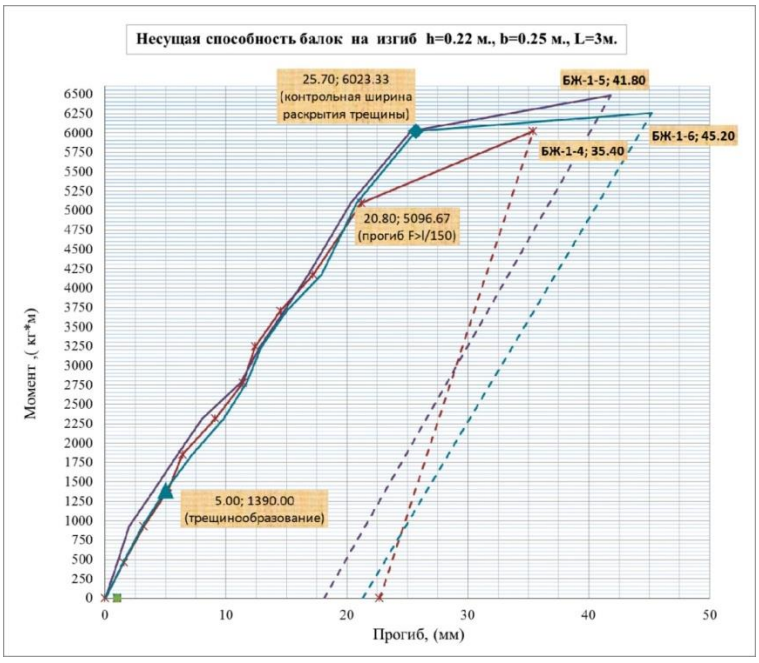


Рис. 3. График зависимости "Изгибающий момент − Прогиб" для балок, армированных стальной арматурой

Сравнительная оценка прочности и жесткости балок приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение показателей, полученных при испытании балок

Показатели оценки	Балки БЖ-1	Балки БК-1	Отношение $\frac{F_{БЖ-1}}{F_{БК-1}}$ *
Изгибающий момент трещинообразования, кН*м	13.638	4.54	3.00
Изгибающий момент при достижении предельно допустимого прогиба [*f*], кН*м	49.991	18.18	2.75
Изгибающий момент при достижении предельно допустимой ширины раскрытия трещин a_{cp},кН*м	59.085	22.726	2.60
Изгибающий момент при разрушении, кН*м	60.184	45.45	1.32
Предельная нагрузка, кгс	13000	10070	1.29
Максимальный прогиб при нагрузке 5000 кгс, мм	19	66	0.28 (3.47)
Максимальный прогиб при разрушении, мм	35	66	0.53 (1.89)

*величина показателя таблицы 1, в скобках обратная величина

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Балки, армированные стальной арматурой, удовлетворяютпредъявляемым требованиям по прочности и трещиностойкости в соответствии с серией 1.038.1-1 [1]. Балки, армированные стеклопластиковой арматурой, не удовлетворяют требованиям жесткости и трещиностойкости, в то время как прочность балок обеспечена.

2. Показатели жесткости (момент трещинообразования,

изгибающий момент при достижении предельно допустимого прогиба, изгибающий момент при достижении предельно допустимой ширины раскрытия трещин) для балок со стальной арматурой А500с как минимум в 2.6 раза выше, чем у балок со стеклопластиковой арматурой.

3. Характер разрушения балок, армированных стеклопластиковой арматурой и стальной арматурой различен. У балок типа БК-1 выражена явная динамика развития наклонных трещин из-за повышенной деформативности и существенно больших прогибов. Разрушение происходит в результате одновременного среза бетона и арматуры в сжатой зоне с мгновенным разрушением конструкции. В то время как у балок со стальной арматурой разрушение происходило из-за скалывания сжатого слоя бетона в середине пролета.

4. Выпуск серийных изделий из бетона, армированного стеклопластиковой арматурой не допускается, так как деформации элементов превосходят допустимые пределы. Для повышения жесткости таких балок возможны следующие варианты:

- увеличение процента армирования за счет введения дополнительного количества армирующих элементов, что также повысит сцепление поверхности стеклопластиковой арматуры с бетоном [5];

- применение арматуры с повышенным модулем упругости на основе углеродных, или комбинированных волокон;

- предварительное натяжение арматурных стержней механическим способом, до достижения выгиба балок в плоскости действующего момента [6].

Литература

1. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Сафиюлина Л.Г., Петропавловских О.К., Яковлев Д.Г. Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/11TVN415.

2. Типовой серией 1.038.1-1. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Выпуск 1. Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий. Рабочие чертежи.

3. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

4. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 / Утвержден Приказом Минрегиона России от 27 декабря 2010 г. №787. – М.: ОАО ЦПП, 2011. – 96 с.

5. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н., Пискунов А.А. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // Известия КГАСУ. 2013. №1 (23). С. 211-213.

6. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Яруллин Р.Р., Умаров Б.Ш., Вольтер А.Р. Метод изготовления предварительно напряженных конструкций с композитным армированием и композитным фибробетоном // Транспортные сооружения, Том 4, №2 (2017) https://t-s.today/PDF/05TS217.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05TS217.

© Зиннуров Т.А., Шаймухаметов Л.Р.,Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. 2017

УДК 69.04+69.07

Иноземцев В.К.
доктор технических наук, профессор,
Государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина
г. Саратов, Россия
Редков В.И.
кандидат технических наук, доцент,
Государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина,
г. Саратов, Россия
Беспечная Н.А.
магистрант
Государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина,
г. Саратов, Россия

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ИУСТОЙЧИВОСТЬКОМБИНИРОВАННОЙБОЛЬШЕПРОЛЕТНОЙ СИСТЕМЫ

STRESS-STRAIN STATE AND STABILITY OF A COMBINED LARGE-SPAN SYSTEM

Аннотация. Приводятся результаты численного расчета напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости плоской и пространственной комбинированной системы большепролетного покрытия, состоящей из горизонтальной балки жесткости,пилонов и системы канатов.Получены формы потери устойчивости пилонови балки жесткости, соответствующие минимальным значениям критических усилий.

Ключевые слова: пилон, балка жесткости,комбинированная система, компьютерная модель, критическое усилие,устойчивость.

Abstract. The results of numerical calculation of stress-strain state and stability of planar and three-dimensional combined system of long-span coverings, consisting of horizontal cross braces, pylons and a system of ropes.

The resulting buckling of the piers and girders of rigidity, corresponding to the minimum critical effort.

Keywords: pylon, beam stiffness, a hybrid system computer model, the critical stress, stability.

Современные висячие конструкции применяются в вантовых мостах, канатных дорогах, подвесных конструкциях длятрубопроводов. Вантовые мосты все большее распространениеприобретают, начиная с середины XX века.В последние 20-30 лет во всем мире построено большое количество вантовых мостов пролетами 500-1000 м. В 2012 г. в России построены вантовые мосты в г. Владивосток через бухту Золотой Рог с основным пролетом 737 м [4](рис.1)ичерез пролив Босфор Восточный до острова Русскийс основнымпролетом 1104 м[5] (рис. 2).

Рис. 1 [4]

Рис. 2 [5]

Пространственные вантовые системы используются также в покрытиях большепролетных общественных зданий и производственных сооружений без кранового оборудования.Как отмечается в [3],«по технологическим соображениям на производствах, размещающихся в большепролетных зданиях, нередко требуется устройство подвесного транспорта – таковы самолетостроительные заводы, ангары, цеха,

предназначенные для выпуска крупногабаритной продукции, склады».Этим требованиям отвечают комбинированные висячие системы повышенной жесткости [3], состоящие из системы вант, передающих усилия на пилоны и балкижесткости,работающей на изгиб под действием местных нагрузок.

К особенностям конструктивного решения зданий и сооружений рассматриваемого типа относится проблема устойчивости не только самого пилона, но и балки жесткости. Так, для «внешне» безраспорных конструкций покрытия, характерна передача «распора» непосредственно на балку жесткости, что заставляет проектировщика решать вопрос об ее устойчивости.В случае, если пилон и балка жесткости имеют жесткий узел сопряжения, возникает задача устойчивости совместной комбинированной системы.

Рассмотрим плоскую комбинированную системув виде пилона и балки жесткости (рис. 3) со следующими параметрами: балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой 50 кН/м, поперечное сечение балки из 2-х двутавров №100Ш3, пилон высотой 20 м из 2-х двутавров №35К1, шесть канатов одинарной свивки типа ТК (Е= $1.67*10^8$кН/м^2.

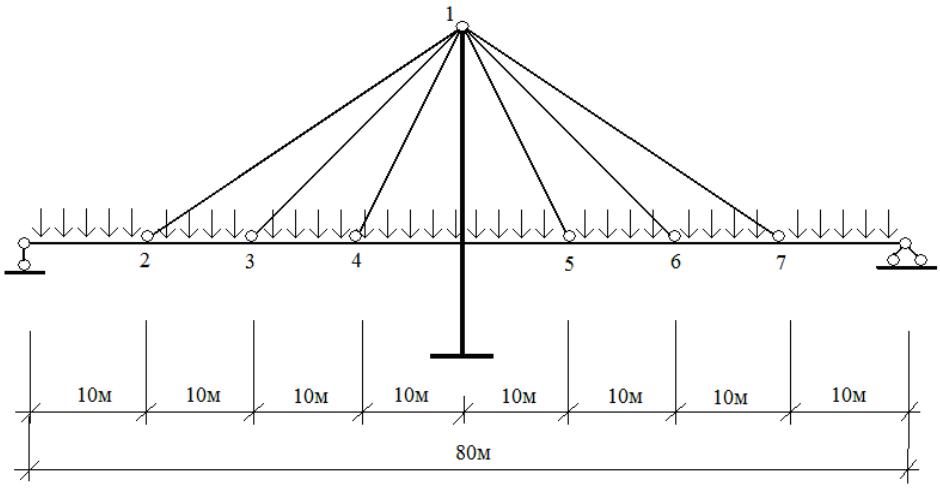


Рис. 3. Расчетная схема комбинированной системы

Результаты расчета компьютерной модели в виде деформированной схемы и эпюрs расчетных продольных усилий в элементах комбинированной системы представлены на рис. 4-5.

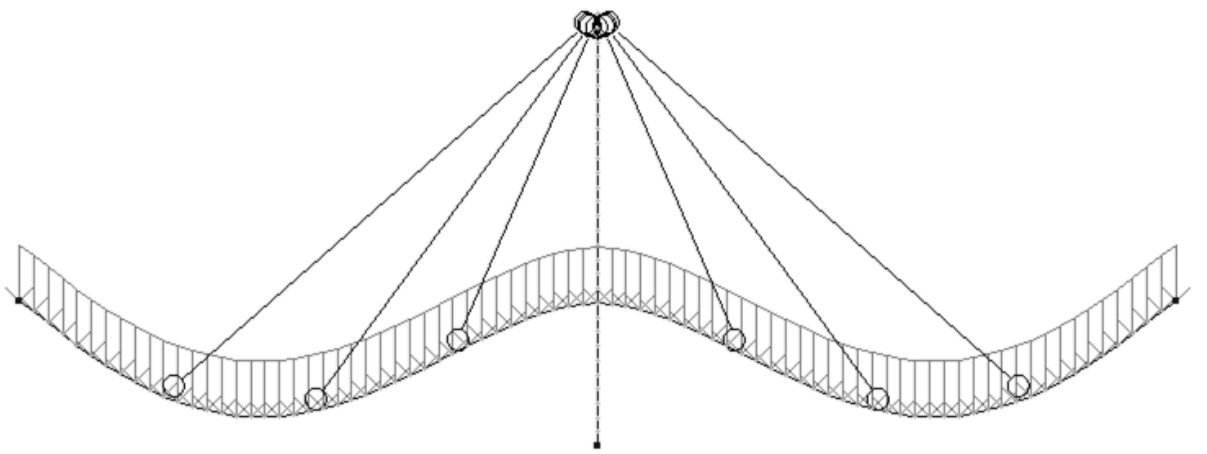


Рис. 4

Расчет устойчивости в программном комплексе ЛИРА плоской комбинированной системы позволяет получитьформу потери устойчивости пилона, соответствующую минимальному критическому усилию в пилоне (рис. 6).

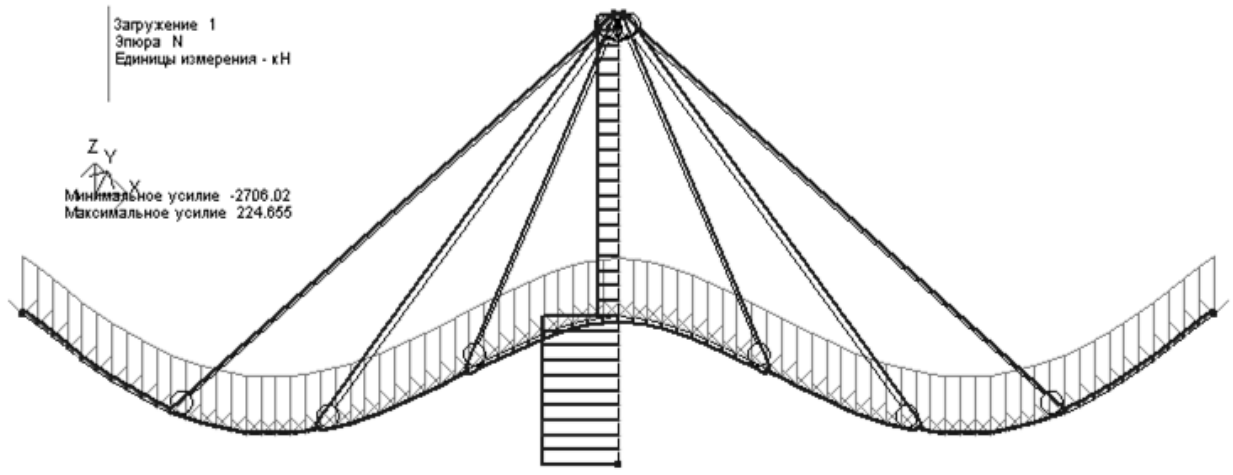


Рис. 5

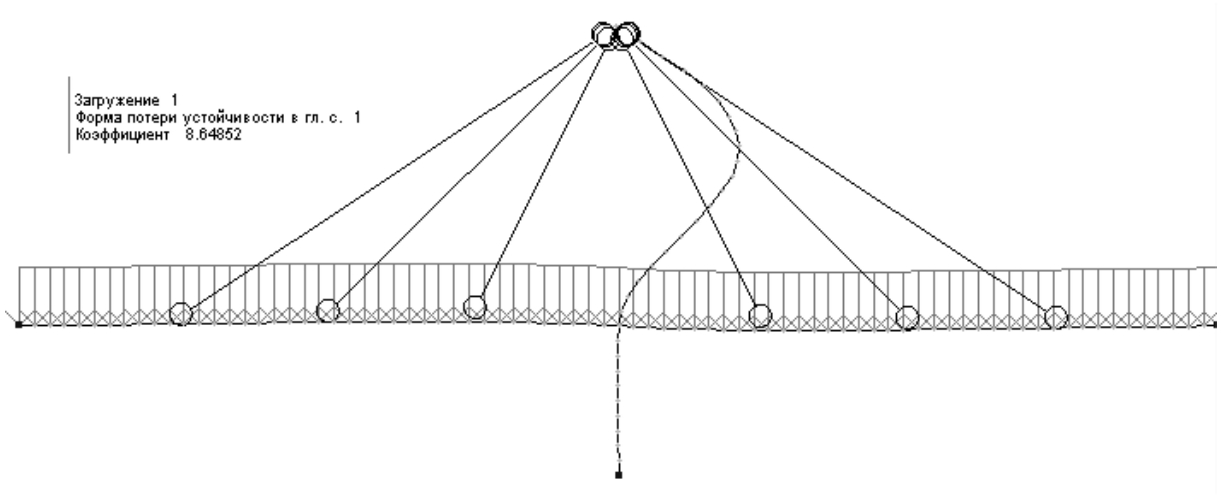


Рис. 6

По данным расчета минимальное сжимающее усилие в пилоне составляет N=-741,8 kH, максимальное сжимающее усилие N=-2706,0 kH. Коэффициент устойчивости равен 8,6485 (рис. 6). Величина критического сжимающего усилия в верхней части пилона будет равна:

$$N_{kp} = 741{,}8x8{,}649 = 6415{,}5kH.$$

Приведенная на рис. 6 форма потери устойчивости для верхней части пилона, качественно близка к форме потери устойчивости в задаче для пилона жестко защемленного в опорном узле при условии, что опорный узел пилона смещается к балке жесткости. Очевидно, это связано со «стеснением» поворота узла объединяющего горизонтальную балку и пилон. В связи с этим, приближенное значение критического усилия сжатия для верхней части пилона, рассмотренного отдельно от жесткой балки, в соответствии с [1] составит:

$$N_{kp} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu H)^2} = \frac{3{,}14^2 x130233}{0{,}7^2 x20^2} = 6551{,}25kH.$$

Таким образом, приближенный расчет дает результат оценки устойчивости комбинированной системы с точностью 2%.

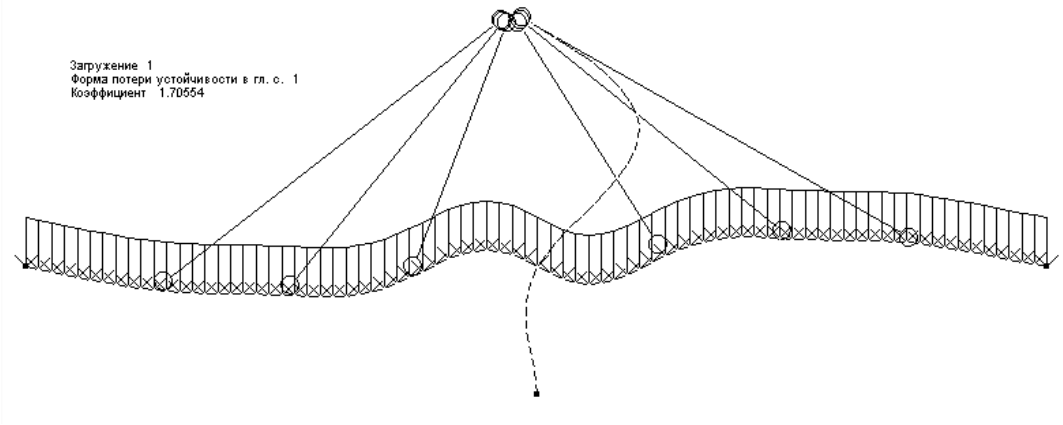


Рис. 7

При меньшей изгибной жесткости горизонтальной балки относительно изгибной жесткости пилона критическое усилие потери устойчивости пилона значительно снижается. В качестве примера рассмотрим горизонтальную балку сечением в виде «коробки» из двутавров №20Ш1 с изгибной жесткостью EJ = 11082 кНм.

Расчетом устойчивости комбинированной системы получена форма потери устойчивости пилона, соответствующая минимальному критическому усилию в пилоне (рис. 7). Коэффициент устойчивости равен 1,7055. Нормальное усилие в верхней части пилона равно -3003 кН. Величина критического сжимающего усилия в верхней части пилона будет равна:

$$N_{kp} = 3003,0x1,7055 = 5121,6kH .$$

Таким образом, снижение изгибной жесткости горизонтальной балки снижает устойчивость системы на 25%.

Рассмотрим более сложную пространственную комбинированную систему, отличающуюся от плоской системы на рисунке 3 наличием парных пилонов и канатов. Геометрические параметры системы и нагрузки соответствуют схеме на рис. 3. Поперечное сечение пилонов принято в видекоробки из двутавров с параллельными гранямиполоктипа K

(колонный) №35К1. Канаты № 21.0 типа ТК одинарной свивки конструкции 1х37(1+6+12+18). Схема пространственной комбинированной системы в виде компьютерной 3D-модели, построенной в программном комплексе ЛИРА, показана на рис. 8.

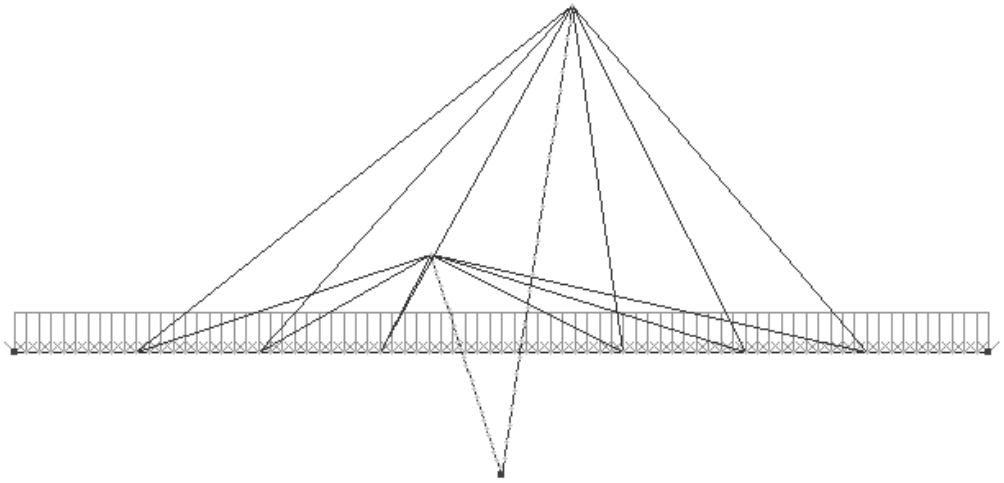


Рис. 8

На рис. 9 в изометрической проекции показана расчетная эпюра продольных усилий в элементах пространственной системы. Максимальное сжимающее усилие равно -804,1 kH, максимальное растягивающее усилие равно 791,9 kH.

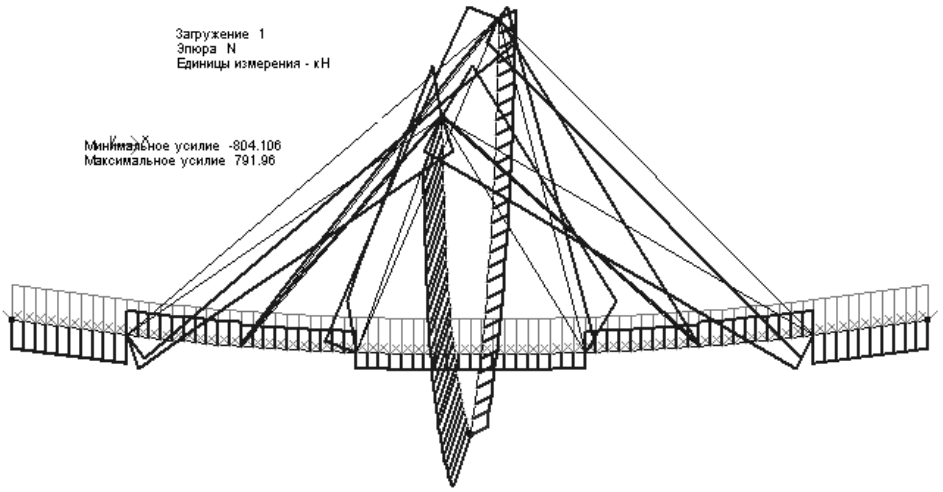


Рис. 9

Результаты расчета на устойчивость пространственной комбинированной системы приведены на рис. 10, где в изометрическом виде показана форма потериустойчивости, соответствующая минимальной критической нагрузке.

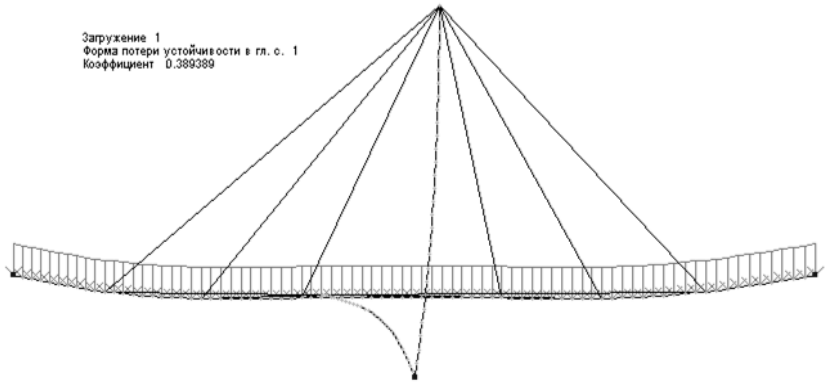


Рис. 10

Эта же форма потери устойчивости системы показана на виде сверху (в плоскости X0Z) на которой можно видеть потерю устойчивости из своей плоскости балки жесткости (рис. 11).

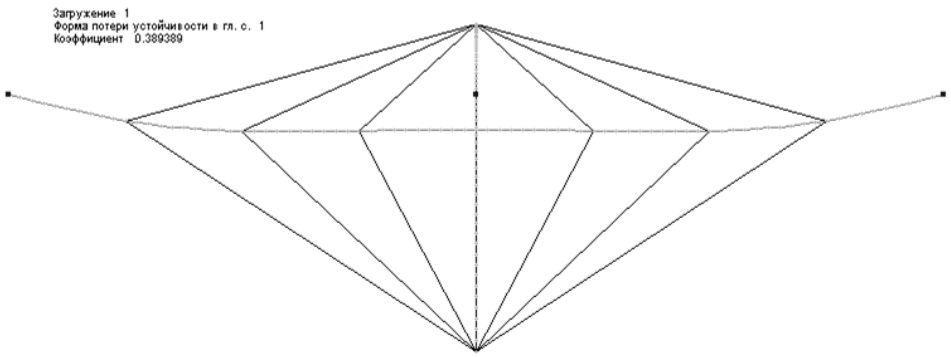


Рис. 11

На рис. 12 в плоскости Y0Z показана та же форма потери устойчивости пространственной системы, на которой показана форма потери устойчивости пилонов.

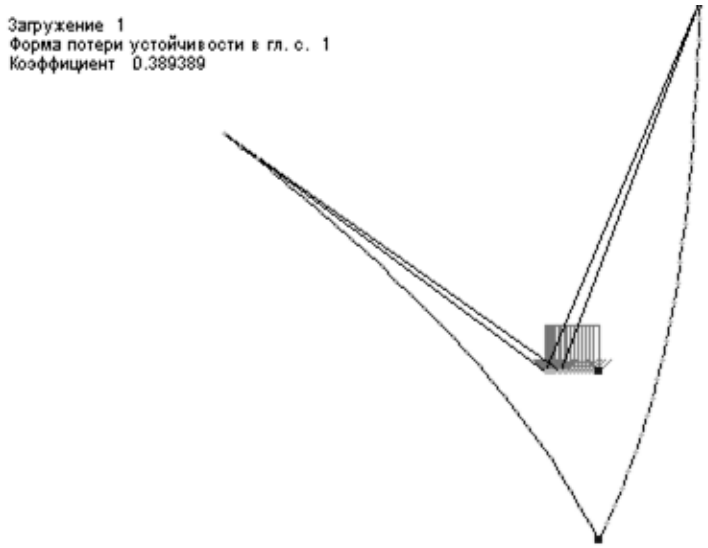


Рис. 12

Коэффициент устойчивости пилонов равен 0,389, что свидетельствует о превышении нагрузкой минимального критического значения.

Литература

1. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем / Н. А. Алфутов. М.: Машиностроение, 1978. – 312 с.

2. Иноземцев В.К. Строительные конструкции и компьютерные модели зданий и сооружений: учеб. пособие / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. – 406 с.

3. Кирсанов Н.М. Висячие системы повышенной жесткости. М., Стройиздат, 1973. – 116 с.

4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Золотой_мост (дата обращения: 02.12.2017).

5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Русский_мост (дата обращения: 02.12.2017).

© Иноземцев В.К., Редков В.И., Беспечная Н.А., 2017

УДК 539.3

Иноземцев В.К.
доктор технических наук, профессор,
Государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина
г. Саратов, Россия
Редков В.И.
кандидат технических наук, доцент,
Государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина,
г. Саратов, Россия

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ И ИНЖЕНЕРНОЙЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХСОПОЛЗНЕВЫМИПРОЦЕССАМИ

PROBLEMS OF STABILITY AND ENGINEERING PROTECTION OF CONSTRUCTION SITES IN URBANIZED AREAS WITH LANDSLIDE PROCESSES

Аннотация. Рассматривается проблема устойчивости и инженерной защиты строительных объектов на урбанизированных территориях Саратовской агломерации. Приводятся примеры использования результатов анализа геодинамического состоянияи геотехнического мониторинга при разработке противооползневых мероприятий.

Ключевые слова: склон, оползневой процесс, устойчивость, инженерная защита, строительный объект.

Abstract. The paper Considers the problem of stability and engineering protection of construction projects of urbanized territories of the Saratov agglomeration. Examples of the results of the analysis of geodynamic condition and geotechnical monitoring during the development of landslide events.

Keywords: slope, landslide process, sustainability, engineering protection, construction site.

За последние 30-40 лет во многих странах мира,в том числе в России проявляется тенденция к увеличению площади развития опасных природных и техногенных процессов в пределах урбанизированных территорий. Это оползни и обвалы, овражная эрозия и переработка берегов, карст и суффозия, просадки лессовых пород и подтопление.

По данным управления инженерной защиты г. Саратоваплощадь потенциально опасных оползневых участков на городской территории составляет 2700 га. Фрагмент карты развития оползневых процессов на территории г. Саратова приведенна рис. 1 [4].

Рис. 1 [4]

В оползневую зону входят 16 км прибрежной полосы от Гуселки до Глебучева оврага и от поселка Лесопильный до поселка Нефтяной. Коэффициенты устойчивости склонов в районе Гуселки, Зоналки, Лысой горы, Князевского склона меньше 1. На территории города зафиксировано 30 действующих оползневых участков, общая площадь которых составляет 500 га. Систематически проявляются оползневые деформации склоновСоколовогорского, Лысогорского массивов, а также Октябрьского

и Смирновского ущелий. Анализ геодинамического состояния склонов ряда площадок правого берега Волгоградского водохранилища, Глебучева оврага, а также Соколовогорского и Лысогорского массивов, в пределах территории г. Саратова показал, что получение достоверных результатов расчетов и разработка обоснованных проектных решений промышленных и гражданских зданий и сооружений часто осложняется из-за отсутствия результатов геотехнического мониторинга устойчивости оползневых склонов.

Особые условия для строительства и эксплуатации зданий и сооружений обусловлены сложностью топографических, геологических условий в сочетании с активными оползневыми процессами и подтоплением территории.

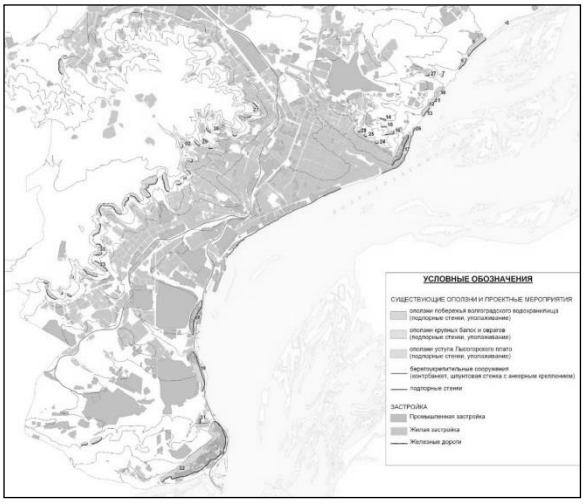


Рис. 2 [4]

Анализ геодинамического состоянияосклонов ряда площадокправого берега Волгоградского водохранилища, Глебучева оврага, а такжеСоколовогорского и Лысогорского массивов,Алтынной горы в Заводском районе г. Саратова показал, что получение достоверных результатов расчетов и разработка обоснованных проектных решений часто осложняется из-за отсутствия результатов геотехнического мониторинга устойчивости оползневых склонов.

Первые признаки движения оползня в Смирновском ущелье были отмечены в марте 2002 г. В августе 2003г. оползневые деформации произошли на правом склоне Смирновского ущелья в пределах фронтальной части древнего оползневого массива. В результате на участке дороги образовался провалдлиной 55 м, шириной и глубиной до 2 метров, семь жилых домов, расположенных на склоне, были смещены оползнем и получили значительные повреждения. Оползень охватил площадь около 4 га, а объем грунта, вовлеченного в оползневый процесс, составил 1,5 млн. $м^3$. В опасной зоне оказались десятки построенных и вновь строящихся зданий. Непосредственная угроза имеется для зданий и сооружений областной клинической больницы.

Примером возможности возникновения потенциально опасных перемещений подземных отстойников, камер реакции и развития аварийной ситуация вляется территория комплекса ВК-2, расположенного на Южном склоне Соколовой горы и снабжающего г. Саратов питьевой водой (рис. 3).

Рис. 3 Инженерные сооружения ВК-2 с подпорными стенами на склоне Соколовой горы

Проведенными исследованиями[1, 2] установлено, что для предотвращения дальнейших перемещений подземных сооружений и развития аварийной ситуации необходим постоянный мониторинг эффективностиинженерной защиты территорий комплекса ВК-2.

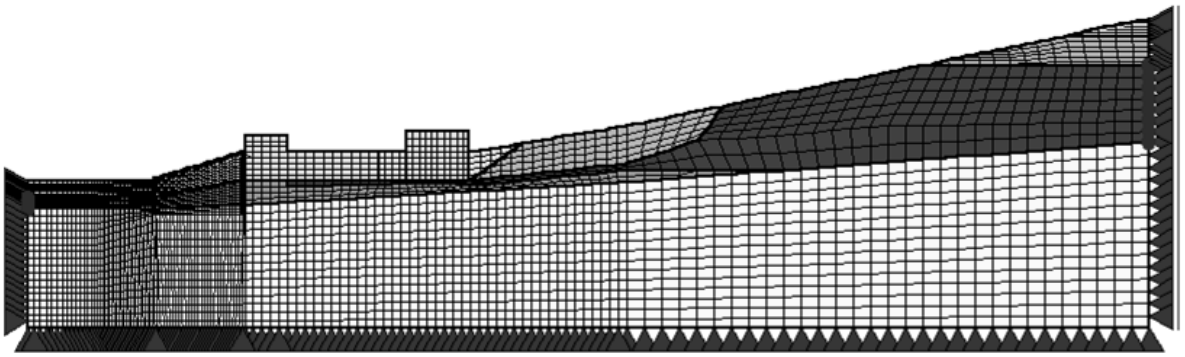


Рис. 4. Общая расчетная схема для расчета склона и противооползневых конструкций методом конечных элементов

Результаты расчетов устойчивости склонаграфоаналитическим методом круглоцилиндрических поверхностей и методом конечных элементов с учетом результатов натурного обследования технического состояния инженерных сооружений ВК-2 использованы специалистами НИИОСП им. Н.М. Герсеванова и ООО НПФ «Фундаментстройпроект» (г. Москва) для разработки проектных решений поукреплению оползневого склона Соколовой горы [2].

Оползневые деформации систематически проявляются также на различных участках склонов Глебучева оврага, что существенно осложняет проектирование и строительство в этой части города.На рис. 5 приведен пример одного из таких участков склона Глебучева оврага (Волжский район г. Саратова, Волочаевский проезд,) с предлагаемой проектировщиками схемойрасположения 11-этажного жилого здания[1].

При оценке устойчивости грунтового массива склона(рис. 5, 6) рассматривались три задачи: 1 – оценка общей устойчивости

естественного склона; 2 – оценка устойчивости несущего слоя под действием нагрузки, передаваемой со стороны фундаментов; 3 – определение равноустойчивого профиля искусственного склона, после заполнения оврага насыпным грунтом в соответствии с планом организации рельефа.

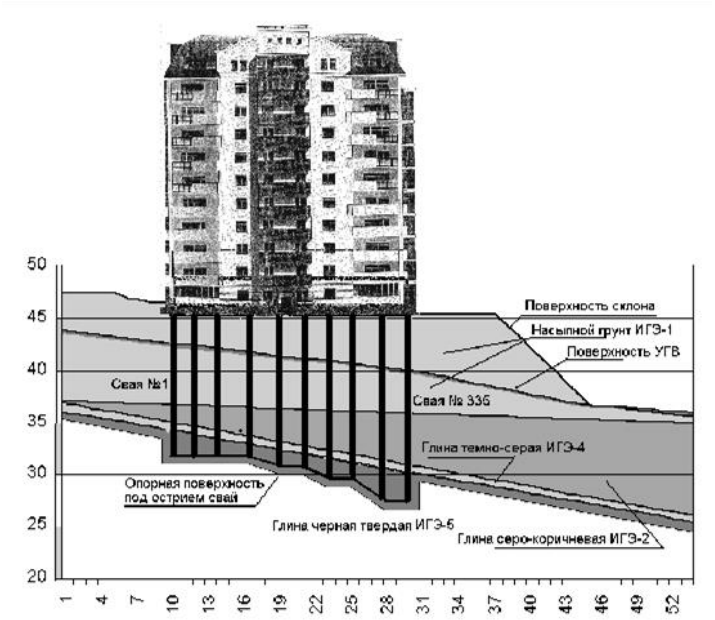


Рис. 5. Профиль склона оврага и схема расположения жилого здания

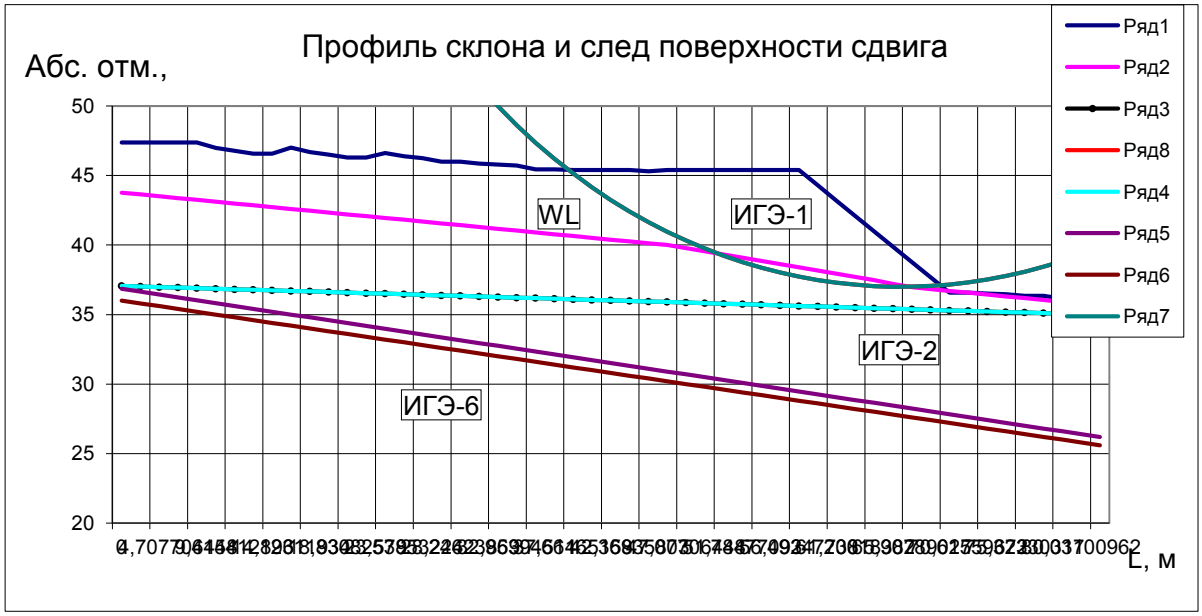


Рис. 6

В расчете оценивалась возможность нарушения устойчивости массива грунта на склоне Глебучева оврага, способная вызвать сдвиг значительных масс грунта и провоцировать оползень на прилегающих к бровке оврага территориях (рис.6).

Расчетамиустановлено, что условие устойчивости состояния равновесия склона и коэффициентустойчивости тесно связаны с «обобщенным»реактивным предельнымсопротивлениемгрунтадействию разрушающей (предельной) нагрузки и «обобщенной» активной силой (реакцией грунта на действующую нагрузку).Эта связь определяет основные направления инженерных приемов повышения устойчивости склона.

Литература

1. Иноземцев В.К. Математическая модель деформирования геомассивов применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. Саратов: Сарат. гос. техн.ун-т, 2005. – 412 с.

2. Отчет о научно-технической работе по теме «Проектные и аварийно-восстановительные работы по водопроводному комплексу в г. Саратове», НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. Москва, 2003.

3. Техническое заключение. «Оценкаустойчивости оползневого склона и обеспечение эксплуатационной надежности несущих конструкций корпуса№ 8 ГУЗ «Саратовская областная психиатрическаябольница Святой Софии», книга 1, НППЦ «Стройкомплекс» СГТУ, Саратов, 2007.

4. http://www.saratovmer.ru/genplan(дата обращения: 02.12.2017).

© Иноземцев В.К., Редков В.И., 2017

УДК 624.04:539.3

Кайтуков Т.Б.
кандидат технических наук, доцент,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Акимов П.А.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Белостоцкий А.М.
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,
Научно-исследовательский центр СтаДиО, Москва, Россия

ОБ ОДНОМ ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА В ОБЛАСТИ ТИПА ПОЛОСЫ ЧАСТЬ 2: ДИСКРЕТНАЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ, ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЯ

ON A DISCRETE-ANALYTIC METHOD FOR SOLVING A BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR THE POISSON EQUATION IN A STRIP-TYPE REGION. PART 1: INTRODUCTION. CONTINUUM AND DISCRETE STATEMENT OF THE PROBLEM

Аннотация.В статье представлен дискретно-аналитический подход к расчету конструкций (вариант метода прямых в рамках вариационно-разностной аппроксимации) на примере решения краевой задачи для уравнений Пуассона в области типа полосы. Данный подход эффективен при расчете конструкций, у которых имеются постоянные физико-геометрические характеристики по одному из направлений. Описаны численная постановка задачи (продолжение) и построение дискретно-аналитического и аналитического решений.

Ключевые слова: дискретно-аналитический подход, метод прямых, численно-аналитические методы, краевая задача, расчеты конструкций, вариационно-разностный метод, уравнение Пуассона, полоса.

Abstract. This paper is devoted to discrete-analytical approach to the structural analysis (specific version of the method of straight lines within variation-difference approximation). Particularly boundary problem for the Poisson equation in a strip-type region is under consideration. This approach seems to be quite effective for analysis of structures with constant physical and geometrical parameters in one direction. The numerical formulation of the problem (the second part) and discrete-analytical and analytical solutions are presented.

Keywords: discrete-analytical approach, method of straight lines, semianalytical methods, boundary problem, structural analysis, variation-difference method, the Poisson equation, strip-type region

1. Построение вариационно-разностного аналога (продолжение)**.**

Общее решение получаем в виде линейной комбинации:

$$B_i^k = \alpha_1 B_{1i}^k + \alpha_2 B_{2i}^k . \qquad (1)$$

Коэффициенты α_1 и α_2 находим из уравнения второй группы:

$$\alpha_1 B_{1i}^1 + \alpha_2 B_{2i}^1 - J_i(\alpha_1 B_{1i}^0 + \alpha_2 B_{2i}^0) = E . (2)$$

Из чего следует $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$. В результате получим общее решение:

$$B_i^k = \frac{1}{2}\begin{cases} -J_i^{k-1}, & npu \quad k \le 0 \\ J_i^{k-1}, & npu \quad k \ge 1 \end{cases} (3)$$

Решение уравнения (15) имеет вид:

$$\overline{w}_i^k = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} S_i B_i^{k-j} S_i^{-1} \overline{g}_i^{\,j} = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} W_i^{k-j} \overline{g}_i^{\,j} , \qquad (4)$$

где в случае а)

$$B_i^k = \begin{bmatrix} b_{i1}^k & 0 \\ 0 & b_{i2}^k \end{bmatrix}; \tag{5}$$

$$W_i^k = S_i B_i^k S_i^{-1} \tag{6}$$

– фундаментальная матрица уравнения (15). Положим

$$v_i^k = w_{i2}^k = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \overline{w}_i^k, \overline{g}_i^k = \begin{bmatrix} 0 \\ -g_i^k \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} g_i^k. \tag{7}$$

Отсюда решение уравнения (12) примет вид:

$$v_i^k = -\sum_{j=-\infty}^{j=\infty} \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} W_i^{k-j} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} g_i^j, \text{где} v_i^k = w_{i2}^k = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \overline{w}_i^k, \overline{g}_i^k = \begin{bmatrix} 0 \\ -g_i^k \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} g_i^k. \tag{8}$$

Введем

$$w_{i22}^k = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} W_i^{k-j} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ откуда} V^k = -diag \left\{ w_{i22}^k \right\}_{i=1,\ldots,n} \tag{9}$$

– фундаментальная матрица уравнения (12).

В векторном виде данное решение может быть записано в виде:

$$\overline{v}^k = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} V^{k-j} \overline{g}^j \tag{10}$$

Искомое решение разностной задачи имеет вид:

$$\overline{u}^k = T\overline{v}^k = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} TV^{k-j} T^{-1} \overline{F}^j = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} U^{k-j} \overline{F}^j \tag{11}$$

где $U^k = TV^k T^{-1}$ – фундаментальная матрица уравнения (8).

Второйпуть – это понижение порядка системы разностных уравнений (8) с последующим спектральным разложением результирующей матрицы. Вводим обозначение:

$$\overline{w}^k = \begin{bmatrix} \overline{w}_1^k \\ \overline{w}_2^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{u}^{k-1} \\ \overline{u}^k \end{bmatrix}, \text{ откуда } \overline{w}^{k+1} = \begin{bmatrix} \overline{u}^k \\ \overline{u}^{k+1} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Система двух векторно-матричных уравнений записывается в виде:

$$\begin{cases} \overline{w}_1^{k+1} = \overline{w}_2^k \\ \overline{w}_2^{k+1} = B\overline{w}_2^k - \overline{w}_1^k - \overline{F}^k \end{cases} \quad (13)$$

$$\text{или } \overline{w}^{k+1} = A\overline{w}^k + \overline{P}^k, \quad (14)$$

$$\text{где } A = \begin{bmatrix} 0 & E \\ -E & B \end{bmatrix}, \overline{P}^k = \begin{bmatrix} 0 \\ -\overline{F}^k \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Далее раскладываем глобальную матрицу в виде (9), причем здесь: T – матрица собственных и присоединенных векторов для матрицы A; Q – матрица собственных чисел и жордановых клеток; T^{-1} – обратная матрица к матрице T. Обозначим

$$\overline{z}^k = T^{-1}\overline{w}^k, \overline{G}^k = T^{-1}\overline{P}^k \quad (16)$$

Тогда (44) переходит в:

$$\overline{z}^{k+1} = Q\overline{z}^k + \overline{G}^k, \quad (17)$$

$$\text{где } Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & & \Lambda & & 0 \\ 0 & \text{O} & & & & \\ & & q_{i-1} & & & \\ \text{M} & & & J_i & & \text{M} \\ & & & & q_{i+1} & \\ & & & & \text{O} & 0 \\ 0 & & & \Lambda & 0 & q_m \end{bmatrix} \quad (18)$$

здесь $m = 2 \cdot n$; q_j – простое собственное число, и фундаментальное решение соответствующего j-ого разностного уравнения системы (17) определяется по формуле (27) из [1];

$$J_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{19}$$

– жорданова клетка, и фундаментальное решение соответствующей *i*-той системы двух разностных уравнений, входящих в (17), определяется по формуле (33).

Если Z^k – фундаментальное решение системы (17), тогда

$$W^k = T \cdot Z^k \cdot T^{-1} \tag{20}$$

– это фундаментальное решение системы и

$$U^k = \begin{bmatrix} 0 & E \end{bmatrix} \cdot W^k \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} \tag{21}$$

- фундаментальная матрица-решение системы (8).

Искомое решение системы (8) имеет вид:

$$\overline{u}^k = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} U^{k-j} \overline{F}^j . \tag{22}$$

2. Дискретно-аналитическое решение.

При дискретно-аналитическом подходе, в отличие от дискретного подхода, задача рассматривается в одном направлении (по x) как аналитическая, в другом (по *y*) – как дискретная.

Дискретно-аналитическое фундаментальное решение для оператора $Y'' - BY$ имеет вид:

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \frac{h_y}{2} \exp\left(-\frac{2}{h_y} |x| \right) & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{h_y}{\sqrt{2}} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{h_y} \right) & 0 \\ 0 & 0 & |x| \end{bmatrix} \tag{23}$$

3. Аналитическое решение.

Имеем (рис. 2):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \dfrac{\partial u^2}{\partial y^2} = f(x,y), \quad -\infty \le x \le \infty, \quad 0 < y < l \\ \dfrac{\partial u}{\partial n} = 0 - \text{свободный} \quad \text{край} \end{cases} \tag{24}$$

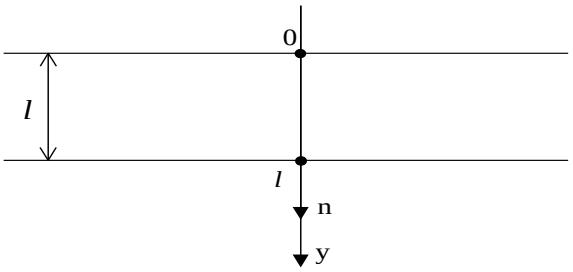


Рис. 2. Бесконечная полоса

При таком граничном условии можно разложить $u(x,y)$ и $f(x,y)$ в ряд по косинусам, точнее по собственным функциям оператора $\partial^2/\partial y^2$:

$$\varphi_j(y) = \begin{cases} \sqrt{1/l}, & j = 0 \\ \sqrt{2/l}\cos\left(\dfrac{\pi j}{l} y\right), & j > 0 \end{cases} \tag{25}$$

В этом случае

$$u(x,y) = \sum_{j=0}^{\infty} u_j(x) \cdot \varphi_j(x), \qquad u_j(x) = \int_0^l u(x,t) \cdot \varphi_j(t) dt, \tag{26}$$

$$f(x,y) = \sum_{j=0}^{\infty} f_j(x) \cdot \varphi_j(x), \qquad f_j(x) = \int_0^l f(x,t) \cdot \varphi_j(t) dt \tag{27}$$

Кроме того,

$$\frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial y^2} = -\left(\frac{\pi j}{l}\right)^2 \varphi_j, \tag{28}$$

где $-\left(\frac{\pi j}{l}\right)^2$ – собственное значение оператора $\frac{\partial^2}{\partial y^2}$, которому соответствует собственная функция φ_j.

Обозначим

$$\mu_j^2 = \left(\frac{\pi j}{l}\right)^2 \varphi_j . \tag{29}$$

Подставив $u(x,y)$ и $f(x,y)$ в виде рядов (56) и (57) в исходное уравнение (54) и сгруппировав, имеем:

$$\sum_{j=0}^{\infty}\left(\frac{\partial^2 u_j(x)}{\partial x^2} - \mu_j^2 u_j(x) - f_j(x)\right)\varphi_j(y) = 0$$

В силу линейной независимости $\varphi_j(y)$ получим для каждого $j = 0,1,2,\text{K}$ дифференциальное уравнение относительно $u_j(x)$:

$$\frac{\partial^2 u_j}{\partial x^2} - \mu_j^2 u_j = f_j \tag{30}$$

Фундаментальное решение *j*-го уравнения (60) имеет вид:

$$\varepsilon_j(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{2}|x|, \ j = 0 \\ -\dfrac{1}{2\mu_j} e^{-\mu_j |x|}, \ j > 0 \end{cases} \tag{31}$$

Решением *j*-того уравнения при правой части $f_j(x)$ будет:

$$u_j(x) = (\varepsilon_j * f_j)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_j(x-z)\cdot f_j(z)dz = \int_0^l \int_{-\infty}^{\infty} \left[\varepsilon_j(x-z)\cdot \varphi_j(t)\right] f(z,t)\,dz\,dt \tag{32}$$

Подставив (62) в (56), получим решение задачи (54):

$$u(x,y)=\sum_{j=0}^{\infty}(\varepsilon_j * f_j)(x) \tag{33}$$

Выделяем заданную функцию правой части $f(x,y)$:

$$u(x,y)==\int_0^l\int_{-\infty}^{\infty}\left[\sum_{j=0}^{\infty}\varphi_j(y)\varepsilon_j(x-z)\cdot\varphi_j(t)\right]f(z,t)\,dz\,dt\,. \tag{34}$$

Для симметричности можно передвинуть полосу по направлению y на величину $-l/2$ (рис. 3).

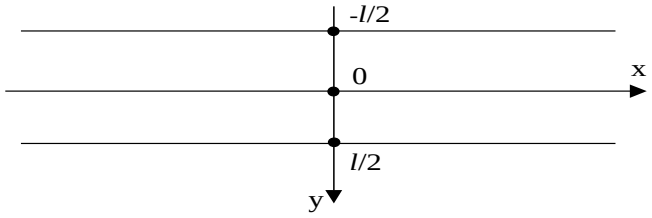


Рис. 3. Бесконечная полоса, смещенная на величину $-l/2$.

Тогда

$$\varphi_j(y)=\sqrt{\frac{2}{l}}\cos\frac{\pi j}{l}\left(y+\frac{l}{2}\right). \tag{35}$$

Для получения фундаментального решения определим $f(x,y)=\delta(x,y)$:

$$\begin{aligned}\varepsilon(x,y)&=\int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}}\int_{-\infty}^{\infty}\sum_{j=0}^{\infty}\varphi_j(y)\varepsilon_j(x-z)\cdot\varphi_j(t)\,\delta(z,t)\,dz\,dt=\\&=\sum_{j=0}^{\infty}\varphi_j(y)\varepsilon_j(x)\cdot\varphi_j(0)=\frac{1}{2l}|x|+\sum_{j=1}^{\infty}\varphi_j(y)\varepsilon_j(x)\cdot\varphi_j(0)\end{aligned} \tag{36}$$

Имеем:

$$\varphi_o(y)=\sqrt{\frac{1}{l}},\ \varepsilon_o(x)=\frac{|x|}{2}; \tag{37}$$

$$\varphi_j(0)=\sqrt{\frac{2}{l}}\cos\frac{\pi j}{l}\cdot\frac{l}{2}=\sqrt{\frac{2}{l}}\cos\left(j\frac{\pi}{2}\right)=\sqrt{\frac{2}{l}}\begin{cases}0, & j=2\mathrm{k}+1\\(-1)^k, & j=2k\end{cases}\quad k=1,2,\mathrm{K} \tag{38}$$

Таким образом, можем записать:

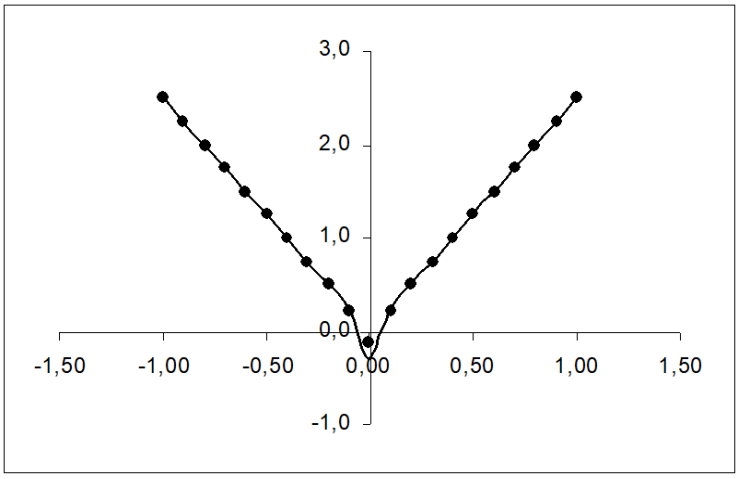
$$\varphi_{2k}(y)=\sqrt{\frac{2}{l}}\cos\frac{2\pi k}{l}\left(y+\frac{l}{2}\right);\mu_{2k}=\frac{2\pi k}{l};\varepsilon_{2k}(x)=-\frac{l}{4\pi k}\exp\left(-\frac{2\pi k}{l}|x|\right); \qquad (39)$$

в выражение (66) для $\varepsilon(x,y)$:

$$\varepsilon(x,y)=\frac{1}{2l}|x|-\frac{1}{2\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^k}{k}\exp\left(-\frac{2\pi k}{l}|x|\right)\cdot\cos\frac{2\pi k}{l}\left(y+\frac{l}{2}\right) \qquad (40)$$

На рис. 4а представлено сравнение дискретного (сплошной график) и дискретно-аналитического (точечный график) фундаментальных решений,на рис. 4б – сравнение дискретного (сплошной график) и аналитического(точечный график) фундаментальных решений. При шаге в направлении $xh_x=0{,}1$ и толщине полосы (направление y) $dl_y=0{,}2$ в обоих случаях были получены практически совпадающие результаты.

а)



б)

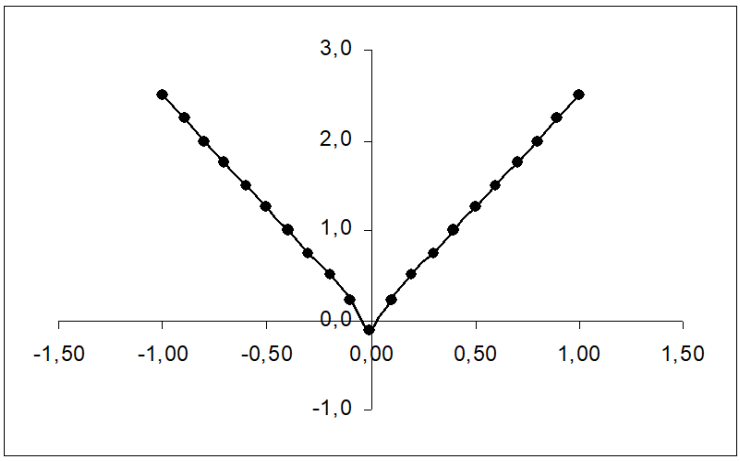


Рис. 4. Сравнение дискретного и дискретно-аналитического (аналитического) фундаментальных решений для уравнения Пуассона для полосы

Литература

1. Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М. Об одном дискретно-аналитическом методе решения краевой задачи для уравнения Пуассона в области типа полосы. Часть 1: Введение. Континуальная и дискретная постановки задачи. Статья в настоящем сборнике.

© Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М., 2017

УДК 624.04:539.3

Кайтуков Т.Б.
кандидат технических наук, доцент,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Акимов П.А.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Белостоцкий А.М.
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,
Научно-исследовательский центр СтаДиО, Москва, Россия

ОБ ОДНОМ ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

В ОБЛАСТИ ТИПА ПОЛОСЫ
ЧАСТЬ 2: ВВЕДЕНИЕ. КОНТИНУАЛЬНАЯ И ДИСКРЕТНАЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

ON A DISCRETE-ANALYTIC METHOD FOR SOLVING A BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR THE POISSON EQUATION IN A STRIP-TYPE REGION. PART 2: DISCRETE STATEMENT OF THE PROBLEM, DISCRETE-ANALYTIC SOLUTION

Аннотация. В настоящей статье представлен дискретно-аналитический подход к расчету конструкций (вариант метода прямых в рамках вариационно-разностной аппроксимации) на примере решения краевой задачи для уравнений Пуассона в области типа полосы. Данный подход представляется достаточно эффективным при расчете конструкций, у которых имеются постоянные физико-геометрические характеристики по одному из направлений. Описана общая идея подхода, сформулирована континуальная и численная постановки (начало).

Ключевые слова: дискретно-аналитический подход, метод прямых, численно-аналитические методы, краевая задача, расчеты конструкций, вариационно-разностный метод, уравнение Пуассона, полоса.

Abstract: The distinctive paper is devoted to discrete-analytical approach to the structural analysis (specific version of the method of straight lines within variation-difference approximation). Particularly boundary problem for the Poisson equation in a strip-type region is under consideration. This approach seems to be quite effective for analysis of structures with constant physical and geometrical parameters in one direction. The general idea of the approach is described, continual and numerical formulation are presented (the first part).

Keywords: discrete-analytical approach, method of straight lines, semianalytical methods, boundary problem, structural analysis, variation-

difference method, the Poisson equation, strip-type region

В связи с постоянным развитием и практической значимостью строительства, большим объемом строительных работ и появлением новых материалов, совершенствование методов расчета конструкций остается актуальной задачей [1]. Дискретно-аналитический подход к решению краевых задач позволяет преодолеть целый ряд трудностей, связанных с континуально-аналитическим подходом, где решение представляется либо в виде сингулярных функций, либо в виде бесконечных рядов. Данный подход позволяет лучше прочувствовать точность, поскольку дискретная аппроксимация лучше соответствует физическим представлениям специалиста, чем сингулярные функции или число членов ряда.

Суть дискретно-аналитического подхода для решения краевых задач состоит из следующих этапов: дискретная аппроксимация краевой задачи на основе регулярной сетки; построение фундаментальной функции для дискретного аналога дифференциального оператора; представление общего решения краевой задачи через свертку с фундаментальной функцией с использованием дискретного аналога формул Грина, т.е. формулировки в виде граничных уравнений, где все неизвестные сосредоточены на границе; решение граничных уравнений.

Непосредственное решение задач дискретно-аналитическими методами также важно для практики, поскольку существует много важных и ответственных конструкций, имеющих правильную или регулярную форму, например, состоящую из прямоугольников или параллелепипедов (платформенные стыки в зданиях, толстые плиты и фундаменты, балки-

стенки и т.д.). В этом случае данный подход более быстро приводит к цели, минуя многочисленные аналитические трудности.

1. Постановка краевой задачи.

Для плоского случая формулировка краевой задачи имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial x} a_1 \dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{\partial}{\partial y} a_2 \dfrac{\partial u}{\partial y} = f, \quad -\infty \le x \le \infty,\ a \le y \le b \\ \dfrac{\partial u}{\partial y}\Big|_{\Gamma} = f, \end{cases} \tag{1}$$

где $a_1 = a_1(y)$, $a_2 = a_2(y)$ – не зависят от x; $f = f(x,y)$ – заданные функции; $u = u(x,y)$ – подлежит определению.

2. Построение вариационно-разностного аналога (начало)**.**

Разбиваем полосу сеткой с ячейками прямоугольной формы (рис. 1). Здесь $h_x = const$ – шаг сетки по x; $-\infty \le k \le \infty$; h_y – шаг сетки по y; $h_i = y_{i+1} - y_i$; $i = 1, 2, \text{K}, n$; (k,i) – узел сетки с координатами (x_k, y_i). Обозначим $\bar{u}^k = \left[u_1^k, u_2^k, \text{K}, u_n^k\right]^T$, $u_i^k = u(x_k, y_i)$, $\bar{f}^k = \left[f_1^k, f_2^k, \text{K}, f_n^k\right]^T$.

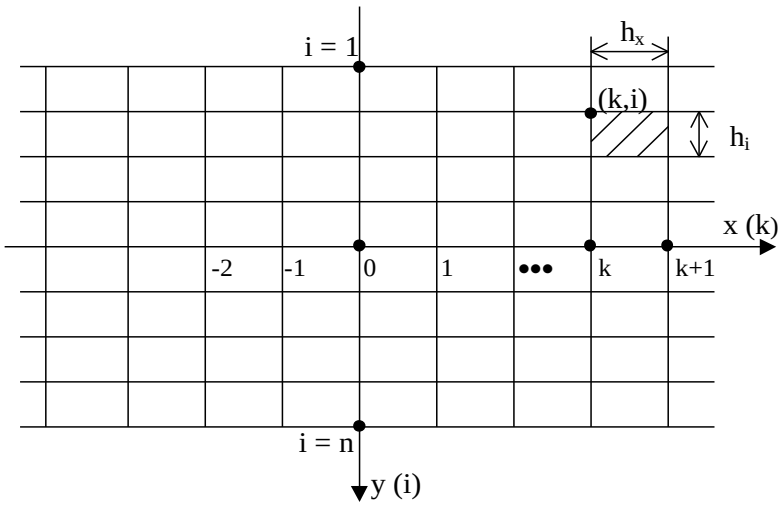


Рис. 1. Разбивка полосы ячейками прямоугольной формы.

Разностное операторное уравнение, соответствующее (1), имеет вид:

$$\frac{1}{2h_x^2} A_1(-\bar{u}^{k+1} + 2\bar{u}^k - \bar{u}^{k-1}) + \frac{1}{2} D_2^* A_2 H_2^{-2} D_2 \bar{u}^k = \bar{f}^k, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \text{K}, \quad (2)$$

где сеточные операторы строятся по формуле:

$$A_s = T_{3-S}^* \bar{a}_s \quad (3)$$

Введем сеточные операции, соответственно «осреднение назад», «разность вперед», соответствующий сопряженный оператор:

$$T_1^* \bar{a}_s = \bar{a}_s; (T_2^* \bar{a}_s)(i) = a_{s,i-1} + a_{si}; \quad (4)$$

$$(D_2 \bar{\varphi}^k)(k,i) = \varphi_{i+1}^k - \varphi_i^k; (D_2^* \bar{\varphi}^k)(k,i) = -(\varphi_i^k - \varphi_{i-1}^k), \quad (5)$$

где a_s не зависит от x;

$$\bar{a}_s = \begin{bmatrix} a_{s1} \\ \text{M} \\ a_{sn} \end{bmatrix}, \; a_{si} = h_x \int_{y_i}^{y_{i+1}} a_s(y)\, dy; H_2^{-2} = diag \; \left\{ h_i^{-2} \right\}_{i=1,\ldots,n}. \quad (6)$$

Кроме того, введем обозначения

$$\alpha_1 = \frac{1}{2h_x^2} A_1, \alpha_2 = \frac{1}{2} D_2^* A_2 H_2^{-2} D_2, B = 2E + \alpha_1^{-1} \alpha_2, \bar{F}^k = \alpha_1^{-1} \bar{f}^k, \quad (7)$$

где E – единичная матрица.

Тогда уравнение (2) принимает вид:

$$-\bar{u}^{k+1} + B\bar{u}^k - \bar{u}^{k-1} = \bar{F}^k. \quad (8)$$

Далее возможны два пути нахождения решения.

Первый путь – это спектральное разложение матрицы B с последующим понижением порядка каждого отдельного разностного уравнения.

Итак, представим матрицу B в виде разложения по собственным значениям и векторам:

$$B = TQT^{-1}, \tag{9}$$

Обозначим

$$\bar{v}^k = T^{-1}\bar{u}^k, \bar{g}^k = T^{-1}\bar{F}^k. \tag{10}$$

Тогда (8) переходит в:

$$-\bar{v}^{k+1} + Q\bar{v}^k - \bar{v}^{k-1} = \bar{g}^k \tag{11}$$

или

$$-v_i^{k+1} + q_i v_i^k - v_i^{k-1} = g_i^k,\ i = 1,2,\text{K},n \tag{12}$$

Далее каждое уравнение системы (12) второго порядка сводится к первому порядку, для чего вводится вектор-функция

$$\bar{w}_i^k = \begin{bmatrix} w_{i1}^k \\ w_{i2}^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_i^{k-1} \\ v_i^k \end{bmatrix}. \tag{13}$$

Можно записать систему двух уравнений:

$$\begin{cases} w_{i1}^{k+1} = v_i^{k-1+1} = v_i^k = w_{i2}^k \\ w_{i2}^{k+1} = v_i^{k+1} = q_i w_{i2}^k - w_{i1}^k - g_i^k \end{cases} \tag{14}$$

или в векторно-матричном виде:

$$\bar{w}_i^{k+1} = R_i \bar{w}_i^k + \bar{g}_i^k, \tag{15}$$

где

$$R_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & q_i \end{bmatrix}, \bar{g}_i^k = \begin{bmatrix} 0 \\ -g_i^k \end{bmatrix}. \tag{16}$$

Матрица R_i представляетсяв виде

$$R_i = S_i J_i S_i^{-1}, \tag{17}$$

где S_i – матрица собственных и присоединенных векторов; J_i – матрица, содержащая собственные значения λ_{i1} и λ_{i2} матрицы R_i; S_i^{-1} – обратная матрица к матрице *S*.

Определяем λ_{i1} и λ_{i2}, как корни характеристического уравнения матрицы R_i:

$$\det(R_i - \lambda E) = \det\left[\begin{pmatrix} -\lambda & 1 \\ -1 & q_i - \lambda \end{pmatrix}\right] = \lambda^2 - q_i\lambda + 1 = 0. \qquad (18)$$

Можно показать, что корни этого уравнения равны

$$\lambda_{i1} = \frac{1}{2}(q_i + \sqrt{q_i^2 - 4}); \lambda_{i2} = \frac{1}{2}(q_i - \sqrt{q_i^2 - 4}). \qquad (19)$$

В зависимости от кратности корней λ_{i1} и λ_{i2} возможны различные матрицы S_i, J_i и S_i^{-1}.

а) Если $\lambda_{i1} \neq \lambda_{i2}$ (т.е. собственные значения матрицы $Bq_i \neq \pm 2$), то

$$J_i = \begin{bmatrix} \lambda_{i1} & 0 \\ 0 & \lambda_{i2} \end{bmatrix}. \qquad (20)$$

Определяя собственные векторы из условия:

$$R_i \bar{x}^{ij} = \lambda_{ij} \cdot \bar{x}^{ij}, \quad j = 1,2, \qquad (21)$$

получим

$$S_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \lambda_{i1} & \lambda_{i2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 & 0 \\ 0 & N_2 \end{bmatrix}; S_i^{-1} = \begin{bmatrix} N_1^{-1} & 0 \\ 0 & N_2^{-1} \end{bmatrix} \frac{1}{\lambda_{i2} - \lambda_{i1}} \begin{bmatrix} \lambda_{i2} & -1 \\ -\lambda_{i1} & 1 \end{bmatrix}, \qquad (22)$$

где N_j – нормирующий множитель, $N_j = \dfrac{1}{\sqrt{1 + \lambda_{ij}^2}}$, $j = 1,2$.

Найдем решение для уравнения

$$b_{ij}^{k+1} = \lambda_{ij} b_{ij}^k + \delta_{k0}. \qquad (23)$$

Отсюда получим три группы уравнений:

$$\begin{aligned} b_{ij}^{k+1} &= \lambda_{ij} b_{ij}^k, \ k \leq -1 \\ b_{ij}^1 &= \lambda_{ij} b_{ij}^0 + 1, \ k = 0 \\ b_{ij}^{k+1} &= \lambda_{ij} b_{ij}^k, \ k \geq 1 \end{aligned} \qquad (24)$$

Возможны два варианта частного решения.

Первый вариант возникает в случае $|\lambda_{ij}|<1$. Тогда $b_{ij}^k=0$ при $k\le 0$ удовлетворяет первой группе уравнений. Из второй группы уравнений следует $b_{ij}^1=1$. Из третьей следует

$$b_{ij}^2=\lambda_{ij}\cdot b_{ij}^1=\lambda_{ij},\ \ b_{ij}^3=\lambda_{ij}\cdot b_{ij}^2=\lambda_{ij}^2,\ \text{K}\ ,\ \ b_{ij}^k=\lambda_{ij}^{k-1}.$$

Получаем частное решение для первого варианта:

$$b_{ij}^k=\begin{cases}0,\ при\ \ k\le 0\\ \lambda_{ij}^{k-1},\ \ при\ \ k\ge 1\end{cases} \tag{25}$$

Второй вариант возникает при $|\lambda_{ij}|>1$. Здесь $b_{ij}^k=0$ при $k\ge 1$ удовлетворяет третьей группе уравнений. Из второй следует

$$b_{ij}^0=-\frac{1}{\lambda_{ij}}=-\lambda_{ij}^{-1}.$$

Из первой группы следует $b_{ij}^{-|k|}=\lambda_{ij}^{-1}\cdot b_{ij}^{-|k|+1}$, тогда получим

$$b_{ij}^{-1}=\lambda_{ij}^{-1}\cdot b_{ij}^0=-\lambda_{ij}^{-2},\quad b_{ij}^{-2}=\lambda_{ij}^{-1}\cdot b_{ij}^{-1}=-\lambda_{ij}^{-3},\ \text{K}\ ,\quad b_{ij}^{-|k|}=-\lambda_{ij}^{-|k|-1}.$$

Отсюда частное решение для второго варианта:

$$b_{ij}^k=\begin{cases}-\lambda_{ij}^{k-1},\ при\ \ k\le 0\\ 0,\ \ при\ \ k\ge 1\end{cases} \tag{26}$$

Таким образом, суммируя два варианта воедино, общее решение для случая простых собственных значений можно записать так:

$$b_{ij}^k=\begin{cases}\begin{cases}-\lambda_{ij}^{k-1},\ \ при\ \ k\le 0\\ 0,\ \ при\ \ k\ge 1\end{cases} & для\ |\lambda_{ij}|>1\\ \begin{cases}0,\ \ при\ \ k\le 0\\ \lambda_{ij}^{k-1},\ при\ \ k\ge 1\end{cases} & для\ |\lambda_{ij}|<1\end{cases} \tag{27}$$

б) Если корни λ_{i1} и λ_{i2} кратны, то собственные значения матрицы B $q_i=\pm 2$. Здесь α_1 и α_2 положительно определены, поэтому

$B = 2E + \alpha_1^{-1}\alpha_2 > 0$ и остается только $q_i = 2$, из чего следует, что кратный корень $\lambda_i = q_i / 2 = 1$. Тогда имеем жорданову клетку

$$J_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Из (9) получаем только один собственный вектор

$$\bar{x}^0 = \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_2^0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

В этом случае матрицу S_i можно дополнить с помощью корневого вектора, который получаем из условия

$$(R_i - \lambda_i E) \cdot \bar{x}^1 = \bar{x}^0.$$

Опуская промежуточные вычисления, получим

$$\bar{x}^1 = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ C + 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}.$$

Ищем постоянную C из условия ортогональности $(\bar{x}^0, \bar{x}^1) = 0$. Отсюда

$$C = -\frac{1}{2\sqrt{2}}; \bar{x}^1 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, имеем:

$$S_i = \begin{bmatrix} x_1^0 & x_1^1 \\ x_2^0 & x_2^1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}; S_i^{-1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -2 & 2 \end{bmatrix}. \qquad (28)$$

Найдем решение для уравнения вида:

$$B_i^{k+1} = J_i B_i^k + \delta_{k0} E, \qquad (29)$$

где B_i^k – искомая матрица-решение второго порядка; E – единичная матрица второго порядка.

Аналогично пункту а) запишем три группы уравнений:

$$B_i^{k+1} = J_i B_i^k,\ k \le -1$$
$$B_i^1 = J_i B_i^0 + E,\ k = 0$$
$$B_i^{k+1} = J_i B_i^k,\ k \ge 1$$

Возможны два варианта частного решения.

$B_{1i}^k = 0$ при $k \le 0$ удовлетворяет первой группе уравнений. Из второй группы следует $B_{1i}^1 = E$. Из третьей группы уравнений следует $B_{1i}^2 = J_i \cdot B_{1i}^1 = J_i E,\ B_{1i}^3 = J_i \cdot B_{1i}^2 = J_i^2$, К , $B_{1i}^k = J_i^{k-1}$.

Получаем первый вариант частного решения:

$$B_{1i}^k = \begin{cases} 0, \ при\ k \le 0 \\ J_i^{k-1}, \ \ при\ k \ge 1 \end{cases} \qquad (30)$$

Второй вариант. $B_{2i}^k = 0$ при $k \ge 1$ удовлетворяет третьей группе уравнений. Из второй следует $B_{2i}^0 = -J_i^{-1}$. Из первой группы следует $B_{2i}^{-|k|} = J_i^{-1} \cdot B_{2i}^{-|k|+1}$, отсюда получим (при $k \le -1$)

$$B_{2i}^{-1} = J_i^{-1} \cdot B_{2i}^0 = -J_i^{-2}, \qquad B_{2i}^{-2} = J_i^{-1} \cdot B_{2i}^{-1} = -J_i^{-3}, \text{К} , \quad B_{2i}^{-|k|} = -J_i^{-|k|-1}.$$

Получаем второй вариант частного решения:

$$B_{2i}^k = \begin{cases} -J_i^{k-1}, \ при\ k \le 0 \\ 0, \ \ при\ k \ge 1 \end{cases} \qquad (31)$$

Продолжение следует.

Литература

1. Акимов П.А., Мозгалева М.Л. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные методы локального расчета строительных конструкций. – М.: АСВ, 2013. – 628 с.

© Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М., 2017.

УДК 624.04:539.3

Кайтуков Т.Б.
кандидат технических наук, доцент,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Акимов П.А.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
Российская академия архитектуры и строительных наук, Москва, Россия
Белостоцкий А.М.
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор,
Научно-исследовательский центр СтаДиО, Москва, Россия

О МЕТОДЕ ПРЯМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

ON THE METHOD OF STRAIGHT LINES FOR SOLVING THE STRUCTURAL MECHANICS PROBLEMS

Аннотация. В настоящей статье представлено обзорно-аналитическое исследование метода прямых для решения задач строительной механики. Приводится краткая характеристика этого численно-аналитического метода, анализируются его преимущества и недостатки, указываются исследователи, внесшие значительный вклад в разработку, совершенствование и развитие метода.

Ключевые слова: метод прямых, численно-аналитические методы, краевая задача, расчеты конструкций, метод конечных разностей.

Abstract. The distinctive paper is devoted to overview and analytical study of the method of straight lines of structural analysis. A brief description of this semianalytical method is given, its advantages and disadvantages are analyzed. Besides, scientists are noted that made a significant contribution to the development of the method.

Keywords: method of straight lines, semianalytical methods, boundary problem, structural analysis, finite difference method.

1. Введение. Понятие о численно-аналитических методах

Высокоточные автоматизированные расчеты строительных конструкций в настоящее время связаны, прежде всего, с широким использованием численных методов, прежде всего метода конечных элементов (МКЭ). Исключительно быстрый рост производительности вычислительных систем и бурное развитие вычислительной математики, продолжающиеся все последние десятилетия, предопределили изменение соотношения аналитических, экспериментальных (модельных и натурных) и численных подходов к анализу напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, зданий, сооружений и комплексов. В настоящее время практика диктует необходимость решения сложнейших многомерных задач, что зачастую возможно лишь на основании численных методов. Поиск аналитических решений для большинства задач, напротив, не представляется возможным, а экспериментальные изыскания нередко характеризуются высокой стоимостью и недостаточной полнотой. Вместе с тем, очевидно, что для обеспечения техногенной безопасности строительных объектов математическая теория, исследования аналитическими и экспериментальными методами и численный расчет должны применяться совместно. Следует отметить, что в начале нынешнего столетия появился, тем не менее, существенный потенциал для расширения доли аналитических подходов, связанный, в частности, с разработкой, исследованием и развитие семейства дискретно-континуальных методов (дискретно-континуальный метод конечных элементов, дискретно-континуальный метод граничных элементов и дискретно-континуальный вариационно-разностный метод), описанных, в частности, в [1, 2]. Впрочем заметим, что преимущества сочетания

качественных свойств замкнутых (аналитических) решений и общности численных методов, разумеется, отмечались и раньше (начиная с середины прошлого столетия) многими российскими и зарубежными исследователями, однако многие из соответствующих разработок (метод Л.В. Канторовича, метод В.З. Власова, метод прямых и др. (эта группа методов, следуя терминологии О. Зенкевича, была названа полуаналитические или численно-аналитические методы [3])) были практически не реализуемыми в общем случае в силу того, что не учитывалась сложная вычислительная специфика соответствующих проблем и необходимость адаптации для компьютерной реализации. В настоящей статье рассматривается краткая история и перспективы развития одного из традиционных численно-аналитических методов расчета конструкций – метода прямых.

2. Суть метода прямых

Как известно, метод прямых (или иначе, дифференциально-разностный метод, метод линий, «дискретно-континуальный метод» (так назван в ряде публикаций) [4-6])– это весьма эффективный метод понижения размерности исходных краевых задач.

В данном методе производные по одной из независимых переменных в двумерных задачах и по двум независимым переменным в трехмерных задачах заменяются приближенными разностными выражениями [7]. Использование такой процедуры обеспечивает замену краевой задачи для дифференциальных уравнений в частных производных краевой задачей для обыкновенных дифференциальных уравнений. Иными словами, метод прямых – это классический численно-аналитический метод решения многомерных задач строительной механики

Отметим, что с одной стороны соответствующие разностные соотношения могут быть построены, в частности, с помощью интерполяционных полиномов, но с другой, например, В.Н. Фадеева в работе [6] предложила построение конечно-разностных соотношений с помощью ряда Тейлора, причем получила аппроксимацию производных четвертого порядка точности. В целом, в соответствующих пионерных работах отмечается важная особенность метода прямых – это численно-аналитический метод, когда по одной координате рассматривается континуальное изменение координаты, что существенно повышает точность по сравнению с дискретизацией по всем координатам. Данный подход был предложен еще до появления ЭВМ и эффективных высокоточных алгоритмов решения граничных задач для систем обычных дифференциальных уравнений.

Наиболее значительный недостаток метода прямых заключается именно в предлагаемых методах решения полученной краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений [4]. Дело в том, что соответствующие методы решения являются практически нереализуемыми при достаточно большом числе точек (узлов) разбиения, а при небольшом числе, в свою очередь, очевидно, могут приводить к неудовлетворительным результатам. Важным параметром является также и протяженность рассматриваемой конструкции. Так, например, если она значительна, то становятся неработоспособными те методы, где на каком-либо этапе используются гиперболические функции. Осложняющим фактором на стадии построения решения краевой задачи выступает и наличие жордановых клеток неединичного порядка в жордановом разложении матрицы коэффициентов системы. Разумеется, данное обстоятельство можно преодолеть путем возмущения матрицы, но при этом возникает

проблема адекватного выбора параметров возмущения и, кроме того, теряется аналитический характер получаемого решения.

Исторически, непосредственно к решению статических задач теории упругости (двумерных и трехмерных) метод прямых впервые адаптировал М.Г. Слободянский [8] (подробная библиография приведена в [4]). Помимо традиционных задач математической физики, были рассмотрены плоская задача теории упругости в разных постановках и пространственная задача теории упругости для призматических тел. В качестве исходных автор рассматривает специальные уравнения пространственной задачи, полученные им в другой работе. И в этом случае автор строит общее решение редуцированной системы уравнений аналитически, что позволяет исследовать точность построения решений граничных задач. Для редуцирования исходных уравнений М.Г. Слободянский, как и Л.В. Канторович, использует интерполяцию немного другого вида, которая связывает три соседние прямые. В работах других авторов такой подход называют «скользящей интерполяцией».

В работах Л.П. Винокурова [7,9] (подробная библиография приведена в [4]) был предложен вариант метода прямых для решения трехмерных задач теории упругости. В качестве исходных здесь приняты уравнения трехмерной задачи теории упругости в форме Ламе, построен специальный интерполяционный полином для аппроксимации производных разностными выражениями. Указанный полином используется последовательно для определенной группы прямых, что, как уже отмечалось, называется «скользящей интерполяцией». Редуцированные уравнения построены в декартовой и косоугольной системах координат, а также в цилиндрических и сферических координатах для изотропного и ортотропного материалов в границах теории пластин [7,9]. Для решения редуцированных уравнений

Л.П. Винокуров предложил разработанный им метод последовательных приближений («дискретный метод»), с помощью которого было решено достаточно большое количество задач. Ученики и последователи Л.П. Винокурова распространили разработанный им метод на задачи теории пластин. Были рассмотрены прямоугольные и косоугольные пластины, изотропные и ортотропные, с линейным изменением толщины в одном направлении (здесь, в частности, следует выделить труды Ю.П. Петрова; подробная библиография приведена в [4]). При построении редуцированных уравнений использовалась «скользящая интерполяция», а для решения редуцированных уравнений с переменными коэффициентами – приближенный метод.

Л.Т. Шкелев (подробная библиография приведена в [4]) распространил метод прямых на целый класс задач, связанных с определением НДС пластин произвольной формы в полярных координатах для решения двумерной задачи теории упругости. Для построения редуцированных уравнений здесь непосредственно использовались формулы метода конечных разностей по дискретной координате. Редуцированные уравнения решались точно на основе определения собственных векторов и собственных чисел соответствующих матричных коэффициентов для преобразования связанной системы дифференциальных уравнений в систему несвязанных уравнений. Ученики и последователи Л.Т. Шкелева усовершенствовали и расширили область применения метода на задачи изгиба многосвязных пластин, пластинчатых систем, многослойных пластин, а также составных пластин и оболочек. В монографиях [10,11] было систематизировано развитое таким образом направление метода прямых, приведены главные принципы построения редуцированных уравнений для пространственных пластинчатых

элементов и оболочек, для целого ряда случаев построено общее решение редуцированных уравнений, предложено комбинировать метод прямых с методом Бубнова – Галеркина для решения трехмерных задач теории упругости.

После появления весьма эффективного устойчивого численного метода дискретной ортогонализации С.К. Годунова [12] (более эффективного по сравнению с уже разработанными ранее методами матричной прогонки, стрельбы и т.д.), последний начали интенсивно использовать для решения граничных задач строительной механики для систем обыкновенных дифференциальных уравнений. В частности, для решения задач теории оболочек данный метод впервые использовали Я.М. Григоренко, его ученики и последователи, в том числе в рамках метода прямых и впервые при использовании метода прямых для нахождения динамических характеристик оболочек (подробная библиография приведена в [4]). Использование алгоритма дискретной ортогонализации С.К. Годунова в методе прямых для неканонических областей было предложено в [13].

Развитие метода прямых связано, в частности, с именами следующихспециалистов(подробная библиография приведена в [4]): А.А. Адамов, А.М. Александров [14], А.А. Атавин, Р.Д. Бачелис, Е.Ф. Бежелукова, И.С. Березин, А.М. Блохин, Б.М. Будак, И.В. Буледза, Н.В. Валишвили, Ф.П. Васильев, М.Б. Вахитов, Л.П. Винокуров [7,9], А.И. Волчек, А.Л. Гашко, А.Д. Горбунов, Я.М. Григоренко, К.И. Грицевичюс, Б.П. Демидович, Н.П. Жидков, А.И. Задорин, А.Б. Золотова [2], А.С. Ибрагимова, Н.Н. Калиткин, Л.И. Камынин, М.М. Карчевский, И.Ю. Король, Е.Х. Костюкович, Н.Ю. Красников, Н.Н. Крюков, Н.А. Кудряшов, Г.Б. Кузнецов, С.С. Кучеренко, О.А. Лисковец, В.П. Майза, В.П.

Матвеенко, В.Н. Медведько, В.Г. Меламед, С.Г. Михлин, В.И. Мяченков, Е.А. Одинец [15], А.С. Омуралиев, Е.П. Орлова, А.К. Приварников, В.И. Рыбасов, В.И. Рындюк, А.А. Самарский, М.С. Сафарнев, В.В. Силкин, С.Н. Скляр, М.Г. Слободянский [8], А.Н. Станкевич, Ю.И. Сыцько, В.В. Тарасевич, М.А. Труфанова, Ю.П. Федоров, А.П. Филин, В.И. Халилулин, Л.М. Чеботарева, А.Д. Чернышев, В.Т. Шамин, И.Н. Шардаков, Л.Т. Шкелев [10,11], Д.Б. Шляйфер, R. Donat, D.A. Hartree, A. Marquina, V. Martinez, G. Torres, C. Turner и др.

Литература

1. Акимов П.А., Мозгалева М.Л. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные методы локального расчета строительных конструкций. – М.: АСВ, 2013. – 628 с.

2. Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Мозгалева М.Л. Дискретно-континуальные методы расчета сооружений. – М.: Архитектура-С, 2010. – 336 с.

3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 511 с.

4. Акимов П.А., Кайтуков Т.Б., Мозгалева М.Л., Негрозов О.А., Семин Д.Ф., Харитонов В.А. К вопросу о состоянии и развитии традиционных численно-аналитических методов расчета строительных конструкций. // Вопросы прикладной математики и вычислительной механики. Сб. трудов №20. – М.: АСВ, 2017, с. 70-86.

5. Станкевич А.Н. История и перспективы развития одного из методов решения многомерных задач строительной механики. // Вестник МГСУ, №12, 2015, с. 76-91.

6. Фадеева В.Н. Метод прямых в применении к некоторым краевым задачам. // Труды математического института имени В.А. Стеклова, Том XXVIII, 1949, с. 73-103.

7. Винокуров Л.П. Решение пространственной задачи теории упругости в перемещениях. // Бюллетень Харьковского инженерно-строительного института, №18, 1940.

8. Слободянский М.Г. О приближенном решении линейных задач, сводящихся к вариационным. // Прикладная математика и механика, Том 17, Вып. 5, 1953, с. 623-626.

9. Винокуров Л.П. Прямые методы решения пространственных и контактных задач для массивов и фундаментов. – Харьков: ХГУ, 1956. – 280 с.

10. Шкелев Л.Т., Морсков Ю.А., Романова Т.А., Станкевич А.Н. Метод прямых и его использование при определении напряженного и деформированного состояний пластин и оболочек. – Киев, 2002. – 177 с.

11. Шкелев Л.Т., Станкевич А.Н., Пошивач Д.В., Морсков Ю.А., Карбаков А.Ф. Применение метода прямых для определения напряженного и деформированного состояний пространственных и пластинчатых конструктивных элементов. – К.: КНУСА, 2004. – 136 с.

12. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. // Успехи математических наук, Том 16, Вып. 3(99), 1961, с. 171-174.

13. Корбач В.Г. Алгоритм численного решения многоточечных краевых задач механики деформированного твердого тела. // Прочность конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. / редкол.: Львов М.П. и др. Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990, с. 88-95.

14. Александров А.М. Расчет пологих оболочек вращения методом прямых. // Строительная механика и расчет сооружений, №1, 1968, с. 11-14.

15. Одинец Е.А. Определение напряженного и деформированного состояния многослойных пластин методом прямых. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.03 – «Строительная механика». – Киев, 1988. – 177 с.

© Кайтуков Т.Б., Акимов П.А., Белостоцкий А.М., 2017

УДК 69.002.8-868

Каледа В.Н.
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия
Каледа И.А.
Пензенский казачий институт технологий (филиал) ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Пенза, Россия
Туманова Н.Н
Филиал ЧОУ ВО «Московский университет им. С.Ю. Витте», г. Пенза, Россия

МЕТОДИКА РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИФИЦИРОВАННЫХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

METHOD FOR CALCULATING THE RELIABILITY OF VIBRATION ISOLATION WHEN USING UNIFIED COMPRESSION SPRINGS

Аннотация.Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме виброизоляции. Изложены основы теории и методика расчёта надёжности виброизоляции с использованием унифицированных пружин сжатия. Для ускорения подбора пружин приведена вспомогательная таблица зависимости жёсткости одного витка в функции наружного диаметра пружины и диаметра проволоки. Показана связь предлагаемой методики расчёта с одной из ранее принятых и наиболее распространённых.

Ключевые слова: виброизоляция, расчёт надежности виброизоляции, унифицированные пружины сжатия,жёсткость пружины.

Abstract: The article is devoted today to the issue of vibration isolation. The foundations of the theory and methodology of reliability calculation of vibration using the unified compression springs. To accelerate the selection of springs is given auxiliary table according to hardness one revolution in the function of the outer spring diameter and wire diameter. Shows the relationship of the proposed method of calculation with one of the previously received, and the most common.

Keywords: vibration, the calculating the reliability of vibration control, unified compression springs, the spring stiffness.

На предприятиях стройиндустрии в технологических процессах используются различные вибрационные машины: вибромельницы, виброгрохоты, вибросмесители, виброплощадки и другие машины. Длянормальной работы обслуживающего персонала необходима надёжная виброизоляция таких машин с учётом экономически целесообразных размеров фундамента.

Условие надёжности виброизоляции определяется неравенством [1]:

$$\alpha_{\min} \le \alpha \le \alpha_{\max}, \qquad (1)$$

где α – коэффициент, определяемый отношением,

$$\alpha = \omega / \omega_C,$$

здесь ω – частота вынужденных колебаний, с$^{-1}$; ω_C – частота собственных колебаний, с$^{-1}$.

Для виброплощадок, при экономически целесообразных размерах, значение α рекомендуется принимать в интервале $7 \le \alpha \le 10$ [1], для виброгрохотов– $\alpha > 4$ [2], а в некоторых случаях $\alpha > 5$ [3].

Коэффициент α определяется по формуле:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{G_П}{C_1 \cdot z \cdot 10^3}}, \qquad (2)$$

где $G_П$ – полная приведённая масса колеблющихся частей, кг; C_1 – жёсткость одной пружины, Н/мм; z – число опорных пружин, штук.

Формулу (2) можно получить методами теоретической механики [4], приняв за расчётную схему консольную балку (рис. 1).

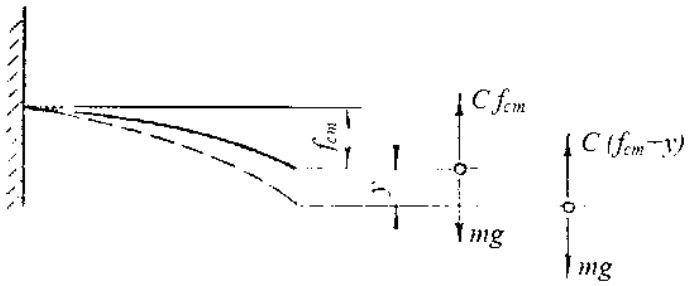


Рис. 1. Расчётная схема консольной балки (пружины)

Уравнение равновесия груза, находящегося в покое, имеет вид:

$$-C \cdot f_{cm} + m \cdot g = 0, \qquad (3)$$

где C – жёсткость балки (пружины), Н/мм; f_{cm} – статический прогиб балки, мм; m – масса груза, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Если в какое-то мгновение груз m выведен из состояния равновесия, то уравнение движения будет иметь вид:

$$-C \cdot (f_{cm} + y) + m \cdot g = m \cdot \ddot{y}.$$

Откуда

$$m \cdot \ddot{y} + C \cdot y = 0,$$

где y – дополнительный прогиб балки от положения равновесия, мм.

Отношение C/m обозначают обычно через p^2, мы же в соответствии с принятыми в данных расчётах обозначениях, примем ω_0^2,

$$\omega_C^2 = C/m$$

Тогда уравнение движения можно записать в виде

$$\ddot{y} + \omega_C^2 \cdot y = 0. \qquad (4)$$

Интегрированием уравнение (4) получим

$$y = C_1 \cdot \sin \omega_C t + C_2 \cos \omega_C t,$$

или

$$y = A \cdot \sin(\omega_C t + \beta). \qquad (5)$$

Из решения уравнения (5) видно, что повторение процесса начинается после того, как аргумент $(\omega_C t + \beta)$ увеличивается на 2π.

Отсюда период собственных колебаний

$$T = 2\pi / \omega_C \ ,$$

частота колебаний

$$n = 1/T = \omega_C / 2\pi \ .$$

Следовательно, $\omega_C = 2\pi \cdot n$ – так называемая круговая (угловая) частота. Она и входит в уравнение (4), хорошо известное не только из теоретической механики, но и из курса физики.

И так, $\omega_C^2 = C/m$. Для надёжной виброизоляции необходимо, чтобы круговая частота вынужденных колебаний ω_B была больше частоты собственных колебаний ω_C. Обозначим $\omega_B / \omega_C = \alpha$, тогда

$$\omega_C = \omega_B / \alpha \text{ и } (\omega_B / \alpha)^2 = c/m \ .$$

Откуда

$$C = (\omega_B / \alpha)^2 m. \qquad (6)$$

Формулу (2) можно получить из зависимости (6), решая её относительно коэффициента α. Введём также в знаменатель множитель 10^3, чтобы жёсткость c измерялась в Н/мм. Тогда зависимость для определения C, Н/мм,будет иметь вид:

$$C = \left(\frac{\omega_B}{\alpha}\right)^2 \cdot \frac{m}{10^3}.$$

Проверим размерность C, Н/мм,

$$[C] = (\frac{1}{с})^2 \cdot кг \cdot \frac{м}{мм} = \frac{кг \cdot м}{мм \cdot с^2} = \frac{Н}{мм}\ .$$

Для вибромельниц, виброгрохотов, вибросмесителей полная приведённая масса колеблющихся частей,

$$G_П = G_K + k \cdot G_M\,, \qquad (7)$$

где G_K – масса колеблющихся частей машины, кг; G_M – масса материала в барабане (на ситах) машины, кг; k – коэффициент приведения, учитывающий, что часть материала под действием вибрации находится во взвешенномсостоянии, для вибромельниц, виброгрохотов и вибросмесителей его принимают k = 0,2 ... 0,30 [2, С. 314]; для виброплощадок– k = 0,25 ... 0,40 [1, С. 231].

Для виброплощадок полная приведённая масса колеблющихся частей

$$G_П = G_K + G_Ф + k \cdot G_Б\,, \qquad (8)$$

где $G_Ф$ – масса формы, установленной на виброплощадку, кг; $G_Б$ – масса бетонной смеси в форме, кг

При расчёте пружин некоторые авторы принимают коэффициент k = 1, т.е. берут условия, соответствующие началу или концу работы вибромашины. Для виброплощадок это неприемлемо, т.к. масса бетона даже с учётом коэффициента k сравнима с полной колеблющейся массой машины.

По существующим методикам расчёта надежности виброизоляции жёсткость одного витка пружины $C^I = C_1 n$ (где n – число витков пружины) не используется. Это затрудняет подбор нужной пружины по заданной величине α, приводя его к ненаправленному перебору большого числа вариантов. Мы это неудобство постарались устранить [5], составив таблицу (таб. 1), для практически целесообразного интервала диаметров (d – внутреннего и D – наружного) унифицированных пружин сжатия.

Таблица 1

Винтовые цилиндрические пружины сжатия, 1 класса, разряда 4 [1, табл. 20]

Наружный диаметр пружины D, мм	Диаметр проволоки d, мм						
	16	18	20	22	25	28	32
	Жесткость одного витка пружины – $C^I = (P_2 / F_2) \cdot n$, Н/мм						
100	1086	1866	3066	–	–	–	–
110	775	1326	2154	3381	–	–	–
120	571	972	1570	2448	–	–	–
130	434	732	1180	1824	3312	–	–
140	337	567	908	1399	2526	4290	–
150	268	447	714	1096	1960	3324	–
160	216	362	576	874	1558	2626	4908
170	177	295	466	714	1257	2107	3923

Порядок подбора пружин с использованием этой таблицы и справочного издания [7] поясним примером расчёта.

Пример. Самобалансный виброгрохот СМД-53, как видно из чертежа [6, стр. 62] , имеет четыре цилиндрические пружины сжатия z = 4 с размерами (с чертежа)– D = 160 мм и d = 20 мм; рабочих витков n = 8. По справочнику [7, С. 145] находим пружину № 3454 с параметрами D = 160 мм, d = 20 мм и t = 35, 19 мм, для которой при числе рабочих витков n = 8 и при числе полных витков n_1 = 9,5 осадка пружины в рабочем состоянии F_2 = 91,1 мм при рабочей расчётной нагрузке P_2 = 6513 Н.

Определяем жёсткость одной пружины,

$$C_1 = P_2 / F_2 = 6513 : 91{,}1 = 71{,}4 \text{ Н/мм}.$$

Принимаем массу колеблющихся частей,

$$G_K = 0{,}9 G_{общ} = 0{,}9 \cdot 2092 = 880 \text{ кг},$$

где $G_{общ}$ – полная масса грохота, $G_{общ}$ = 2092 кг.

Масса материала на сите грохота,

$$G_M = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma = 1 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}1 \cdot 1700 = 420 \text{ кг},$$

где B – ширина просеивающей поверхности, B = 1 м; L – длина просеивающей поверхности, L = 2,5 м; h – средняя высотазагрузки короба материалом, h = 0,1 м; γ – объёмная масса загружаемого материала, γ = 1700 кг/м^3.

Полная приведённая масса колеблющихся частей,

$$G_П = G_K + k \cdot G_M = 1880 + 0{,}3 \cdot 420 = 2000 \text{ кг},$$

Угловая скорость вращения эксцентрикового вала,

$$\omega = (\pi \cdot n) / 30 = (3{,}14 \cdot 740) / 30 = 77{,}4 \text{ с}^{-1}$$

Коэффициент α для одной пружины,

$$\alpha = \omega \cdot (G_П / (z \cdot C_1 \cdot 10^3))^{0{,}5} = 77{,}4 \cdot (2000 / (4 \cdot 71{,}4 \cdot 10^3))^{0{,}5} = 6{,}45 > 4 \text{ [2]}$$

И так, условие надёжности виброизоляции грохота выполнено.

Если, желательно иметь величину α более близкую к α = 4, то поступаем следующим образом.

Найдём требуемую расчётную жесткость пружины C_1, используя формулу (2) и принимаем α, например, $\alpha = 4$, 1 > 4.

Тогда

$$C_1 \leq (\omega / \alpha)^2 \cdot (G_П / (z \cdot 10^3)) = (77{,}4 / (4.1)^2 \cdot (2000 / (4 \cdot 10^3)) = 178 \text{ Н/мм}$$

Жесткость одного витка пружины

$$C^1 = C_1 \cdot z = 178 \cdot 8 = 1424 \text{ Н/мм}$$

Из составленной нами табл. 1 $C^1 = f(d, D)$ находим, что ближайшее меньшее равно $C^1 = 1399$ Н/мм для пружины с $d = 22$ мм и $D = 140$ мм. Используя табл. 20 справочника [7, С. 153] среди пружин 1 класса 4 разряда (они имеют не менее $2 \cdot 10^6$ циклов разрушения [7. С. 7]) находим пружину № 3818, которая имеет: $d = 22$ мм; $D = 140$ мм; $n = 8$; $n_1 = 9{,}5$; $t = 31{,}31$ мм; $P_2 = 9760$ Н; $F_2 = 55{,}8$ мм, т.е. $C_1 = 9760 : 55{,}8 = 175$ Н/мм и $C^1 = 175 \cdot 8 = 1400$ Н/мм.

При этом

$$\alpha = 77{,}4 \cdot (2000 / (4 \cdot 175 \cdot 10^3))^{0{,}5} = 4{,}14 > 4$$

Таким образом виброизоляция грохота обеспечена и в этом случае.

По массе пружины № 3454 [7, С. 145] и № 3818 [7, С. 153] отличаются незначительно (табл. 2).

Таблица 2

Жёсткость и масса пружины сжатия

Номер пружины	3454	3818
Жесткость пружины C_1, Н/мм	71,4	175
Масса пружин M, кг	10,495	10,704

С точки зрения лучшей виброизоляции целесообразно использовать более мягкую пружину № 3454, у которой $C_1 = 71{,}4$ Н/мм (пружина № 3818 имеет $C_1 = 175$ Н/мм).

Предлагаемая методика расчёта надёжности виброизоляции вибрационных машин с использованием унифицированных пружин сжатия, а также выбора параметров универсальных пружин сжатия даёт возможность выполнить этот расчёт и выбор пружин достаточно целенаправленно и с минимальными затратами времени.

Литература

1. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. Справочник. / Колл. авторов под ред. В.А. Баумана и др. М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.

2. Бауман, В. А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учебник для вузов / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В. Д. Мартынов, 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.

3. Езерский А.В., Кулик Б.Ф. Механическое оборудование заводов сборного железобетона: Учебное пособие. Минск: Высшая школа, 1977. 240 с.

4. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. М.: Машиностроение, 1967.– 316 с.

5. Каледа В.Н., Звижинский А.И., Каледа И.А. Методика расчёта виброизоляции с использованием унифицированных пружин сжатия // Вестник научных конференций. 2016. № 3-7(7). Наука и образование в жизни современного общества: по материалам международной научно-практической конференции 31 марта 2016 г. Часть 7. Тамбов:ООО «Консалтинговая компания Юком», 2016. С. 61-64. http://ucom.ru/doc/cn.2016.03.07.pdf (дата обращения: 06.12.2017).

6. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов: Атлас конструкций. М.: Машиностроение, 1978. – 112 с.

7. Унифицированные пружины сжатия: Справочное издание /

Прохоренко Н.Я., Гавриленко И.Г., Ильин А.Д., Томашев Л.А. М.: Металлургия, 1982.– 648 с.

© Каледа В.Н., Каледа И.А., Туманова Н.Н., 2017

УДК 666.97.033.16

Каледа В.Н.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»,

г. Пенза, Россия

Каледа И.А.

Пензенский казачий институт технологий (филиал)

ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Пенза, Россия

Туманова Н.Н

Филиал ЧОУ ВО «Московский университет им. С.Ю. Витте»,

г. Пенза, Россия

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ ЖЁСТКИХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПРИГРУЗОМ

EQUIPMENT FOR VIBRATION COMPACTING OF HARSH CONCRETE MIXES UNDER LOAD

Аннотация. Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме. качественного уплотнения жёстких бетонных смесей. Приведены описание устройства и принципа работы и результаты сравнительных испытаний оборудования для виброуплотнения жёстких бетонных смесей с пригрузом.

Ключевые слова: жесткие бетонные смеси, виброуплотнение,

пригруз. качество и эффективность уплотнения.

Abstract. The article is devoted to a topical problem of today. quality seal hard concrete. The description of the device and principle of work and the results of comparative testing of equipment for vibration compaction of the hard concrete mixtures with earth pressure balance machines.

Keywords: hard concrete mix, vibrating packing, prigruz. the quality and effectiveness of the seal.

При виброуплотнении бетонных смесей наибольшее распространение получили различные виды виброполощадок. Однако виброполощадки имеют ряд недостатков: невысока надёжность в работе, высокий уровень шума, высокая энергоёмкость, невозможность уплотнения жёстких смесей, низкое качество уплотнения.Поэтому часто при формовании жестких и особо жестких смесей в дополнение к виброплощадке используют пригруз или вибропригруз. Вибрирование изделий на виброплощадках с пригрузом повышает эффективность уплотнения смеси, примерно вдвое сокращает продолжительность уплотнения, обеспечивает получение гладкой поверхности

Для повышения качества уплотнения жёстких бетонных смесей предлагается новое виброуплотняющее оборудования с пригрузочной плитой [1].

Принципиальная схема оборудования (рис. 1) включает в себя подвижную раму 1 с возбудителем вертикально направленных колебаний 2, установленную на упругих опорах 3. На подвижной раме 1 крепится форма 4 с предварительно уплотнённой вибрированием смесью 5. На смесь опущена пригрузочная плита 6, с которой жёстко связаны цапфы 7. На фундаментном основании жёстко закреплены стойки 8, на которых

посредством шарниров 9 и тяг 10 установлены тормозные колодки 11 с пружинами 12.

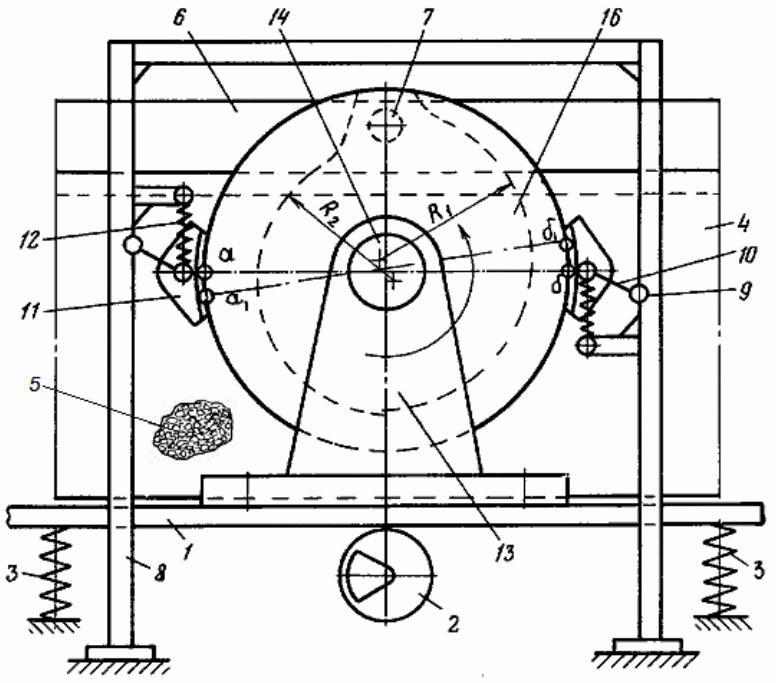


Рис. 1 Принципиальная схема бетоноуплотняющего оборудования

На подвижной раме 1 посредством кронштейнов 13 смонтированы на осях 14 в подшипниках качения 15 поворотные диски 16 со спиральными направляющими 17, с которыми контактируют цапфы 7 пригрузочной плиты 6.

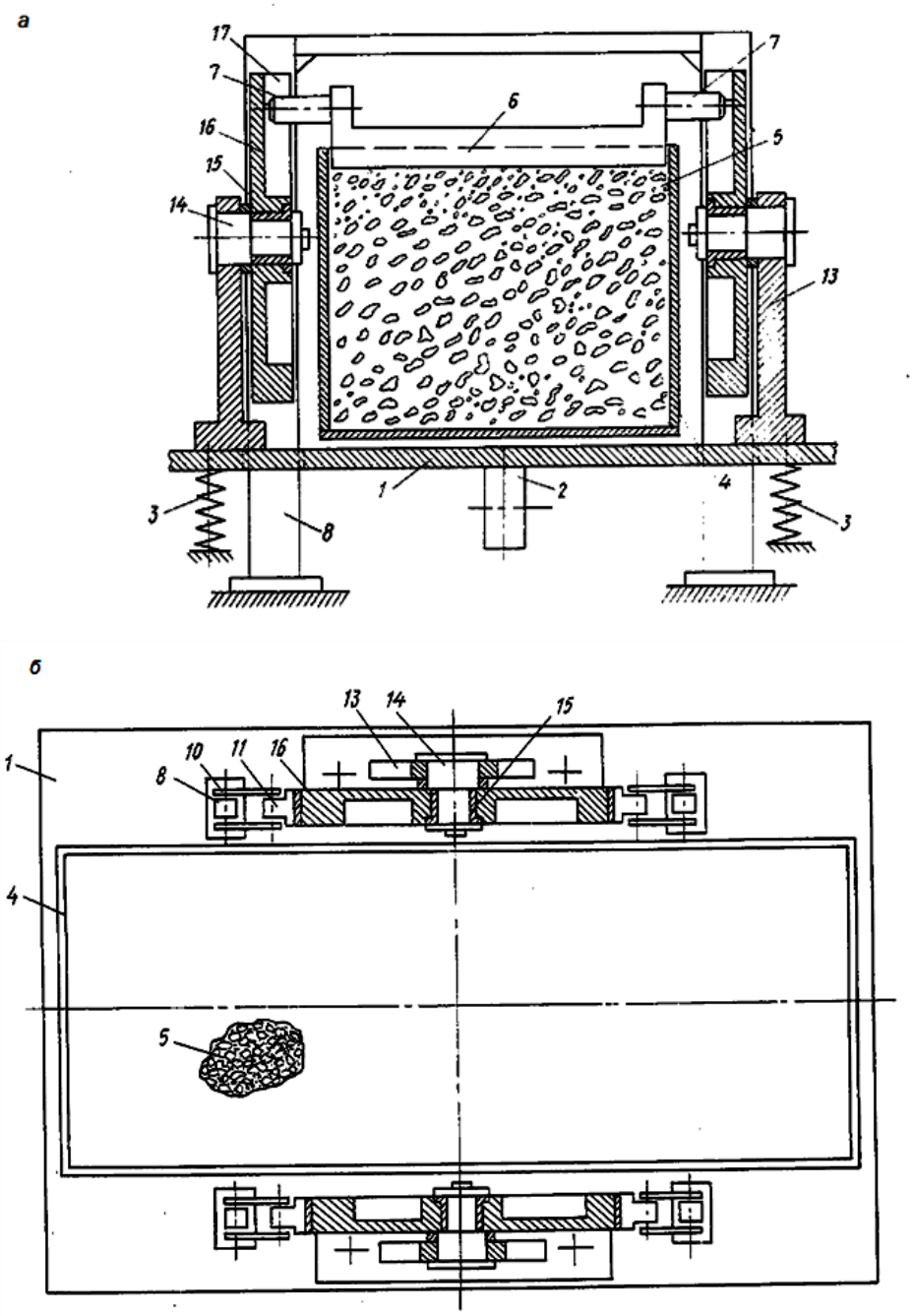


Рис. 2. Принципиальная схема бетоноуплотняющего оборудования:
а – вид с боку; *б* – вид в плане

Бетоноуплотняющее оборудование работает следующим образом. На подвижную раму 1 устанавливают и закрепляют форму 4, заполненную предварительно уплотнённой вибрированием смесью 5. На поверхность смеси опускают пригрузочную плиту 6 с жёстко закреплёнными на ней

цапфами 7 (рис. 2), которые при этом попадают в разрыв спиральных направляющих 17 поворотных дисков 16.

При смещении поворотного диска 16, например вниз его левая часть из положения *а* перемещается в положение $а_1$, при этом левая тормозная колодка этому перемещению не препятствует, а диаметрально противоположная точке *а* точка *б* боковой образующей удерживается от перемещения вниз правой тормозной колодкой 11. При этом возмущающая сила, действующая на ось 14, создаёт момент поворота диска 16 против часовой стрелки относительно точки *б*.

Таким образом, вертикальные возвратно-поступательные перемещения (колебания) поворотных дисков 16 вместе с подвижной рамой 1 вызывают последовательные повороты на небольшой угол точек *а* и *б* боковой образующей поверхности диска вокруг оси 14. Это приводит к повороту диска по стрелке (рис. 1) и захвату цапфы 7 спиральным выступом этого диска.

Диаметр поворотного диска и величина начального R_1 и конечного R_2 радиусов спирального выступа рассчитаны так, что к концу процесса уплотнения спиральный выступ через цапфы 7 прижимает пригрузочную плиту 6 к поверхности бетонной смеси 5 и создавая необходимое удельное давление. Поворотный диск при этом сделав один полный оборот, освобождает цапфу, что позволяет поднять пригрузочную плиту и снять форму с готовым изделием

Для определения работоспособности нового оборудования и качества уплотнения в сравнении с виброуплотняющими устройствами с инерционным пригрузом были проведены испытания. Параметры, сравниваемых типов бетоноуплотняющего оборудования, характеристика бетонной смеси и результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра	Оборудование для уплотнения бетонных смесей	
		с инерционным пригрузом	новое
1.	Частота колебаний вибровозбудителя, Гц ….	46,67	46,67
2.	Амплитуда колебаний вибровозбудителя, мм	0,35	0,35
3.	Масса пригрузочной плиты, кг ……..	7	7
4.	Размеры поворотного диска, мм: – диаметр …..…… – начальный радиус спирального выступа … – конечный радиус спирального выступа …..	 — — —	 160 132 120
5.	Бетонная смесь: – марка цемента …… – модуль крупности песка ……..…….. – состав (цемент : песок) …….. – водоцементное отношение ….…….. – жёсткость, с ……	 М 32,5 $М_{кр}$ = 1,57 1 : 3 0,4 20	 М 32,5 $М_{кр}$ = 1,57 1 : 3 0,4 20
6.	Размеры формуемого изделия, мм: – длина……..…… – ширина……...…… – высота……..……..	 300 100 100	 300 100 100
7.	Время уплотнения одного изделия, с …….	60	90
8.	Внешний вид отформованного изделия	имелись трещины на лицевой поверхности	хорошее качество лицевой поверхности
9.	Плотность бетона, кг/м^3 …….	1950	2200
10.	Прочность бетона на сжатие, МПа …….	2,10	2,80

Результаты проведённых сравнительных испытаний позволили сделать следующие выводы:

1. Оборудование для уплотнения бетонных смесей работоспособно и высокоэффективно при доуплотнении бетонных жёстких смесей после вибрирования.

2. Качество отформованных изделий на новом оборудовании одинаково высокое по всей длине и высоте изделия.

3. Поверхность отформованных изделий по всей длине горизонтальная (параллельная верхней поверхности подвижной рамы), хорошего товарного вида, без видимых разрывов, трещин.

4. Предлагаемое оборудование для уплотнения бетонных жёстких смесей отличаются простой конструкцией и высокой надёжностью в работе.

5. При реализации предлагаемого устройства в производственных условиях оно может легко стать составным элементом существующих технологических линий предприятий стройиндустрии на завершающем этапе формования бетонных и железобетонных изделий.

6. В качестве базы для предлагаемого устройства для уплотнения жёстких бетонных смесей можно использовать серийно выпускаемые вибростолы и виброплощадки с вибровозбудителями вертикально-направленных колебаний, которые в случае производственной необходимости могут быть легко размонтированы и возвращены к первозданному виду.

Литература

1. А.с. 1268419СССР, МКИ^3 Е 04 В 1/98. Е 04 Н 9/02. Устройство для уплотнения строительных смесей / Н.В. Михайлов, В.Н Каледа (СССР). – № 3869550/29-33; Заявлено 19.03.85; Опубл. 07.11.86.Бюл.№41.

© Каледа В.Н., Каледа И.А., Туманова Н.Н., 2017

УДК 69.05

Коблова Е.А.
студентка 3 курса
Балаковского инженерно-технологического института
(филиал НИЯУ МИФИ)

Научный руководитель: ***Гарибов Р.Б.***
доктор технических наук,
профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительства"
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

QUALITYCONTROLOFBUILDINGSTRUCTURES

Аннотация. В статье рассматриваются виды контроля и испытаний строительных конструкций; организация контроля качества на заводах изготовителях строительных конструкций; организация контроля качества строительно – монтажных работ для возможности определения готовности сдачи объекта в эксплуатацию; использование в строительном производстве прогрессивных материалов, конструкций и техпроцессов.

Ключевые слова: контроль качества, качество, испытания, надежность, долговечность, безопасность, организация контроля, строительные технологии, технологические процессы.

1. Виды контроля

Объектом контроля может являться продукция или технологический процесс. На всех стадиях проектирования, изготовления, производства работ и эксплуатации, транспортировки и хранении строительных материалов требуется контроль качества, подразделяемый на *входной, операционный и приемочный.*

Входной контроль – контроль продукции, поступившейот поставщика к потребителю и предназначенный для использования по назначению (объекты контроля: полуфабрикаты, готовые изделия, проектная документация).

Операционный контроль объединен с контролем продукции или технологическим производством при выполнении или завершении определенных операций.

Приемочный контроль – контроль готовой продукции, с принятием решения о ее поставке или использовании, о вводе объекта в действие.

Контроль бывает сплошным или выборочным. Существует два основных метода контроля – неразрушающий и разрушающий, который связан только с выборочным контролем.

По степени использования средств контроля существуют следующие его виды:

1. Измерительный контроль – проводится с обязательным применением измерительныхсредств;

2. Регистрационный контроль связан с регистрацией изучаемых качественных признаков изделий.

3. Органолептический контроль – воспринимается качественно только при помощи органов чувств, а также при использованииприборов,позволяющих повысить восприимчивость органов чувств;

4. Визуальный контроль – контроль, осуществляемый только зрительными органами;

5. Технический контроль – осмотр, который в основном осуществляется посредством органов чувств и при необходимости достаточно простыми средствами контроля.

Технический контроль требует ознакомление с проектной и исполнительной документацией.

Существуют несколько видов контрольных испытаний продукции:

– предварительные испытания, производимые на опытных образцах продукции;

– приемочные испытания – контроль опытных образцов, которые проводятся для принятия решения постановки продукции на производство или передачи её в эксплуатацию;

– приемо-сдачные испытания – контроль испытанной готовой продукции, проводимый при приемочном контроле. Такие испытания, как правило,проводит изготовитель продукции.

– периодические испытания проводят в сроки, установленные технической документацией;

– типовые испытания проводятся после внесения изменений в конструкции и оценки их целесообразности;

– аттестационные испытания проводят для оценки качества выпускаемой продукции при её аттестации.

Контрольные испытания осуществляютуполномоченные (государственные, межведомственные и ведомственные) органы.

Большое внимание уделяется автоматизацииконтроля. Для этого применяются микропроцессорная техника и автоматизированные устройства.

В последнее десятилетие развиваются статистические методы контроля качества, для чего используются математический аппарат статистики, который включает в себя дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ и методы математического эксперимента.

Главная задача обследования и испытания конструкций, зданий и сооружений – выявление их действительного состояния и прогнозирование возможности их дальнейшей эксплуатации. *Для этого производится оценка надежности систем.*

Надежность – комплексное свойство, включающее в себя следующие простые свойства: безотказность, долговечность, устойчивоспособность, ремонтопригодность и безопасность.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или всего срока действия.

Долговечность -свойство зданий и сооружений сохранить работоспособность до наступления критического состояния при утвержденной системе технического обслуживания и ремонтов.

Устойчивоспособность – свойство системы непрерывно сохранять устойчивость к возмущениям (работоспособность) в течение заданного времени или заданной наработки без повреждения объекта, переходить от одного устойчивого режима к другому при различных возмущениях.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающиеся в приспособленности к предупреждению и выявлению причин возникновения отказов, повреждений и исключению их последствий выполнением ремонтов и технического обслуживания.

Безопасность – свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для окружающих.

Труды ученых В.В. Болотина, А.Р. Ржаницына, С.А. Тимашева, Добромыслов способствовали развитию теории надежности и их применению в строительстве. Для практического внедрения этихметодов необходимы сведения об отказах в конструкциях, зданиях, которые могут быть получены в результате широкого анализа отказов различного характера при использовании четкого, единообразного подхода.

2. Организация контроля качества на заводах изготовителях строительных конструкций.

Контроль качества железобетонных и металлических конструкций (ЖБК и МК) осуществляется отделом технического контроля (ОТК) и руководителем производственных подразделений. Схемы организации контроля качества на заводах изготовителях представлены на рис.1. и рис.2.

Рис. 1 Схема организации на заводах-изготовителях железобетонных конструкций

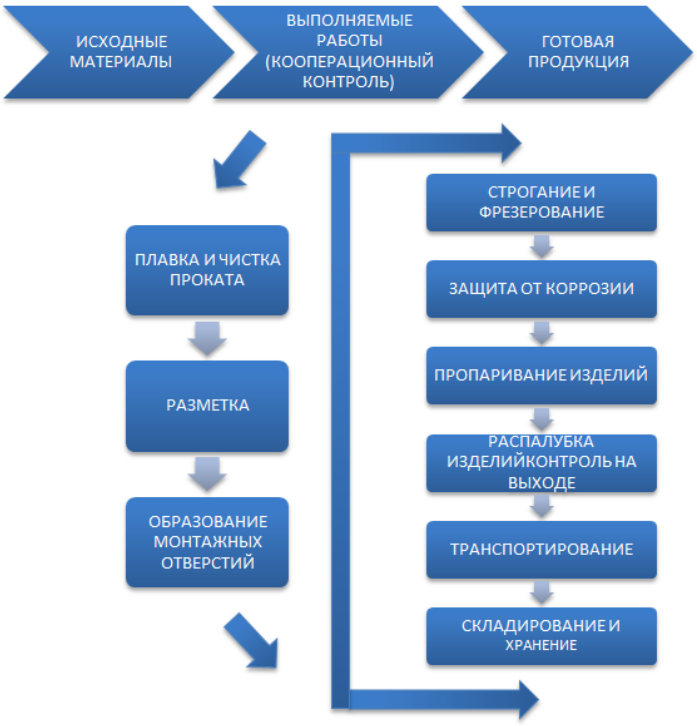


Рис. 2 Схема организации технического контроля качества на заводах металлических конструкций

3. Организация контроля качества строительно – монтажных работ

Промежуточная сдача – контроль качества скрытых работ, которые не могут быть проверены на последующих этапах. Промежуточной сдаче – приемке подлежат:

- до обратной засыпки котлованов - фундаменты ;
- перед бетонированием - стыковка и установка арматуры;
- стыки до замоналичивания;
- сварка закладных деталей и выпусков арматуры;
- защита металлических деталей от коррозии;
- заделка и герметизация стыков и швов;
- опоры и места опирания конструкций;
- монтажные стыки МК;

– поверхности стыков элементов в узлах, соединяемых высокопрочными болтами.

Государственная приемочная комиссия обязана проверить и определить соответствие объекта утвержденной проектной документации, готовность проекта к сдаче в эксплуатацию и соответствие стоимости строительства утвержденными сметами.

4. Использование в строительном производстве прогрессивных материалов, конструкций и техпроцессов

Сделан огромный рывок вперед в развитии современных строительных материалов. На сегодняшний день современные строительные технологии могут создавать эстетически приятные материалы, наделяя их превосходными механическими свойствами и увеличивая при этом срок службы. «Умные» материалы, определены как материалы, способные изменять свои свойства в ответ на внешние условия.

Прогрессивные технологические процессы расширяют возможности автоматизации выполняемых работ, повышают их качество, оптимизируют и стабилизируют параметры техпроцесса, уменьшают расход ресурсов, приводят к экологической и экономической эффективности. Строительные технологииспособны справляться сразличными задачами: повышение энергоэффективности промышленных и гражданских зданий, уменьшение себестоимостистроительства и других расходов в ходе эксплуатации. Кроме того,современныестроительные технологии могут стать основой длястроительства«умных домов».

Использование в строительном производстве прогрессивных материалов, конструкций и технологических процессов существенно

улучшит качество жизни и комфорт для людей, откроет захватывающие перспективы для будущего в строительстве зданий и сооружений.

Литература

1. Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология производства неметаллических строительных изделий и конструкций М.: ИНФРА -М, 2005. – 443 с.

2. Коноплев С. П. Управление качеством: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 351400 «Прикладная информатика (по областям)» и другим междисциплинарным специальностям Москва, 2009

3. Ноздренко Г. В., Томилов В. Г., Григорьева О. К.; М-во образования и науки Российской Федерации, Новосибирский гос. технический ун-т, [Фак. энергетики] Надежность ТЭС: учебное пособие Новосибирск, 2009.

4. Тимошенков С. П. Основы теории надежности: учебник и практикум для академического бакалавриата / С. П. Тимошенков, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 445 с.

5. Юрков Н.К. Технология радиоэлектронных средств: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 210201 «Проектирование и технология РЭС» / Н.К. Юрков; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш.. проф. образования «Пензенский гос. ун-т» (ПГУ) 2012. – 636 с.

© Коблова Е.А., 2017

УДК539.3

Кормилицин А.И.
Российский университет транспорта,
Московский политехнический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ АВАРИЙНОМ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ (ВЫБРОСЕ) НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ МУСАЕВА В.К.

MODELING OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN CASE OF EMERGENCY IMPACT (RELEASE) OF OIL USING A MUSAEV V.K SET OF PROGRAMS

Аннотация. Для прогноза безопасности уникальных объектов, находящихся в водной, нефтяной и твердой деформируемой среде, при волновых воздействиях применяется численное моделирование. Рассмотрена задача о моделировании ударного воздействия (выбросе) нефти в водную, нефтяную и деформируемую среды.

Ключевые слова: водная среда, нефтяная среда, деформируемая среда, выброс нефти, безопасность окружающей среды, численный метод Мусаева В.К., алгоритм, комплекс программ.

Abstract. To predict the safety of unique objects in the water, oil and deformable environment by wave action applied numerical modeling. The problem of modeling impact (disposal) of oil in water, oil and deformable medium.

Key words: water medium, oil medium, deformable medium, the release oil, the safety of the environment, a numerical method Musayev V.K., algorithm, complex programs.

Рассмотрено математическое моделирование технических объектов, находящихся в водной, нефтяной и твердой деформируемой среде, при

волновых воздействиях применяется численное моделирование. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для решения линейных двумерных плоских задач, которые позволяют решатьсложные задачи при волновых воздействиях на сооружения.

Некоторая информация о моделировании нестационарных волн напряжений в деформируемых телах сложной формы при нестационарных ударных волновых воздействиях приведена в следующих работах [1–20].

Рассмотрим задачу об ударном аварийном выбросе нефти (рис. 2) в сложной системе, которая состоит из разных деформируемых сред (водной, нефтяной и твердой), а так же из твердого деформируемого саркофага (соотношение высоты к ширине один к семи) (рис. 1).

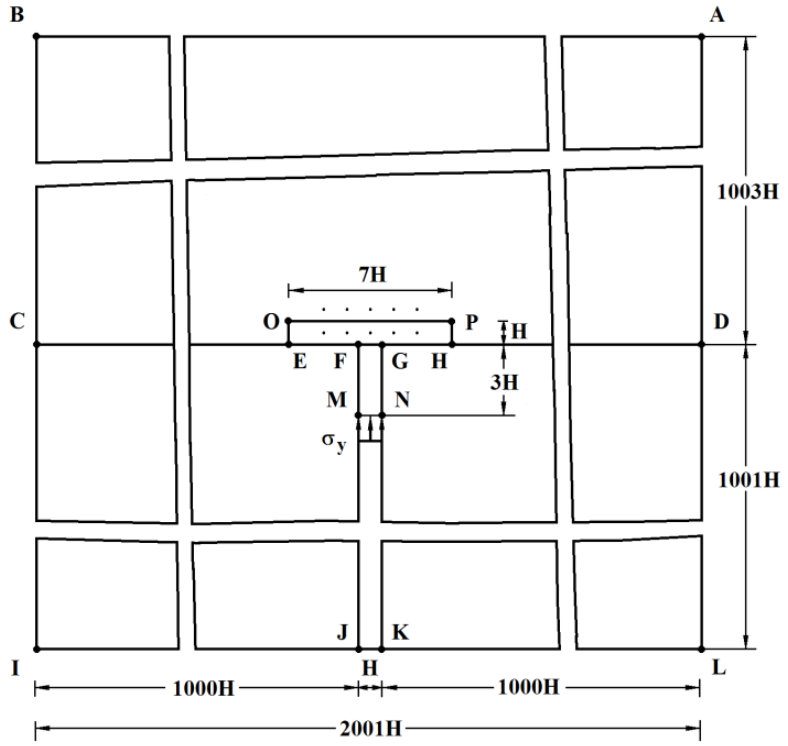


Рис. 1. Постановка задачи об ударном аварийном выбросе нефти в сложной деформируемой системе с саркофагом

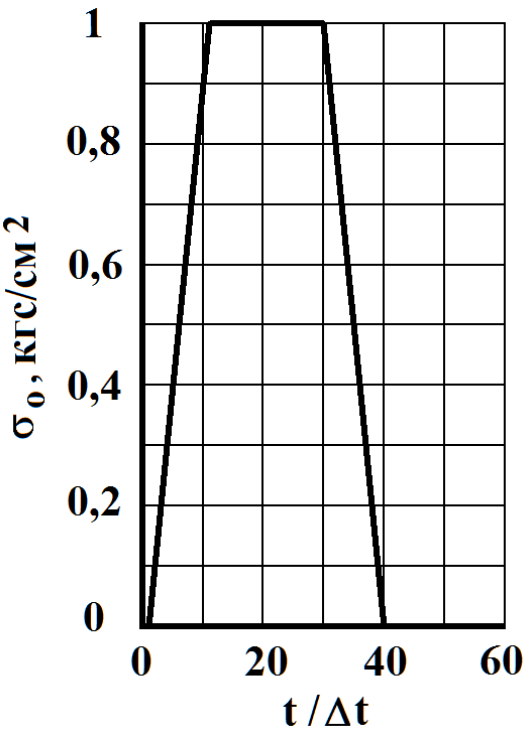


Рис. 2. Ударное воздействие для задачи об аварийном выбросе нефти

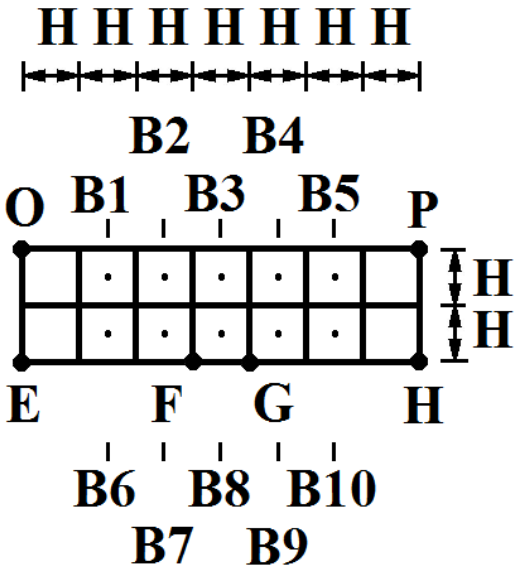


Рис. 3. Точки B1 - B10 , в которых получены упругие напряжения во времени

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие

единицы измерения были приняты следующие допущения: 1 кгс/см^2 ≈ 0,098 МПа; 1 кгс с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

На контуре MN приложено воздействие σ_y (рис. 1), которое при $0 \le n \le 11$ $(n = t/\Delta t)$ изменяется линейно от 0 до P, при $11 \le n \le 30$ равно P и при $30 \le n \le 40$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, σ_0 = 0,098 МПа (1 кгс/см^2)). Принято следующее допущение: 1 кгс/см^2 ≈ 0,098 МПа. Граничные условия для контура ABCILD при $t > 0$ u = v = u& = v& = 0. Отраженные волны от контура ABCILD не доходят до исследуемых точек при $0 \le n \le 500$.

Для твердой деформируемой среды FECIJM, DHGNKL и POEFGH приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t$ = 1,393·10^{-6} с; E = 3,09·10 ^{4} МПа (3,15·10 ^{5} кгс/см^2); ν = 0,2; ρ = 0,25·10^4 кг/м^3 (0,255·10^{-5} кгс с^2/см^4); C_p = 3587 м/с; C_s = 2269 м/с. Приняты следующие допущения: 1 кгс/см^2 ≈ 0,098 МПа; 1 кгс с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

Для водной деформируемой среды ABCEOPHD приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t$ = 3,268·10^{-6} с; ρ = 1,025·10^3 кг/м^3 (1,045·10^{-6} кгс с^2/см^4); C_p = 1530 м/с. Принято следующее допущение: 1 кгс с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

Для нефтяной деформируемой среды GFMJKN приняты следующих исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t$ = 3,876·10^{-5} с; ρ = 0,825·10^3 кг/м^3 (0,841·10^{-6} кгс с^2/см^4); C_p = 1290 м/с. Принято следующее допущение: 1 кгс с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

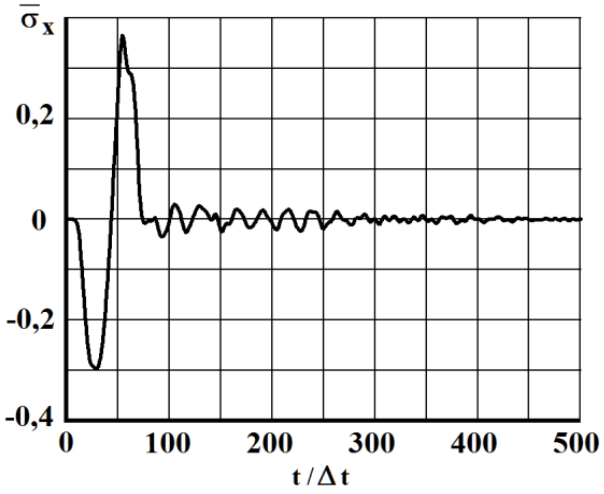


Рис. 4. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ во времени $t/\Delta t$ в точке B1 в задаче с саркофагом

На границе материалов с разными свойствами приняты условия непрерывности перемещений. При расчетах принимается минимальный шаг по времени $\Delta t = 1{,}393 \cdot 10^{-6}$ с. Исследуемая расчетная область имеет 4014010 узловых точек. Решается система уравнений из 16056040 неизвестных. Результаты расчетов были получены в виде упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x (\bar{\sigma}_x = \sigma_x / |\sigma_0|)$ во времени n в точках B1 - B10 (рис. 3).

На рис. 4 в качестве примера приводится изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_x$ в точке B1 (рис. 3).

Автор выражает благодарность научному руководителю Мусаеву В.К. за оказанную помощь и внимание к работе.

Литература

1. Мусаев В.К. Математическое моделирование безопасности защитного сооружения с упругим основанием при воздействии ударной

волны от лавины // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 3–4. С. 184–193.

2. Мусаев В.К. Моделирование упругих напряжений в защитной оболочке реакторного отделения атомной станции с фундаментом и основанием (полуплоскость) при нестационарном ударном воздействии // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–5. С. 587–592.

3. Зюбина М.В., Стародубцев В.В., Самойлов С.Н., Акатьев С.В., Мусаев А.В. Математическое моделирование безопасности консоли с упругой полуплоскостью при воздействии воздушной ударной волны с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XVII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2015. С. 195–203.

4. Мусаев В.К. Моделирование саркофага (плита: соотношение высоты к ширине три к семи) в водной среде для уменьшения аварийного выброса нефти скважины с помощью вычислительного эксперимента // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XVII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2015. С. 270–279.

5. Стародубцев В.В., Сущев Т.С., Самойлов С.Н., Мусаев А.В., Крылов А.И. Моделирование безопасности по несущей способности консоли с упругой полуплоскостью при воздействии воздушной ударной волны с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIII Международной конференции. М.: РГГУ, 2015.

С. 400–403.

6. Тарасенко А.А., Стародубцев В.В., Мусаев А.В., Крылов А.И., Рыбка В.С.Численное моделирование внешнего ударного воздействия на несущие конструкции технических систем с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2016. С. 328–330.

7. Мусаев В.К. Моделирование динамических напряжений в упругой полуплоскости при горизонтальном сосредоточенном нестационарном воздействии воздушной ударной волны // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–2. С. 222–226.

8. Мусаев В.К. Численное моделирование динамических напряжений в фундаменте машин с основанием (полуплоскость) при воздействии нестационарной упругой ударной волны // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–2. С. 232–236.

9. Мусаев В.К. Математическое моделирование нестационарного аварийного выброса нефти в сложной многофазной деформируемой среде // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.2016. № 3–1. С. 28–32.

10. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных волн напряжений в бесконечной пластинке при вертикальном сосредоточенном упругом ударном воздействии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–1. С. 33–37.

11. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных волн напряжений в задаче о воздействии воздушной ударной волны на консоль (соотношение ширины к высоте один к десяти) с упругой полуплоскостью //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. № 3–1. С. 38–42.

12. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в защитном сооружении с основанием (полуплоскость) при воздействии ударной волны от лавины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–1. С. 43–46.

13. Тарасенко А.А., Стародубцев В.В., Мусаев А.В., Дикова Е.В., Крылов А.И. Математическое моделирование упругих волн напряженй в пластинке (соотношение длины распределенной нагрузки к длине воздействия – один к пяти; соотношение толщины пластинки к длине волны воздействия – один к двум) с помощью комплекса программ Мусаева В.К. // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. МатериалыМеждународной научно-практической конференции. Выпуск XVIII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2016. С. 273–281.

14. Мусаев В.К.Математическое моделирование технических средств защиты окружающей среды от воздействий лавины с помощью волновой теории ударной безопасности // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–2. С. 186–191.

15. Мусаев В.К. Численное моделирование саркофага (соотношение ширины к высоте семь к одному, двум и трем) в водной среде для уменьшения ударного воздействия (выброса) нефти из скважины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–3. С. 408–413.

16. Мусаев В.К. Математическое моделирование безопасности окружающей среды при аварийном разливе нефти в водную среду // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12–

1.С. 135–138.

17. Musayev V.K. Numerical simulation of non-stationary elastic contour stresses in the shell of the reactor compartment of the nuclear power station with the foundation and basis (half-plane) at impact of aircraft // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 4.P. 116–126.

18. Кормилицин А.И. Моделирование безопасности окружающей среды при аварийном разливе нефти в водную среду с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. М.: РГГУ, 2016. С. 348–351.

19. Акатьев С.В. Численное моделирование технических средств защиты окружающей среды от нестационарного ударного воздействия лавины с помощью численного метода,алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017». М.: Московский политех, 2017.С. 126–132.

20. Кормилицин А.И. Компьютерное моделирование безопасности окружающей среды при аварийном ударном выбросе нефти в водную среду с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017». М.: Московский политех, 2017.С. 193–199.

© Кормилицин А.И., 2017

УДК 625.7

Коротковский С.А.
доктор транспорта, Российская академия транспорта
Талалай В.В.
доктор транспорта, Российская академия транспорта
Кочетков А.В.
доктор технических наук, профессор,
Пермский национальный исследовательский политехническийуниверситет
Янковский Л.В.
кандидат технических наук, доцент,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
PHOSPHOGYPSUM APPLICATION FOR THE CONSTRUCTION OF A HIGHWAY

Аннотация.Проанализированы и рассмотрены и вопросы применения многотоннажного побочного продукта производства минеральных удобрений - фосфополугидрата сульфата кальция. Показаны преимущества конструкций автомобильных дорог с монолитными слоями из фосфогипса. На основе проведенных практических исследований можно сделать вывод о возможности применения фосфополугидрата сульфата кальция для дорожного строительства, ремонта или реконструкции автомобильных дорог.

Ключевые слова: фосфогипс, вяжущие свойства,монолитный слой, дорожная одежда, строительство.

Abstract. Also questions of application of a large-tonnage by-product of production of mineral fertilizers - calcium sulfate phosphohemihydrate are analyzed and considered. Advantages of structures of highways with monolithic layers from a phosphite are shown. On the basis of the conducted practical

researches it is possible to draw a conclusion on a possibility of use of phosphohemihydrate of sulfate of calcium for road construction, repair or reconstruction of highways.

Key words: phosphogypsum, cementic properties, concrete layers, road pavement, construction.

Отечественными и зарубежными учеными проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования по вопросам складирования, хранения, содержания отвалов, влияния на окружающую среду, структурообразования материалов на основе фосфогипса, применения фосфогипса, результаты которых отражены в многочисленных публикациях Тем не менее, проблему утилизации фосфогипса в России нельзя признать решенной. Запасы фосфогипса продолжают накапливаться,но они используются, согласно статистическим данным, только на 0,2 %, а по самым оптимистичным оценкам - 2 % в год. В то же время в некоторых публикациях отмечается, что в Германии, Бельгии, Японии степень использования фосфогипса составляет около 100 %[1,2,3,5].

Отвальный фосфогипс является дигитратомсульфата кальция. Ежегодно количество этого продукта увеличивается на 14 миллионов тонн. На 1 тонну получаемой фосфорной кислоты, в зависимости от сырья и принятой технологии, образуется от 2 до 6 т фосфогипса. Различают две разновидности фосфогипса: полугидрат ($CaSO_4$ x $0,5H_2O$) и дигидрат ($CaSO_4$x $2H_2O$). Свежеприготовленный фосфогипс имеет температуру 90-105°С и содержит 25-40% воды. Свойства полугидрата и дигидрата существенно отличаются. Непосредственно после приготовления полугидрат обладает в максимальной степени вяжущими свойствами и

постепенно переходит в дигидрат, превращаясь в гипсовый камень. Продолжительность этого перехода зависит от содержания в фосфогипсе фосфорной кислоты, температуры окружающей среды и изменяется от нескольких часов до нескольких суток. Дигидрат вяжущими свойствами не обладает, в отвалах он постепенно теряет воду и превращается в белый порошок[1,2,3,5].

Для дорожного строительства наиболее целесообразно применение фосфополугидрата сульфата кальция вследствие его способности после уплотнения образовывать прочный монолитный материал.

Устройство монолитных слоев из фосфогипса является эффективным направлением в конструировании дорожных одежд, предусматривающим использование побочного продукта производства взамен кондиционных дорогих каменных материалов. При устройстве слоев основания из фосфогипса поступление атмосферной влаги в земляное полотно с поверхности дорожной одежды практически исключается. Вследствие этого влажность грунта рабочего слоя земляного полотна будет значительно меньше, чем при устройстве оснований из традиционных каменных материалов на дренирующем слое из песка. В результате хорошей распределяющей способности монолитных слоев из фосфогипса ровность покрытий с такими основаниями существенно лучше, чем на щебеночном или гравийном основании.Многолетний опыт эксплуатации участков дорогс дорожными одеждамис применением фосфогипса показывает, что слои из фосфогипса работают как прочная монолитная плита при выполнении функций основания и покрытия.

Прочность влажных образцов, отобранных из основания достигает 10 МПа.Отсутствие выкрашивания на поверхности покрытия из фосфогипса свидетельствует о достаточно высокой его морозостойкости. Это явление можно объяснить особой структурой пор. Вода не заполняет

весь объем пор и микрокапилляры выполняют роль резервного объема, куда вытесняется вода в процессе замерзания. Кроме этого тонкопористая структура и наличие микродобавок оксида фосфора P_2O_5, который, образуя кристаллогидратные композиции с водой, существенно снижают температуру ее замерзания.

Аналогом слоев из фосфогипса являются слои из укрепленныж грунтов. В настоящее время в России построено и эксплуатируется десятки лет свыше 30 тыс. кмдорог, с дорожными одеждами, содержащими цементогрунты[4]. Во всем мире площадь дорожных одежд с конструктивными слоями из укрепленных грунтов на дорогах и аэродромах превышает в настоящеевремя 3 млрд. $м^2$.

Анализ результатов наблюдений за эксплуатируемыми участками дорог с дорожнымиодеждами, содержащими монолитные слои из укрепленных грунтов и материалов в районах снеблагоприятными природными и гидрогеологическими условиями показал их превосходство по сравнению с дорожными одеждами с основаниями из зернистыхматериалов по показателям ровности и долговечности.

От ровности покрытия существенно зависит безопасность движения и стоимость перевозок, так на дорогах с удовлетворительной ровностью покрытия количество ДТП в 1,5-2 раза больше, чем на дорогах с хорошей ровностью, асебестоимость перевозок в 1,3-1,5 раза выше.

Слои из фосфогипса существенноулучшают водно-тепловой режим земляного полотна. Монолитные слои из фосфогипса имеют меньшую остаточную пористость по сравнению с зернистыми материалами и поэтому не являются аккумуляторами воды, обычно накапливающейся в порахзернистыхматериалов дорожной одежды в осеннее и весеннее время и значительно снижающей прочность грунта и всей дорожной одежды.

Слои из фосфогипса имеют низкую теплопроводность. Грунт рабочего слоя под проезжей частью в весенний период будет оттаивать позже, чем под обочинами и откосами земляного полотна, что создает благоприятные условия осушения грунта рабочего слоя.

В весенний расчетный период общий модуль упругости дорожной одежды с монолитным основанием или другими слоями из укрепленных грунтов в 1,5-3 раза выше, чем на аналогичных равнопрочных конструкциях со слоями из зернистых материалов. Важно отметить, что давление на грунт земляного полотна на таких участках почти в 3 раза меньше, чем на участках со слоями из зернистых материалов. Слой из фосфогипса работает как монолитная плита, распределяющая нагрузку на большую грунтовую поверхность и снижающая напряжения в грунте.

Уменьшение удельного давления на грунт снижает вероятность появления в нем местных пластических деформаций и тем самым обеспечивает длительную сохранность ровности покрытия.

Свойства фосфогипсовой плиты позволяют применить принципы унификации конструкций дорожной одежды, что обеспечивает минимум конструктивных слоев, технологических операций, времени и строительной техники. Принципы унификации дорожных конструкций с использованием фосфогипса позволяют учитывать все многообразие воздействий природно-климатических факторов, исключить некоторые из них или минимизировать.Все задачи конструирования можно к двум основным:

- обеспечение необходимой прочности одежды за счет основания;
- сохранению устойчивости дорожной конструкции к воздействию природноклиматических факторов за счет предотвращения увлажнения рабочего слоя земляного полотна и слоев основания.

Такой подход к проектированию в значительной степени снижает необходимость применения сложных многослойных конструкций, включающих узкофункционые слои (дренирующие, прерывающие прослойки, морозозащитные, теплоизолирующие). Количество, толщина слоев и их сочетание зависят от конкретных условий и устанавливается расчетом и технико-экономическим обоснованием дорожной конструкции.

Более высокие прочностные свойстваслоев из фосфогипса, посравнению со слоями из зернистых материалов, позволяют применять вместо многослойных конструкций дорожной одежды двухслойные, выдерживающие более высокие нагрузки.

Увеличением допустимой нагрузки на ось в 2 раза можно повысить грузооборот в 1,5-2 раза. При этом может быть значительно снижена общая толщина дорожной одежды, что позволяет, уменьшить на 45-75% потребность в дорогостоящихкондиционных минеральных материалов (щебень, песок), снизить стоимость строительства дорожной одежды на 50%.

Слой монолитного легкого фосфогипса дорожного является эффективной заменой традиционных материалов, обеспечивающих стабильность водно-теплового режима земляного полотна и дорожной одежды, обеспечивает решение ряда проблем, которые не могут решить зернистые материалы, применяемые в качестве компенсирующих слоев в основании дорожной одежды.Малая плотность и низкая теплопроводность фосфогипсовой плиты позволяет применять этот материал в качестве монолитного теплоизоляционного слоя на слабых грунтах с повышенной пучинистостьюи близко залегающими грунтовыми водамина любых дорогах в любой дорожно-климатической зоне.

Способность заменять традиционные материалы в дорожной одежде, монолитный фосфогипс обладает рядом преимуществ:

- уменьшает расходы на строительство дорожных одежд за счет снижения потребностивкондиционныхзернистыхматериалов;

- снижает или вовсе исключает промерзание грунта под дорожной одеждой, что обеспечивает возможности применения в верхней части земляного полотна местных грунтов, относящихся к пучинистым;

- увеличивает темп строительства дороги за счет уменьшения объемов работ;

- обеспечивает возможность понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют нормативные ограничения по минимальному возвышению насыпи над уровнем подземных или поверхностных вод, а также над уровнем земли;

- увеличивает межремонтный период даже для дорог, построенных в сложных гидрогеологических и климатических условиях.

Около пятидесяти миллионов тонн фосфогипса находится на полигоне АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовской области). Вопросы утилизации фосфогипса обсуждаются и рассматриваются со второй половины прошлого века. Устойчивый интерес к разработке способов получения материалов и конструкций с применением фосфогипса обусловлен, прежде всего, его доступностью и невысокой стоимостью.

Авторами по заданию АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовской области) разработаныСТО 24406528-01-2016Рекомендации по устройствурасчетных слоев дорожных одеждиз фосфогипса дорожного (согласован в Федеральном дорожном агентстве, 2016 г.) и СТО24406528-02-2016 Конструкции многослойные дорожныходежд с применением фосфогипса. Правила строительства, реконструкции и ремонта (зарегистрирован в ТК 465 «Строительство», 2017 г.).

Объектом стандартизации является технология устройства расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при

строительстве и ремонте автомобильных дорог. Стандарты устанавливают в соответствии с законодательством Российской Федерации «О техническом регулировании» правила выполнения работпо устройству расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте автомобильных дорог, которые оказывают влияние на безопасность строительства, а также требования к изделиям, используемым при выполнении указанных работ, требования по эксплуатации, правила приемки работ, методы испытания и контроля, а также требования безопасности.

В рамках авторского сопровождения построены опытные участки автомобильных дорог в Балаковском районе Саратовской области (рис. 1, 2).

Рис.1. Процесс строительства дороги из фосфогипса

Рис.2. Опытный участок дороги на территории АО «АПАТИТ» в Балаковском районе Саратовской области

На основе проведенных исследований можно сделать вывод оцелесообразности расширения практики применения фосфополугидрата

сульфата кальция для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Статья подготовлена в рамках научного сопровождения внедрения фосфогопса дорожного для строительства и ремонта автомобильных дорог, выпускаемого на АО «АПАТИТ»» (г. Балаково, Саратовской области).

Литература

1. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. – СПб: Стройиздат СПб, 2007. – 104 с.

2. Арзамасцев С. В. Закономерности технологии базальто- и фосфогипсонаполненных полимерных композиционных материалов: диссертация ... доктора технических наук: 05.17.06 - Саратов, 2011. - 337 с.: ил. РГБ ОД, 71 12-5/70.

3. Игленкова М. Г. Физико-химические закономерности получения композиционных материалов на основе фосфогипса: диссертация ... кандидата химических наук: 02.00.04 - Саратов, 2013. - 170 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-2/326.

4. Фурсов С.Г. Основные направления в области исследований укрепленных грунтов // Научные исследования и разработки. - М., 2006. - (Тр. / Союздорнии).

5. Яшин С. О. Технология и свойства модифицированных фосфогипсом битумоминеральных композиций: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.05 - Ростов-на-Дону, 2013. - 152 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/2471.

© Коротковский С.А., Талалай В.В.,
Кочетков А.В., Янковский Л.В.2017

УДК 666.965.2:691.33

Куатбаева Т.К.
доктор технических наук, профессор
Satbayev University, Алматы, Казахстан

СИНТЕЗСИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО МАЛОКВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

SILICATE MATERIALS SYNTHESIS BASED ON LOCAL NATURAL LOW –QUARTZ RAW MATERIALS AND ITS WASTE PRODUCTS

Аннотация. Рассмотрены вопросы современного использования природного малокварцевого сырьяи отходов его переработки в строительной индустрии. Предложены технологии изготовления силикатных вяжущих веществ, имеющих высокие физико-механические свойства и отвечающих требованиям стандартов на соответствующие изделия (вяжущее, тампонажный цемент).

Ключевые слова: природное малокварцевое сырье, отходы переработки, силикатные материалы, вяжущее, тампонажный цемент.

Abstract. The questions of modern use of natural malovarwace raw materials and waste products of its processing in the construction industry are considered. Technologies for manufacturing silicate binders with high physical and mechanical properties and meeting the requirements of standards for the corresponding products (binder, cementing cement) are proposed.

Keywords: natural minor raw materials, processing waste, silicate materials, binder, cementing cement.

Наличие месторождений природного малокварцевого сырья (в частности – нефтебитуминозные породы) в западном регионе Казахстана, простота их переработки, близкое расположение к потребителям, создание энергосберегающих и низкоэнергоемких систем производства силикатных материалов, определилоразработку технологий производства силикатных

материалов, на основеприродного малокварцевого сырья и минеральных отходов его переработки**.**

Подход, использующий принципы и закономерности контактно-конденсационного структурообразования, позволяющего сократить технологические энергозатраты, взят за основу при выборесырьевых материалов [1].

Природное малокварцевое сырье- это дисперсные системы нерастворимых макрочастиц аморфной или субмикрокристаллической структуры, характеризующиеся значительным запасом свободной кинетической энергии, достаточной для взаимного притяжения макрочастиц с образованием водостойких структурных связей, что позволяет их идентифицировать как материалы с потенциальными контактно-конденсационными свойствами [2].

Вещественный состав сырья и изготовленных материалов, их фазовые и структурные изменения исследовались в соответствии с ГОСТами и СТРК РК [3].

В процессе измельчения, для проявления и усиления вяжущих свойств была применена механохимическая активация путем совместного измельчения компонентов смеси до удельной поверхности 300 - 1000 $м^2$/кг. В результате измельчения изменяется кристаллическая структура полевых шпатов и образуется аморфизованный слой на поверхности зерен.

При удельной поверхности 600 $м^2$/кг, растворимость полевых шпатов в отходах переработки малокварцевого сырья повысилась, что активизирует их взаимодействие с известью. Это связано с оплавлением поверхности зерен, расширением трещин минеральной части пород в процессе термической переработки, что способствует быстрому

измельчению, повышению растворимости и активному взаимодействию с другими компонентами.

Известково-песчаное вяжущее получено совместным помолом песчаного продукта переработки сырья с известью, до удельной поверхности 300 $м^2$/кг, при активности извести 80-85% (в пересчете наактивнойCaO+MgO). Твердение производилось в гидротермальных условиях, при 175°С, по режиму 1,5+8+1,5 часа.

При оптимальном соотношении -известь: песок от переработки сырья, в пределах0,5:1 - 1:1,прочность известково-песчаноговяжущегосоставляет42-50 МПа. Дальнейший рост прочности замедляется по причине повышения основностицементирующих гидратных фаз.

Свойства вяжущих, в зависимости от состава и условий твердения, изменяются взначительных пределах (табл. 1). Образцы, прошедшие автоклавную обработку, имеют более высокую прочность, развитие прочностипроисходитболеединамично. Максимальное значение прочности смесей наблюдается у состава смеси песчаная часть НБП 88%: известь 12%.

Таблица 1 - Свойства известково-песчаных вяжущих материалов

Состав смеси,%			условия твердения		
Продукт переработки ПМС	песок	известь	автоклавирование при 175 ^{0}С	пропаривание при 75 ^{0}С	в обычных условиях при 20 ^{0}С
96	-	4	12/1740*	3,4/1760	-
94	-	6	14/1730	5,1/1780	-
92	-	8	18/1740	10,4/1810	7,6/1778
90	-	10	28/17/50	15,2/1810	10,1/1780

88	**-**	**12**	**35/1860**	**16,4/1780**	**12,3/1810**
-	96	4	9,8/	2,1	-
-	94	6	10/1780	5,0/1790	-
-	92	8	14/1760	7,3/1805	5,1/1740
-	90	10	20/1800	9,6/1820	7,0/1760
-	88	12	24/1870	12/1810	9,4/1800

*) - над чертой прочность при сжатии, МПа; под чертой средняя плотность, кг/м^3

При использовании продуктов переработки природного малокварцевого сырья, как добавка к цементу, для повышения активности вяжущих применяли механоактивацию.

Смешанное вяжущее (цемент с добавками), в соотношениях с песком, бралось -1:1,25 (вяжущее: песок) повесу,приВ/Ц=0,30.Количество материалов на замес: вяжущее -170г, песок - 425г, воды - 53г.

При добавке неизмельченных песчаных продуктов переработки сырья меньшей удельной поверхности, цементные образцы имеют более высокую прочность, чем при совместном более тонком измельчении.Это объясняется кислотно-основным взаимодействием цемента с песчаными продуктами переработки МПМС.

Прочность вяжущего с добавками песка от переработки породы зависит от условий твердения (табл.2).

Таблица 2 - Влияния условий твердения на прочность вяжущего с добавками отходов переработки природного малокварцевого сырья

Состав смеси, %	Сроки схватывания, час-мин	Нормальная густота,	Предел прочности при сжатии

цементный клинкер	отходы переработки ПМС	начало	конец	%	в обычных условиях через 28 сут.	При автоклавировании 175 ^{0}C
100*	-	1-28	3-20	30,2	38,6	20,0
90	10	1-42	3-28	29,8	42,4	43,0
85	15	1-40	3-20	28,2	45,6	48,9
70	30	1-50	3-30	27,3	46,0	50,0
50	**50**	**2-20**	**3-50**	**26,3**	**40,1**	**53,8**

*) - во всех случаях содержится гипс в количестве 5% отвесаклинкера

Отходы переработки природного малокварцевого сырья являются активной добавкой и повышают марочность цемента.

Месторождения сырьевых материалов расположены вблизи нефтедобывающих районов, где в больших количествах потребляются цементы со специальными свойствами. Изучалась возможность использования отходов переработки пород в качестве активных добавок для получения смешанных цементов.

Были проведены исследования стойкостивяжущих в растворах сульфата магния, сульфата натрия, хлористых магния и натрия, в природных минерализованных водах (сульфатно-хлоридной и хлоридно-сульфатной).

Смеси из цемента с содержанием до 50% песчаных продуктов МПМС, затворялись 5%-ным раствором Na_2SO_4 и 3%-ным раствором $MgSO_4$.

Затвердевшие образцы помещались в растворы сульфата натрия и магния. По истечении сроков хранения, они испытывались на прочность (табл. 3).

Затворение сульфатными растворами позволяет повыситьпрочностьобразцоввовсехусловияхихтвердения, причемсповышениемтемпературыусловийтвердения, прочностьувеличиваетсявбольшейстепени.Стойкость образцов, с течением сроков хранения в агрессивных растворах, повышается (коэффициент сульфатостойкости Кс >0,85). Механизм введения в состав сульфатных солей условно назван «родственностью» состава цемента со средой эксплуатации.

Составы указанных вяжущих материалов, обладают высокой стойкостью в условиях высоких температур, давления и агрессивной среды, а приемы изготовления моделируют условия работы при закладке буровых скважин и могут быть распространены для других видов вяжущих материалов и агрессивных сред.

Таблица 3 - Влияния агрессивных сред на изменение прочности при изгибе (МПа) цементов с добавкой отходов переработки природного малокварцевого сырья

Материалы и условия подготовки	Условия твердения	Хранение в 5% Na_2SO_4в течении:			Хранение в 3% $MgSO_4$в течении:		
		1 сут.	6 сут.	12 сут.	1 сут.	6 сут.	12 сут.
цемент с 50 % переработки продуктов ПМС и затворенный водой	в обычных условиях	3,6	2,7	1,6	3,6	2,9	1,1
	пропаривание при 75 ^{0}С	4,4	4,1	3,3	4,4	4,0	3,0
	автоклавирование 175 ^{0}С	5,2	4,6	4,2	5,2	4,8	5,0

цемент с 50 % переработки продуктов ПМС и затворенный 5 % раствором Na_2SO_4	в обычных условиях	4,0	3,6	3,8	4,6	4,4	4,4
	пропаривание при 75 ^{0}C	6,3	6,4	7,0	6,3	6,0	6,6
	автоклавировани е 175 ^{0}C	7,4	7,6	7,8	7,4	7,6	7,8
цемент с 50% переработки продуктов ПМС и затворенный 2 % раствором $MgSO_4$	в обычных условиях	4,2	4,8	4,4	4,2	4,9	4,6
	пропаривание при 75 ^{0}C	5,8	5,5	5,8	5,8	5,9	6,0
	автоклавировани е 175 ^{0}C	6,2	6,4	6,6	6,2	6,5	6,8

Вяжущее использовалось в составе дорожного бетона вместе с немолотым песчаным отходом переработки сырья. Состав сухой растворной смеси (растворной части бетона): немолотый песок ПМС – 75%, молотый песок ПМС -20%, цемент – 5%. Активность вяжущего - 30 МПа, после твердения в нормальных условиях, в течение 90 сут.

Оптимальное В/В для бетона марки М100 составляет 0,4; для марок М200 и М300 – 0,36 и 0,30.

В зависимости от водовяжущего отношения расход вяжущего составил: для бетона марки М100 - 350 кг/м³, марок М200 и М300 – 450 и 510 кг/м³. Предел прочности при сжатии составил – 13,6; 24,2; 32,4 МПа.

Учитывая физико-технические свойства цементно-песчаных вяжущих (высокая морозостойкость и коррозионная стойкость, доступность и возможность многотоннажного использования основных компонентов, уменьшение затрат на производство вяжущего), установлена эффективность использования разработанных вяжущих в буровых работах и дорожном строительстве.

Выводы

1. Термическое воздействие на природное малокварцевое сырье в процессе переработки, модифицирует минеральную составляющую породы, в результате чего полученный песок, лучше размалывается и подвергается механоактивации, что положительно влияет на растворимость минералов песка и степень взаимодействия с известью.

2. Оптимальное соотношение смеси песка МПМС и извести (1:0,8–1:1) и технологические параметры обеспечивают марочность известково-песчаного вяжущего М400 – М500.

3. В условиях гидротермального синтеза исследуемых материалов, уменьшается основность гидросиликатов кальция, что положительно влияет на прочностные характеристики вяжущих силикатных материалов.

4. Смешанные вяжущие материалы на основе извести или цемента с минеральными отходами переработки сырья, обладают низкотермичностью и в тепловлажностных условиях интенсивно набирают прочность, обеспечивая требуемую марочность. Такие вяжущие обладают высокой сульфатостойкостью, высокой стойкостью в условиях высоких температур, давления и агрессивной среды.

5. Технико-экономическая эффективность состоит в получении вяжущих силикатных материалов на основе природного малокварцевого сырья и отходов его переработки, что определяет экономическую эффективность их производства.

Литература

1. Куатбаев А.К. Композиционные силикатные материалы контактного твердения из отходов промышленности – Алматы: изд. «Гылым», 2001, 224 с.

2. Мусаев Г.А., Рахимова Р.А., Джалилов К.А. Комплексное использование минеральной части нефтебитуминозных пород и кварцсодержащих песков. // Комплексное использование минерального сырья, 1991, № 9. С.78-91.

3. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе».

© Куатбаева Т.К., 2017

УДК 628.517

Магеррамова И.А.
ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Балаковский инженерно-технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Зотов Л.Д.
студент 1 курса факультета АЭТ направления СЗС,
Балаковский инженерно-технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ШУМ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ЕГО ВИДАМИ

NOISE CONTROL METHODS

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы негативного влияния шума на человека. Предложены пути миниминизации данного влияния.

Ключевые слова: шум, изоляция, конструкции, материалы, свойства.

Abstract. The problem of unhealthy noise are consider in this article. The

ways to minimize thisnoise are giving in it.

Keywords: noise, insulation, constructions, materials, properties.

В современном мире стало очень много внешних воздействий наорганы человека. Одним из них является шум. Искусственная среда поглотила существование людей, окружив их негативным влиянием раздражителей органов слуха. Именно поэтому борьба с шумом имеет актуальное значение в наши дни.

Шум – это сочетание звуков различной частоты и интенсивности. С физиологической точки зрения шумом называют любой нежелательный звук, оказывающий вредное воздействие на организм человека. [1] Различают четыре вида шума (см. рис 1).

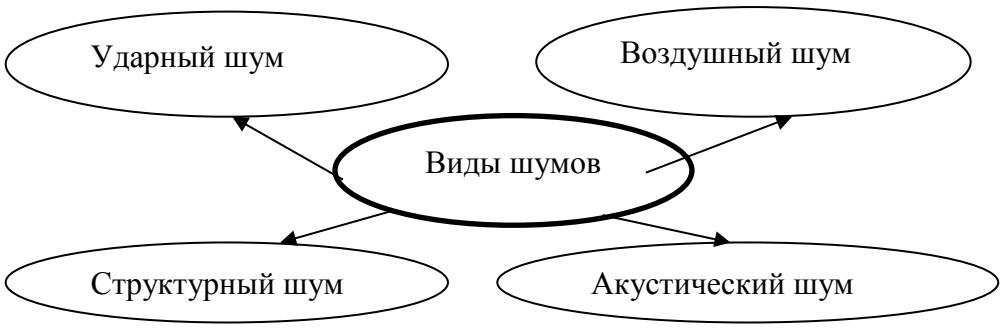


Рис. 1

Возникновение ударного шума связано с принятием удара конструкцией помещения. Колебания, формирующиеся при этом процессе, передаются на стены и перекрытия. Распространение звуковых колебаний происходит на достаточно большие расстояния по причине того, что передаются на все смежные полы, стены и потолки. Воздушный шум распространяется по воздуху, но перекрытия и стены с недостаточно успешным результатом поглощают воздушные звуковые колебания. Материал, из которого состоят стены и перекрытия,

обуславливаютспособность поглощать ими звуки. Именно поэтому, большим звукоизоляционным эффектом будут отличаться те перегородки, которые массивней других. Структурный шум возникает при передаче вибраций трубами, шахтами вентиляции и другими элементами коммуникаций. Некоторые элементы коммуникаций могут передавать звуки на большие расстояния. Акустический шум наиболее часто возникает в необустроенных помещениях. Его проявление выражается в виде эха. [2]

Индекс изоляции воздушного шума R_Wи индекс изоляции ударного шума - показатель уровня приведенного ударного шума под перекрытием- являются основной акустической характеристикой строительных конструкций. На сегодняшний день, нормативным документом,который служит регламентомзвукоизоляционных свойств строительных конструкций, выступает актуализированная редакция СНиП-23-03-2003 «Защита от шума». Согласно данному СНиП,индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием - не более Ln_W = 60 дБ, а индекс изоляции воздушного шума перекрытием между двумя квартирами должен быть не ниже R_W=52 дБ. Формирование звукоизолирующей способности перекрытия в отношении воздушного шума происходит на стадии заводского изготовлении строительных элементов. Онаопределяется, главным образом, массивностью и толщиной самой плиты перекрытия. Проблема изоляции ударного шумарешаетсявсегда путём создания дополнительных конструкций. Снизить уровень ударного шумаможно двумя способами. Один из них заключается в устройстве на несущей плите перекрытия «плавающего пола», являющейся дополнительной конструкцией пола на упругом основании. Другой метод предполагает применение в качестве чистового

покрытия пола материалов с собственными высокими показателями снижения уровня ударного шума, К ним относятся, например: линолеум, ковролин [3].

Современными материалами для шумоизоляции стен являются: гипсокартон, готовые декоративные плиты, рулонная шумоизоляция.

Система «плавающий пол» - самый эффективный способ шумоизоляции. Существует в трёх видах: плавающие бетонные покрытия, плавающие сухие стяжки, плавающие сборные напольные покрытия. Плавающие бетонные покрытия используются при необходимости создания не только шумоизоляционных свойств, но и повышенной прочности, высоких теплоизоляционных свойств основания и высокой теплопроводности финишного напольного покрытия. Сухая стяжка эффективна в повышении шумозащитных характеристик, т.к. бетонная основа и слои шумоизоляционных метериалов участвуют в звукопоглощении. К сборным полам относят покрытия, оснащённые замковой системой «шип-паз», например: ламинат, паркет, шпунтованная массивная доска. В качестве шумоизоляции используется эластичный пенополиэтилен с равномерной системой ячеек, пенополистирол или целлюлозные листовые металлы. Однако они играют в большей мере роль подложки и не обеспечивают максимального звукопоглощающего эффекта. Подложка из пробки служит хорошей шумоизоляцией под ламинат или паркет. Шумоизоляционные характеристики ламинированного или деревянного плавающего пола повышаются при укладывании на полимерный слой пробковой подложки либо специальной мембраны Тексаунд. После настилания на неё слоя фанеры окончательно монтируется напольное покрытие [4].

Немаловажное значениеимеетпроблема увеличения изоляции межэтажного перекрытия со стороны нижерасположенного помещения в применении к шумам воздушного происхождения, а также по отношению к ударному шуму. Одной из самых эффективных конструкций дополнительной шумоизоляции потолка на сегодняшний день считают каркасный потолок на виброподвесах. Например, использование потолочных виброподвесовВиброфлекс-Коннект ПП, позволяет добиться увеличения значения индекса изоляции воздушного шума на 17-19 дБ.Осуществив замену виброизолирующих подвесов на более эффективные - Виброфлекс-К15, возможно получения 19-21 дБ.

Также необходимо отметить, что проведение любых шумоизоляционных работ сталкивается с проблемой косвенной передачи шума в здании – через «третьи» стены и перегородки может быть весьма сильная звукопередача. Игнорирование приведённого факта и направление всех усилийтолько на дополнительную шумоизоляцию одного перекрытия, может привести кне столь желаемомуакустическому эффекту [3].

Таким образом, эффективная шумоизоляция улучшает качественные характеристики любого здания. Изоляцию от шума можно осуществлять как на этапе первоначального строительства, так и в процессе дальнейшей эксплуатации. Проведение любых шумоизоляционных работ сталкивается с проблемой косвенной передачи шума в здании.

Литература

1. Сычёв Ю.Н. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2009.

2. Звукоизоляция –https://ru.wikipedia.org/wiki/Звукоизоляция

3. Звукоизоляция межэтажных перекрытий, шумоизоляция потолка в … www.acoustic.ru/albom_solutions/flats/zvukoizolyaciya_perekrytiy/

4. Способы шумоизоляции и звукоизоляции пола в квартире strmnt.com/dom/build/floor/sposoby-shumoizolyacii-pola.htm1

© Зотов Л.Д., МагеррамоваИ.А., 2017

УДК 69

Магеррамова И.А.
ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Балаковский инженерно-технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
Царева А.П.
ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Балаковский инженерно-технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГРАДИРЕН

THE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN THE CONSTRUCTION OF COOLING TOWERS

Аннотация. Применение композитных материалов в строительстве градирен обусловлено их высокими антикоррозионными свойствами. Меры первичной и вторичной защиты строительных конструкций.

Ключевые слова: градирни, композитные материалы, первичная защита, вторичная защита, агрессивная среда, энергетика, охладители.

Abstract. The use of composite materials in the construction of cooling towers is due to their high anticorrosive properties. Measures of primary and secondary protection of building structures.

Keywords: cooling towers, composite materials, primary protection, secondary protection, aggressive environment, power engineering, coolers.

Большое количество электроэнергии Российской Федерации (около 80%) производится на тепловых электростанциях. Чтобы отводить сбросное тепло АЭС, используют системы технического водоснабжения, подразделяющиеся на прямоточные, оборотные и смешанные.

В прямоточной системе водоснабжения используется природный источник. Чаще всего это река (Нововоронежская АЭС - река) или море (Ленинградская АЭС - Финский залив). Чтобы спроектировать прямоточную систему, необходимо учитывать санитарные требования и требования рыбоохраны.

Однако с 1 января 2007 года в Российской Федерации действует новая редакция Водного кодекса, согласно которому прямоточные системы технического водоснабжения запрещены.

Оборотная система технического водоснабжения выполняется с брыгальными бассейнами, градирнями и прудами охладителями. Последние широко применяются в атомной энергетике. К примеру, техническое водоснабжение Балаковской АЭС выполняется по оборотной схеме из наливного водоема охладителя. Однако их применение приводит к отчуждению значительных земельных участков. Кроме того, их невозможно использовать на ТЭЦ, находящихся обычно вблизи или в черте города.

Применение в оборотных системах водоснабжения ТЭС и АЭС башенных градирен позволяет наиболее удобно скомпоновать охладительные устройства, которые так же являются более экономичными.

Если сравнивать с прямоточной системой охлаждения, то применение градирен обеспечивает экономию природной воды в 25 - 50 раз, и предотвращает тепловое загрязнение водоемов.

Агрессивное воздействие на строительные конструкции градирен оказывает эксплуатационная среда.

Ускоренному износу способствует механическое воздействие потоков воздуха и воды в специфических условиях работы. К ним относится: температура воздуха 50 °С, при которой влажность паровоздушной среды достигает 100%; температура орошающей конструкции воды составляет до 50 °С, но на некоторых производствах достигает 60 °С и более. Из-за замораживания материалов в водонасыщенном состоянии зимой и от попеременного увлажнения и высушивания летом внушительно возрастают внутренние напряжения. Под воздействием солнечной радиации, а так же агрессивных примесей, находящихся в оборотной воде, изменяются физико-химические свойства строительных материалов. Напряжения так же возникают в конструкциях от вибрации при работе вентиляторов и скоростного напора ветра.

Циклический характер агрессивных воздействий, который зависит от колебания наружных температур, изменения скорости и направления ветра, интенсивности солнечной радиации, а так же от технологических условий эксплуатации градирен, обостряет их влияние на строительную конструкцию.

Для того, чтобы обеспечить долгое время работы конструкции градирни без разрушения при температуре оборотной воды более 50 °С, применяются специальные материалы, способные работать в такой среде от 15 до 20 лет, а так же специальные меры защиты конструкций от температурных воздействий или предварительного охлаждения воды.

Надежность работы и срок службы градирен в большей степени определяются типом материала, прочностью и качеством исполнения ограждающих конструкций (обшивки). В зимнее время перепад температур снаружи и внутри градирен может достигать 60 ^{o}C и более, создавая в них значительные температурные напряжения.

Строительные несущие конструкции градирен могут быть выполнены из монолитного или сборно-монолитного железобетона.

В районах, где температура достигает -28 ^{o}C и выше, применяют вытяжную башню гиперболической формы из монолитного железобетона.

Из-за тяжелых температурно-влажностных условий работы градирен, применяемые для их строительства материалы, в большинстве случаев не отвечают требованиям долговечности без применения дополнительных средств защиты.

Наиболее долговечными являются железобетонные ограждающие конструкции градирен, срок службы которых может достигать 40 лет. В большинстве случаев разрушение железобетонных несущих опор и оболочки в зоне воздуховходных окон происходит из-за отсутствия защитных покрытий и несовершенства конструкций противообледенительных устройств.

При проектировании градирен необходимо предусматривать меры первичной и вторичной защиты строительных конструкций. Выбор защитных покрытий при проектировании антикоррозийной защиты осуществляют с учетом вида, степени агрессивности среды эксплуатации и фактического состояния конструкций в период строительства и эксплуатации.

К первичной защите относят сочетание определенных требований, предъявляемых непосредственно к материалам и самой конструкции, которые реализуются в процессе проектирования и изготовления.

Благодаря ей можно максимально гарантировать дальнейшую эксплуатационную пригодность всего изделия. К технологическим аспектам первичной защиты относится выбор материалов, стойких к определенным видам агрессивных воздействий, выбор и соблюдение некоторых заданных приемов, применяемых в технологическом процессе изготовления конструкций, выбор коррозионностоиких видов цементов, типа его заполнителя (крупного и мелкого), типов химических добавок и модификаторов, подбор эффективных составов бетонов, выбор вида и класса арматурных сталей, способов укладки и уплотнение бетонной смеси, условий вызревания бетона и т. д. Эта часть мер определяется на стадии проектирования и осуществляется при изготовлении конструкций и возведения сооружения.

К вторичной защите относятся все мероприятия по защите железобетонных и бетонных поверхностей от коррозии со стороны непосредственного воздействия агрессивных сред. Это применимо к уже выполненным и эксплуатируемым конструкциям и является средством продления жизнеобеспечения уже ранее защищенных конструкций. Если первичная защита реализуется посредством мер и приемов технологического и конструктивного характера, выполняется однажды на весь период эксплуатации и не предусматривает возобновления, то вторичные меры могут быть возобновлены в течение всего срока службы конструкции.

Технологические меры первичной защиты не могут максимально обеспечить стойкость бетона и его защитные свойства к арматуре. Наличие в бетоне трещин оставляет вопрос о надежности защиты открытым, так как они являются проводниками агрессивных компонентов к арматуре. Чтобы обеспечить практическую работу железобетона без трещин, следует использовать конструкции с предварительным напряжением арматуры или

фиброконструкции. И в этом смысле, если не рассматривать технико-экономическую сторону вопроса, преднапряженные конструкции предпочтительны для работы в условиях действия агрессивной среды. С другой же стороны, в таких конструкциях применяются высокопрочные стали, обладающие меньшей коррозийной стойкостью к растрескиванию под напряжением.

Использование фибры при армировании бетона может улучшить показатели коррозионной стойкости из-за хаотичного расположения ее волокон, что защищает тело бетона от возникновения трещин.При проектировании железобетонных конструкций, имеющих вероятность контакта с агрессивными средствами, для выбора основных мер первичной защиты пользуется СП 28. 13330. 2012 «Защита строительных конструкций от коррозии».

В настоящее время все больший приоритет отдается методам первичной защиты. Предполагается, что развитие и создание новых материалов и технологий позволит железобетону нового поколения противостоять агрессивным воздействиям длительное время, не прибегая к методам вторичной защиты.В связи с этим можно полагать, что научный поиск в дальнейшем будет осуществляться в следующих направлениях:

- расширение видов бетонов высокой непроницаемой (W16 и выше), морозостойкости (F 500 и выше), сульфатостойких, биокислотно- и щелочностойких и т.п.

- повышение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре за счет увеличения его непроницаемости для газов и жидкостей путем создания и внедрения новых химических добавок в бетон ингибирующего действия;

- разработка и внедрение новых, неметаллических арматурных сталей;

- разработка и применение дисперсного армирования бетона химически стойкими волокнами;

- разработка новых конструктивных форм изделий и конструкций, технологий укладки и уплотнения бетонных смесей.

В высокоответственных конструкциях, высокопрочных элементах сложных конструктивных схем и решений, целесообразно использовать композитную арматуру. К таким конструкциям относят градирни, различные гидротехнические сооружения на АЭС, насосные и гидротехнические сооружения на площади забора воды. В связи с коррозионной стойкостью, высокой удельной прочностью композитов внедрение углепластиков при строительстве и реконструкции градирен открывает широкие возможности для создания новых высокоэффективных конструкций и отдельных элементов. Для того чтобы устранить ошибки проектирования или исполнения работ, последствия повреждения несущих конструкций, возникшие в ходе эксплуатации, увеличить несущую способность конструкций при увеличении расчетных нагрузок, применяют системы внешнего армирования углеродными лентами, предназначенные для ремонта и усиления строительных конструкций.

Порядка трети всего производимого в России углеволокна потребляется атомной промышленностью, из-за его невероятной прочности и легкости.

Предполагается применение композитов в строительстве атомных станций нового поколения, а именно при производстве и монтаже бетонных конструкций, а также применение композитных труб в градирнях, что позволит повысить качество строящихся АЭС.

Композитная арматура не подвержена коррозии и превосходит арматуру из металла по ряду других важных характеристик, это обуславливает актуальность замены металла на композиты.

Использование современных материалов, а также непрерывное инновационное развитие применяемых технологий, является важной составляющей улучшения качества строительства и гарантией надежности и безопасности атомных станций.

Современные технологии производства позволяют получать композитную продукцию с более привлекательными характеристиками, чем у традиционных материалов. Основные преимущества композитной арматуры: она не подвержена коррозии, является диэлектриком, радиопрозрачна, магнитоэнертна, не теряет своих свойств при сверхнизких температурах. Благодаря этим свойствам, после окончания испытаний и разработки технической документации, можно ожидать применения композитных материалов в строительстве АЭС.

Литература

1. Эванс Ю.Р. Коррозия и окисление металлов. – М.: Машгиз, 1962. - С. 855.

2. Томашев Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. - М.: АН СССР, 1959.- С 59. .

3. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2)

4. СП 28. 13330. 2012 «Защита строительных конструкций от коррозии».

5. http://atomicexpert-old.com/content/rosatom-osvaivaet-karbon

6. http://docs.cntd.ru/document/456075703

7. http://www.hccomposite.com/sectors/129/

8. http://www.irvik.ru/science/articles/detail.php?ELEMENT_ID=50

9. http://betony.ru/polimerbeton/vozdeystvie-agressivnih-sred.php

© Магеррамова И.А., Царева А.П., 2017

УДК 691.3

Макридин Н.И.
доктор технических наук, профессор,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия
Максимова И.Н.
кандидат технических наук, доцент,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

О КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

ABOUT KINETIC PROCESSES OF STRUCTURE FORMATION AND DURABILITY OF CEMENT CONCRETES

Аннотация. Проблема нарастания прочности цементной дисперсной системы во времени по своей практической значимости остается в центре внимания как отечественных, так и зарубежных исследователей. Работа посвящена проблеме прочности и разрушения модифицированной добавками гидратационной структуры цементного камня и конструкционных бетонов на его основе.

Ключевые слова: цементный камень, конструкционный бетон, модифицирующие химические добавки, кинетические процессы структурообразования и твердения, математические модели.

Abstract. The problem of increasing the strength of a cement disperse system over time in its practical importance remains in the focus of attention of both domestic and foreign researchers. The paper is devoted to the problem of strength and destruction of cementitious stone modified by additives and structural concrete on its basis.

Keywords: cement stone, structural concrete, modifying chemical additives, kinetic processes of structure formation and hardening, mathematical models.

В работе [1] отмечается, что фактор времени вызывает в бетоне проявление двух характерных разнонаправленных процессов: процесса нарастания прочности во времени (процесс старения бетона), определяемого физико-химическими изменениями его структуры, и процесса снижения прочности находящегося в напряженном состоянии бетона, связанного с проявлением его реологических свойств – ростом деформаций во времени, приводящим к определенным нарушениям внутренних связей в материале на микро- и макроуровнях.

Проблема нарастания и регулирования длительной прочности приобретает особый интерес в современных условиях поиска путей получения и использования в строительстве бетонов нового поколения, в том числе высокофункциональных, с очень высокими показателями прочности, однородности и низкой пористости, в основу получения которых положена новая концепция бетоноведения – получение высокоподвижной матричной фазы бетонной смеси с низким водосодержанием благодаря комплексному использованию химических и минеральных добавок, обладающих высокой реологической эффективностью.

При этом большое практическое значение имеют комплексные добавки, обладающие полифункциональным действием. Одним из таких модификаторов является добавка ПДО-М, которая является комплексной ускоряюще-пластифицирующей добавкой, приготовленной на основе

отходов предприятий ПО «Марбиофарм». Основными компонентами добавки являются сульфат натрия – отход производства аскорбиновой кислоты, действующий как ускоритель твердения, и последрожжевой остаток от производства кормовых дрожжей – как пластификатор [2, 3].

В этой связи были проведены исследования по изучению влияния количественной дозировки добавки ПДО-М и возраста бетона в интервале от одних до 90 суток после тепловлажностной обработки на характер изменения прочности $R_{сж}$ и $R_{ри}$, отражающих, в свою очередь, кинетические процессы структурообразования и твердения бетонов в данном диапазоне времени. Прочностные характеристики бетона оценивали на двух видах портландцемента: на бездобавочном и с минеральной добавкой – Старооскольском ПЦ М 500 – Д0 с нормальной густотой 0,257 и Вольском ПЦ М 500 – Д20 с нормальной густотой 0,285.

Для изготовления опытных образцов бетона использовали также Сурский речной песок $М_{кр}$=1,63 и высокопрочный гранитный щебень фракции 5–10 мм. На каждом виде цемента было изготовлено по три серии образцов бетона: первая серия – контрольная без добавки; вторая и третья серии – с добавкой ПДО-М – 1 и 2 % от массы цемента, соответственно, одного состава с одинаковой удобоукладываемостью, твердевших в одинаковых условиях.

В таблице 1 приведены значения расхода компонентов, показателей удобоукладываемости, соответствующие им В/Ц отношения и режимы ТВО.

Таблица 1 – Рецептура и технологические свойства бетонных смесей

Серии образцов	Расход материала на 1 м^3 бетона, кг			ПДО-М, % от массы цемента	В/Ц	ОК, см	Режим ТВО, час.
	Ц	П	Щ				
На старооскольском цементе							
1	385	774	1100	-	0,539	2-4	12+2+6+3
2	385	774	1100	1,0	0,480	2-4	12+2+6+3
3	385	774	1100	2,0	0,443	2-4	12+2+6+3
На вольском цементе							
1	385	774	1100	-	0,595	2-4	12+2+6+3
2	385	774	1100	1,0	0,455	2-4	12+2+6+3
3	385	774	1100	2,0	0,443	2-4	12+2+6+3

Примечание. Температура изотермии во всех серия составляла 70 °С.

Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что при получении бетонной смеси постоянной удобоукладываемлости на Старооскольском цементе с использованием добавки ПДО-М можно добиться снижения расхода воды на 11–18 %, что позволяет отнести ПДО-М к водоредуцирующей добавке второй группы по ГОСТ 24211-2003, в бетонных же смесях на основе Вольского цемента ПДО-М позволяет снизить расход воды на 23-25 %, что дает основание отнесли ПДО-М в этом случае к водоредуцирующей добавке первой группы. Изменение водоредуцирующей способности добавки ПДО-М на сравниваемых цементах, вероятнее всего, обусловлено наличием минеральной добавки.

В таблицах 2 и 3 приведены численные значения величин прочности $R_{сж}$ и $R_{ри}$ и средней скорости $\bar{V}$ изменения этих характеристик прочности сравниваемых серий образцов бетона.

Таблица 2 – Значение прочностных характеристик R и изменения их средней скорости $\overline{V}$ в контрольные сроки образцов бетона на Старооскольском портландцементе

Серия образцов	Зависимости	Концентрация ПДО-М, % от массы цемента	Возраст бетона, сут.		
			1	28	90
1	$R_{ри} = f(\tau)$, МПа	–	2,94	5,28	6,48
2		1,0	3,44	5,86	4,96
3		2,0	3,92	6,10	3,92
1	$\overline{V}_{R_{ри}} = f(\tau)$, МПа/сут.	–	2,94	0,087	0,019
2		1,0	3,44	0,090	– 0,014
3		2,0	3,92	0,081	– 0,035
1	$R_{сж} = f(\tau)$, МПа	–	16,4	29,3	40,1
2		1,0	16,2	33,4	36,1
3		2,0	18,1	40,3	37,0
1	$\overline{V}_{R_{сж}} = f(\tau)$, МПа/сут.	–	16,4	0,478	0,174
2		1,0	16,2	0,637	0,044
3		2,0	18,1	0,815	– 0,053

Таблица 3 – Значение прочностных характеристик R и изменения их средней скорости $\overline{V}$ в контрольные сроки образцов бетона на Вольском портландцементе

Серия образцов	Зависимости	Концентрация ПДО-М, % от массы цемента	Возраст бетона, сут.		
			1	28	90
1	$R_{ри} = f(\tau)$, МПа	–	4,11	5,56	6,17
2		1,0	3,92	6,93	7,22
3		2,0	4,52	6,93	5,56
1	$\overline{V}_{R_{ри}} = f(\tau)$, МПа/сут.	–	4,11	0,054	0,0098
2		1,0	3,92	0,111	0,0047
3		2,0	4,52	0,089	– 0,022

1	$R_{сж} = f(\tau)$, МПа	–	17,7	38,1	45,2
2		1,0	25,1	44,1	49,8
3		2,0	22,4	43,0	48,3
1	$\overline{V}_{R_{сж}} = f(\tau)$, МПа/сут.	–	17,7	0,756	0,44
2		1,0	25,1	0,704	0,092
3		2,0	22,4	0,763	0,085

Из анализа экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, следует отметить, что применение добавки ПДО-М при принятых условиях режима ТВО способствовало незначительному, примерно на 10 %, повышению прочности на сжатие сразу после ТВО на образцах бетона с добавкой ПДО-М 2,0 % и более заметному повышению прочности $R_{ри}$ сразу после ТВО на 17 и 33 % – для образцов серий 2 и 3, соответственно. К 28-суточному возрасту кинетика набора прочности $R_{ри}$ и $R_{сж}$ на образцах с добавкой ПДО-М существенно опережала кинетику контрольных образцов. Превышение проектной прочности $R_{сж}$ образцов с добавкой ПДО-М относительно контрольного состава достигало 37,5 %, а прочности $R_{ри}$ – соответственно, 15,5 %. Однако, в период от 28 до 90 суток наблюдали заметное изменение кинетики набора прочности $R_{ри}$ и $R_{сж}$ на образцах с добавкой ПДО-М в сторону уменьшения величин как $R_{ри}$, так и значений $R_{сж}$ при дозировке добавки в количестве 2,0 % примерно на 35 и 8 % соответственно, а при дозировке добавки в количестве 1,0 % отмечено снижение $R_{ри}$ примерно на 15 %, а прочность $R_{сж}$ выросла еще на 8 %. В то же время кинетика изменения прочности $R_{ри}$ и $R_{сж}$ контрольных образцов показывала дальнейшее существенное повышение их прочностных свойств. На основании экспериментальных

численных значений $R_{ри}$ и $R_{сж}$, приведенных в таблице 2, следует констатировать, что применение добавки ПДО-М при принятом режиме ТВО оказывало в основном негативное влияние на синтез прочности бетона в более поздние сроки после проектного возраста.

Из анализа численных значений $R_{ри}$ и $R_{сж}$, приведенных в таблице 3, следует отметить, что формирование и набор прочности бетона на Вольском портландцементе с добавкой ПДО-М носит более позитивный характер по сравнению с бетоном на основе Старооскольского цемента.

Столь заметное различие в кинетике набора прочности $R_{ри}$ и $R_{сж}$ образцов бетона на основе сравниваемых цементов при использовании добавки ПДО-М, на наш взгляд, можно объяснить механизмом адсорбции ускоряюще-пластифицирующей добавки. Вероятно, в дисперсных системах на основе Вольского портландцемента с минеральной добавкой поверхность тонкодисперсной опоки является более предпочтительной для адсорбции добавки ПДО-М, что способствует более оптимальному физико-химическому взаимодействия активных центров на поверхности частиц цемента с водой затворения в длительные сроки твердения.

Математическая обработка экспериментальных данных, представленных в таблицах 2 и 3, показывает, что кинетика набора прочности бетонов, изготовленных на различных цементах, описывается функцией вида:

$$R_{б} = \frac{a + b \cdot \tau}{1 + c \cdot \tau + d \cdot \tau^2}, \qquad (1)$$

где a, b, c, d – эмпирические коэффициенты; τ – время твердения.

Значения эмпирических коэффициентов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения эмпирических коэффициентов

Зависимости	Концентрация ПДО-М, % от массы цемента	Эмпирические коэффициенты			
		a	b	$c \cdot 10^3$	$d \cdot 10^5$
Старооскольский цемент					
$R_{ри} = f(\tau)$ (таблица 2)	–	2,83	0,14	6,8	8,9
	1	3,23	0,17	5,9	28,0
	2	3,75	0,17	1,5	47,0
$R_{сж} = f(\tau)$ (таблица 2)	–	15,76	0,66	4,2	6,0
	1	15,25	0,99	5,6	17,3
	2	16,83	1,37	5,2	29,0
Вольский цемент					
$R_{ри} = f(\tau)$ (таблица 3)	–	4,04	0,97	5,8	6,33
	1	3,76	0,19	6,8	15,3
	2	4,37	0,18	5,0	26,7
$R_{сж} = f(\tau)$ (таблица 3)	–	16,68	1,12	5,4	13,6
	1	24,15	1,06	4,4	12,4
	2	21,41	1,15	4,8	4,1

В процессе твердения бетона вследствие протекания физико-химических процессов развиваются два конкурирующих процесса: конструктивный, приводящий к повышению прочности бетона, и деструктивный, повышающий дефектность структуры материала. Предлагаемая зависимость (1) учитывает влияние этих процессов:

– конструктивный процесс $f_k = \dfrac{b \cdot \tau}{1 + c \cdot \tau + d \cdot \tau^2}$; (2)

– деструктивный процесс $f_d = \dfrac{a}{1 + c \cdot \tau + d \cdot \tau^2}$. (3)

Необходимо отметить также, что аналогичные зависимости для конструктивного и деструктивного процессов наблюдаются при испытаниях бетона на сжатие.

Обработка полученных в наших опытах экспериментальных данных с использованием программных компьютерных математических методов позволяет получать более строгие феноменологические модели механических свойств, которые могут быть положены в основу рецептурно-технологической оптимизации структуры и прогнозирования длительной конструкционной прочности цементных гетерогенных дисперсных систем и закономерностей процессов их структурообразования и твердения.

Литература

1. Гениев Г.А. Практический метод расчета длительной прочности бетона / Г.А. Гениев // Бетон и железобетон. – 1995. – № 4. – С. 25–27.

2. Рекомендации по подготовке к утилизации отходов предприятий ПО «Марбиофарм» и приготовлению на их основе ускоряюще-пластифицирующей добавки ПДО-М для сборного и монолитного железобетона / В.И. Калашников, В.В. Нефедов, Н.И. Макридин [и др.] / Пензенский ИСИ : ПО «Марбиофарм» Минмедбиопрома СССР. – Пенза, 1989. – 13 с.

3. Рекомендации по применению ускоряюще-пластифицирующей добавки ПДО-М в производстве сборного и монолитного железобетона / В.И. Калашников, И.И. Романенко, А.С. Мишин [и др.] / Пензенский ИСИ; НИИЖБ Госстроя СССР. – М.; Пенза, 1989. – 16 с.

© Макридин Н.И., Максимова И.Н., 2017

УДК 69.059.4

Матвеева И.В.
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Технический Университет,
Тамбов, Россия
Мандрыкина А.С.
магистрант,
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Технический Университет
Тамбов, Россия

СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО КОМПЛЕКСА В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

METHODS FOR RESEARCHING THE TECHNICAL CONDITION OF AN HISTORICAL ARCHITECTURAL COMPLEX

Аннотация. Одна из проблем сохранения ценного градостроительного наследия состоит в том, что в большинстве случаев объекты наследия не могут быть просто музеефицированы или законсервированы. Памятники архитектуры имеют фактический срок службы, существенно превышающий нормативный, в связи с чем возникают эксплуатационные проблемы, связанные с большим физическим и моральным износом зданий, с физической деградацией инженерных коммуникаций. Установление фактического технического состояния зданий-памятников в исторической среде и назначение мероприятий по их сохранению и восстановлению является важным звеном в продлении их жизни с адаптацией к современным нуждам общества.

Ключевые слова: памятник архитектуры, техническое состояние, экспресс–обследование, неразрушающие методы.

Abstract. One of the problems of saving the valuable urban development heritage is that in most cases, heritage site it cannot simply be preserved. Architectural monuments have an actual service life, essential exceeding standard in relation to arise operational problems, related to large physical and moral deterioration of buildings with physical degradation of engineering communications. Establishing the actual technical condition of monuments buildings in the historical environment and appointment of activities for their saving and restoration is the most important link in their lives with adaptation to the modern needs of society.

Keywords: architecture monument, technical condition, express inspection, nondestructive methods.

Жизнь большей части населения нашей страны, так же, как и очень многих зарубежных стран, связана с давно сложившимися поселениями, у которых есть прошлое, оставляющее после себя ценные объекты историко-культурного наследия. Тамбов является провинциальным городом, имеющим свою историю, ведущую начало с 1635г. За время формирования города сложилось разнообразие памятников истории, культуры, архитектуры и градостроительства. Они различны и по степени сохранности, художественной, научной и исторической ценности, однако для всех единым является их принадлежность к отечественной истории, культуре и вытекающая отсюда потребность в их сохранении и современном использовании.

Для оценки необходимости сохранения, последующего использования или адаптации зданий-памятников к современным условиям было проведено исследование зданий, расположенных в квартале исторической застройки в г. Тамбове. Исследуемый квартал

расположен в границах улиц Интернациональная, Носовская, Коммунальная, Базарная. Данная территория находится в историческом центре Тамбова, имеет административно-торговое назначение, а ее застройка представляет историческую, культурную и этнографическую ценность. На территории квартала имеются значимые для города здания: памятники архитектуры регионального значения - Тамбовское отделение Сбербанка России, учебный корпус ТГУ им. Г.Р. Державина, детская музыкальная школа №1, архитектурный комплекс регионального значения по ул. Коммунальной, административное здание - Государственный архив социально-политической истории Тамбовской области (рис. 1).

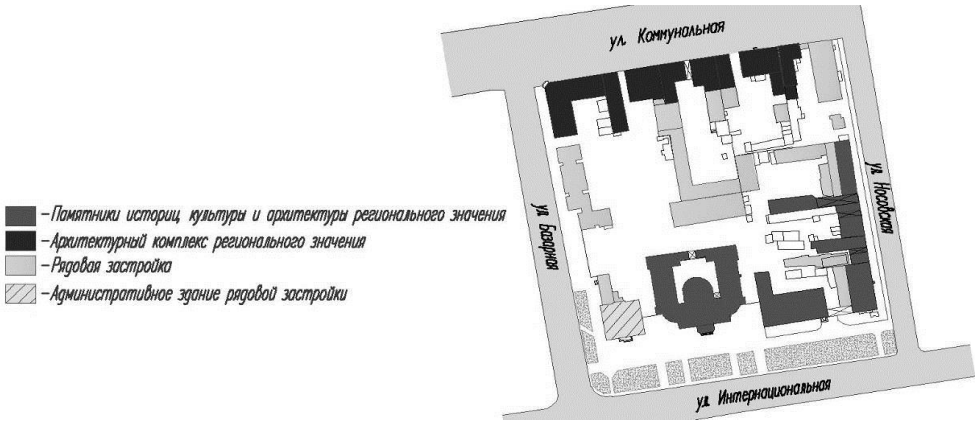


Рисунок 1 – Картограмма историко-архитектурной ценности застройки

Часть зданий, расположенных на территории исследуемого квартала и относящихся к памятникам истории, культуры и архитектуры (рис. 2) имеет в целом удовлетворительное техническое состояние.

Рисунок 2 – Фотофиксация памятников истории, культуры, архитектуры исследуемого квартала

Здания используются по своему функциональному назначению и их состояние вполне удовлетворительно благодаря своевременному выполнению технических осмотров и ремонтов.

Здания архитектурного комплекса постройки XIX века, расположенные на территории исследуемого квартала, так же обладают историко-архитектурной ценностью. К архитектурному комплексу относятся пятьразличных по высоте двухэтажных зданий и одно трехэтажное,фасады которых отражают стилистическую уникальность застройки исторического центра Тамбова. Здания комплекса располагаются в черте Тамбовского Центрального рынка, в связи с чем подвалы их используются под складские помещения, первые этажи - в качестве торговых помещений, а верхние этажи и вовсе не функционируют. Вследствие этого состояние несущих конструктивных элементов зданий архитектурного комплекса аварийное, а ограждающих конструкций - весьма ветхое.

Одной из главных проблем аварийного технического состояния архитектурного комплекса по ул. Коммунальной в Тамбове является то, что все здания или их части имеют разных арендаторов, которые в свою очередь не могут провести комплекс реконструкционных работ всего архитектурного комплекса. В связи с этим нарушена архитектурная целостность фасадов. Наружные стены здания архитектурного комплекса оштукатурены только со стороны главных фасадов и имеют разное техническое состояние и цветовое решение. Многочисленные рекламные вывески закрывают архитектурные детали фасадов.

Для оценки технического состояния архитектурного комплекса было проведено визуальное обследование [1], результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характерные дефекты и повреждения архитектурного комплекса

№ п/п	Вид повреждения и дефекта, место их расположения и характерные признаки обнаружения	Фотофиксация дефектов и повреждений
	Деформация стен	
1	Искривление горизонтальных и вертикальных линий	
2	Выпучивание стен	
	Отколы, раковины, выбоины и другие нарушения сплошности	
3	Отколы углов, пробоины, выбоины, борозды и др.	
	Увлажнение кладки стен	

4	Разрушение наружного слоя (штукатурки, облицовки и др.)	
5	Разрушение каменной кладки стен в парапетной или карнизной части наружных стен, под окнами, нишами, в зонерасположения водосточных труб	
6	Разрушение каменной кладки стен в их цокольной части	
7	Увлажнение внутренней поверхности стен в различных зонах	
Повреждения защитных, отделочных слоев и архитектурных элементов		
8	Растрескивание или отслоение штукатурных покрытий или фактурных слоев с выпадением отдельных кусков	

9	Утрата архитектурных деталей и элементов на фасадах зданий	
Разрушение основного материала стен		
10	Вертикальные трещины в местах сопряжения пилястр с кладкой стены	
11	Горизонтальные и косые трещины по швам кладки арочных перемычек; вертикальные трещины, с выпадением отдельных камней	

В связи с выявленными дефектами при визуальном обследовании архитектурного комплекса можно сделать вывод о том, что здания нуждаются в скорейшем проведении ремонтно-реставрационных работ.

Для определения перечня первоочередных ремонтно-реставрационных мероприятий необходимо провести оценку технического состояния здания и определить причины возникновения дефектов. Работы по обследованию большого количества зданий следует проводить по типу экспресс-обследования, которое позволяет быстро определить состояние здания и дать мероприятия для приостановления его разрушения. Состав и сроки работ должны быть минимальными, а рекомендации приняты к исполнению в ближайшее время.

Экспресс-обследование согласно [2] предусматривает проведение работ в короткие сроки в зданиях, которые могут находиться в аварийном состоянии, поэтому основной упор делается на визуальное обследование и определение характеристик материалов неразрушающими методами [3].

При инструментальном методе обследования в общем случае устанавливаются: прочность каменной кладки, камней (кирпича) и раствора; влажность материалов; морозостойкость, водопоглощение; плотность материалов; теплотехнические свойства ограждающих конструкций; состояние арматуры в армокаменной кладке.

Прочностные характеристики каменной кладки наиболее рационально определять косвенно, по установленным маркам кирпича раствора, при этом прочность компонентов каменной кладки зданий архитектурного комплекса необходимо определить неразрушающими методами. К неразрушающим относится метод пластического деформирования с использованием склерометров ОНИКС-2.5, ОМШ-1 и др. Ширину раскрытия трещин измеряют с помощью градуированных луп и микроскопов (МИР-2, МБП-2), пластмассовых или бумажных трафаретов с нанесенными линиями толщиной 0,05—2,0 мм. Глубину трещин определяют с помощью ультразвуковых приборов (УКБ-1М, УК-10П, УЗП-62 и др.).

За раскрытием трещин наблюдают с помощью гипсовых или других маяков, а также с помощью луп, трафаретов и микроскопов.

По результатам экспресс-обследования присваивается категория состояния сооружения в целом или каждого из его строительных объемов, составляется паспорт здания и периодичность осмотра. Результаты обследования, на основании [4,5], должны быть представлены в виде рекомендации по консервации, усилению отдельных конструкций,

обеспечению безопасности эксплуатации, составу и периодичности мониторинга.

Экспресс-обследование здания поможет определить предварительный объем ремонтно-реконструкционных работ и установить возможную стоимость реконструкции всего комплекса для включения его зданий в программу реставрации исторической застройки.

Литература

1. Ремнев В.В., Морозов А.С., Тонких Г.П. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 196 с.

2. Леденев В.И., Матвеева И.В., Карташова Г.В. О возможности экспресс-оценки возраста исторических зданий по материалам кладки и конструктивным признакам кирпичных стен // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Тамбов: ФГБОУ ВО ТГТУ, 2017.

3. Слукин В.М. Неразрушающие методы исследования памятников архитектуры. Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1988. 218 с.

4. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

5. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

© Матвеева И.В., Мандрыкина А.С., 2017

УДК69.056.7

Меланич В.М.
кандидат технических наук, доцент
БИТИ филиал НИЯУ «МИФИ», Россия
Шарипов Р.Р.
студент группы СЗС-41
БИТИ филиал НИЯУ «МИФИ», Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ АЭС В РФ ИЗАРУБЕЖОМ

MODERN NPP CONSTRUCTION TECHNOLOGIES IN RUSSIA AND ABROAD

Аннотация. В этой работе представлены основные технологические концепции в строительстве главных корпусов АЭС в Росси и за рубежом, проводится сравнение отечественного и зарубежного проектов.

Ключевые слова: крупноблочное строительство, технология «OpenTop», Multi-D моделирование.

Abstract. This paper presents the basic technological concept in the construction of the main buildings of the NPP in Russia and abroad, comparison of domestic and foreign projects.

Keywords: large-block construction, technology «Open Top», Multi-D modeling.

В связи с увеличением мирового энергопотребления, ухудшением экологической обстановки и уменьшением запасов углеводородов

становится необходимым поиск альтернативных источников энергии. Одним из таких источников является энергия атомного ядра.

Для инженеров и проектировщиков возникла задача создания проекта АЭС, который бы отвечал новейшим мировым стандартам безопасности эксплуатации, качества и времени строительства. Немаловажным фактором стало и снижение стоимости производства.

Внедрение прорывных решений закладывается не на стадии проектирования, а раньше – на стадии разработки и выпуска стандартов и требований к проектированию АЭС. Это первый шаг на пути соответствия проекта мировым стандартам. Существует два подхода к возведению АЭС: прогрессивный и экстенсивный.

В России и за рубежом выделили несколько основных технологических концепций прогрессивного подхода, которые используются при строительстве АЭС:

1. Крупноблочное строительство (крупноблочные строительные конструкции, несъёмная сталефибробетонная опалубка, применение гиперпластификаторов);

2. Система управление проектом сооружения АЭС (Multi-D моделирование);

3. Применение инновационных материалов (высокопрочный бетон, композитные материалы);

4. Передовые технологии монтажных работ (технология монтажа OpenTop, автоматизация сварки трубороводов, комплектно-блочное изготовление оборудования);

5. Разработка системы стандартов, обеспечивающих сооружение АЭС, разработка технологических регламентов;

6. Повышение квалификации персонала в соответствие с развитием инновационных технологий строительства, монтажа, сварки и др.

А теперь коротко о первых четырёх, самых основных технологических концепциях в блоке прогрессивного подхода.

Здание АЭС возводится из плоских и объемных монтажных модулей, предварительно собираемых на площадке укрупнительной сборки. В состав модулей помимо строительных конструкций включены элементы оборудования. Для монтажа модулей на весь период строительства устанавливаются большегрузные краны.

Так называемое Multi-D моделирование помогает решить следующие основные задачи управления строительством:

- оптимизация последовательности выполнения строительно-монтажных работ;

- оптимизация численности трудовых ресурсов, машин и механизмов, используемых в процессе монтажа;

- сокращение общей стоимости строительства.

С точки зрения методологии компании Тошиба, понятие «6D» (Multi-D) образуется из следующих составляющих:

- 3D – трехмерная модель сооружаемого объекта;

- 4D – время, необходимое на его сооружение;

- 5D – физические объемы, то есть, тоннаж трубопроводов, номенклатура оборудования и т.п.;

- 6D – трудовые ресурсы, необходимые при выполнении работ.

Ещё больших результатов можно добиться, применяя такую технологию в сочетании с виртуальной средой. Проектировщик будет иметь возможность фактически манипулировать с виртуальным

трёхмерным узлом или блоком «вручную», двигая или изменяя его форму или свойства специальным манипулятором.

Новые материалы представлены в виде самоуплотняющегося бетона, которые практически исключают трудозатраты на вибрирование свежеуложенного бетона.

Применение технологии «OpenTop» (открытый верх) значительно сокращает сроки строительства АЭС, за счёт параллельности процессов монтажа оборудования и строительства самого здания (будь то оболочка РО или машзал).

Использование армоблоков полной заводской готовности с несъемной сталефибробетонной опалубкой и автоматической сварки при их стыковкепозволяет существенно ускорить строительство АЭС.Из армоблоков стен выполняется укрупнительная сборка жестких самонесущих фрагментов стен помещений. В отечественном проекте предусмотрено устройство стыков арматурных стержней армоблоков с помощью петлевого стыка и резьбовых муфт. Это позволяет сократить время стыковки блоков, сводит сварочные к минимуму и исключает потребность в высококвалифицированных рабочих.

Экстенсивный подход возведения стен и перекрытий АЭС заключается в армировании их отдельными стержнями и последующим заполнением армокаркасов монолитным бетоном с использованием съёмной опалубки. Схема механизации работ предусматривает использование для этой цели легких башенных кранов. Монтаж укрупненными блоками применяется только для элементов металлической облицовки защитной оболочки. Для обеспечения этих подъемов на ограниченный период привлекаются краны большой грузоподъёмности.

Успешность этого варианта зависит от численности рабочих и наличия резервов в рабочих кадрах для ведения работ при отставании от графика.

Среди всего многообразия проектов главных зданий и сооружений АЭС на сегодняшний день наиболее конкурентоспособными из строящихся являются американо-японский АР-1000 и российский ВВЭР-ТОИ. Оба эти проекта создавались на основе новейших технологических концепций прогрессивного подхода к возведению. Однако здесь стоит отметить некоторое отставание отечественного проекта от зарубежного конкурента по части следующих характеристик:

1. ВВЭР-ТОИ уступает АР-1000 по удельным расходам бетона и стали на сооружение «ядерного острова» приблизительно в 3 раза,

2. ВВЭР-ТОИ уступает проектам АР-1000 по удельному объёму реакторных зданий в 2 раза,

3. По сравнению с ВВЭР-ТОИ АР-1000 имеет приблизительно на 40% меньше длину трубопроводов и количество запорной арматуры. Длина трубопроводов систем безопасности и кабелей в 4-5 раз меньше.

4. Удельная площадь размещения АЭС с ВВЭР-ТОИ приблизительно в два раза больше чем для АЭС АР-1000.

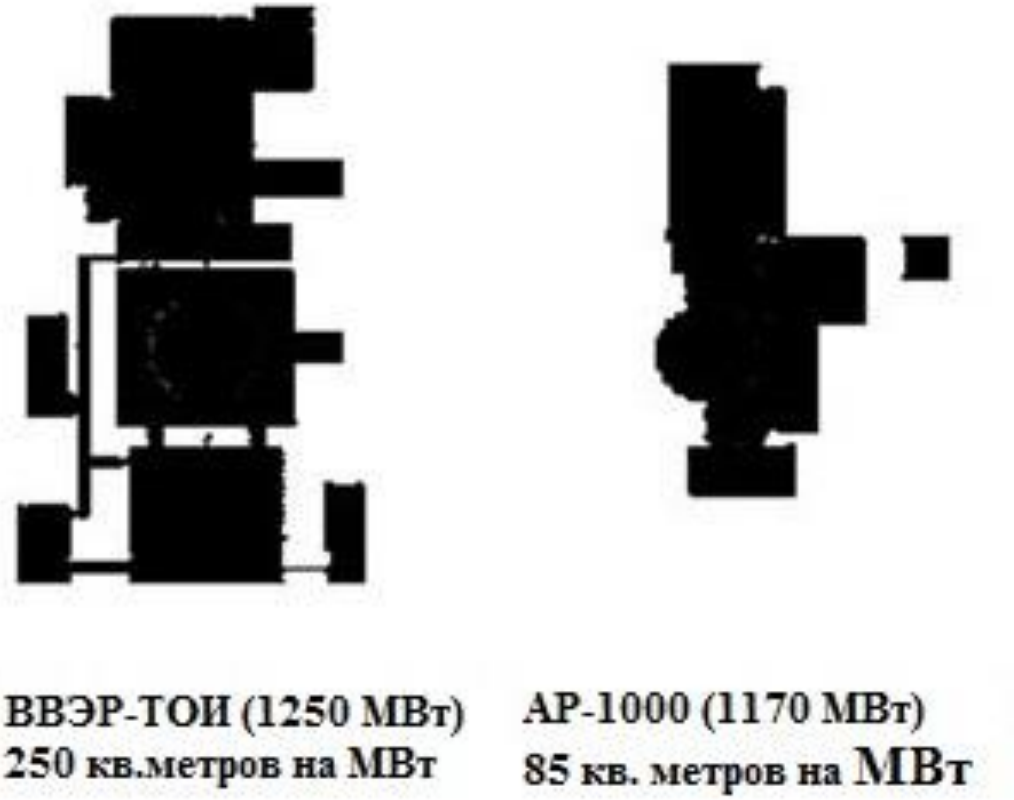


Рис.2 Сравнение планов основных зданий и сооружений и удельных площадей промплощадок ВВЭР-ТОИ и АР-1000

ЭР-ТОИ почти в 3 раза больше, чем удельная площадь АР-1000. В свою очередь это означает, что объёмы работ и объёмы строительных материалов в случае проекта ВВЭР-ТОИ будут намного больше, чем у западного проекта.

Существует отставание и в сроках сооружения. На настоящий момент это отставание составляет около четырёх месяцев не в пользу российского проекта.

Также вопросы вызывает архаичная конструкция тигельной ловушки расплава, так называемого устройства локализации расплава (УЛР), которая увеличивает высоту гермооболочки на 6-7 метров, что опять же

увеличивает объём работ и расход материала, не говоря о финансовых издержках.

Исходя из всего вышеизложенного можно утверждать, что у России есть проект типовой АЭС, который удовлетворяет мировым стандартам, но без соответствующих изменений в технологии проектирования и возведения этот проект конкурентоспособен только в пределах самой России.

Литература

1. Малинин С. М. Современные тенденции развития технологии сооружения АЭС в России и за рубежом // ежемесячный журнал «Атомное строительство» 2013. №15, -8с.

2. Красновский Р.О., Дорф В.А. Перспективы возведения зданий и сооружений АЭС из армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой // ежемесячный журнал «Атомное строительство» 2013. №15, -21с.

3. Угланов Д. В. Multi-D – комплексная система управления сооружением сложных инженерных объектов // ежемесячный журнал «Атомное строительство» 2013. №15, -33с.

4. В.В.Биктимиров Конъюнктурный обзор технологий строительства АЭС//http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5186 (дата обращения 15.11.17).

5. Б.И.Нигматулин ВВЭР-ТОИ – Тупик, Обманка, Имитация // http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4045&utm_source=warfiles.ru (дата обращения 15.11.17).

© Меланич В.М., Шарипов Р.Р., 2017

УДК 693.5

Меланич В. М.
кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;
Ремизова Л. А.,
студентка;
Чесноков Н.Д.,
студент;
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ 3D- АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

BUILDING COMPOSITES FOR 3D ADDITIVE TECHNOLOGIES

Аннотация. Изложены результаты анализа рецептурного обеспечения аддитивных технологий. Сформулированы основные требования к строительным смесям, обусловленные особенностями 3D – технологиями в строительстве.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-принтер, строительные смеси, фиброволокно, быстротвердеющий бетон, композиционные гипсовые вяжущие.

Annotation. The results of the analysis of the prescription of additive technologies are presented. The basic requirements to building mixes, caused by features of 3D - technologies in construction are formulated.

Keywords: additive technologies, 3D-printer, building mixes, fiber-reinforced fibers, fast-hardening concrete, composite gypsum binders.

Аддитивные технологии (АМ – AdditiveManufacturing) достаточно длительный период развивались медленно, и настоящий прорыв отмечают примерно с 2010 года. АМ - технологии нашли применение во многих

отраслях: машиностроении, медицине, энергетике, а также в строительстве.

Для успешного применения 3D – технологий в строительстве необходимо применять последние достижения в трех направлениях: информационные технологии (программное обеспечение процесса), робототехника (конструкции, узлы и агрегаты 3D принтера) и материаловедение (рецептуры и свойства материала, в данном случае – бетона, из которого будет возведен будущий объект).

На сегодняшний день многие вопросы в первых двух областях уже решены благодаря тому, что они являются общими для всех 3D принтеров, в какой бы области они не применялись. Иная картина открывается, когда речь заходит о применении 3D принтера в строительстве, и необходимости применения специальных бетонов, которые бы обеспечивали безопасную эксплуатацию зданий, их прочность и долговечность.

В материаловедении строительных аддитивных технологий на сегодняшний день наблюдается серьезный пробел. При ближайшем рассмотрении вопроса, создание мелкозернистых бетонов, которые отвечали бы всем строгим требованиям, оказывается непростым.

В большинстве случаев в строительных 3D - технологиях применяют существующие сухие строительные смеси. Эти смеси могут иметь различное первоначальное назначение – от клеевых составов до штукатурных смесей, но совершенно очевидно, что они не обеспечивают весь комплекс требований в виду их иного применения. Для широкого внедрения 3D - технологий в практику строительства необходим комплексный подход к разработке рецептуры мелкозернистого бетона.

Для разработки состава сухой строительной смеси для строительного 3D принтера и уточнения задач исследований необходимо определиться с

требованиями, которые должны представляется к тому бетону, как на стадии смеси, так и в затвердевшем состоянии. При этом можно условно выделить типовые требования и требования, обусловленные особенностями технологии (табл. 1).

Таблица 1

Основные требования к смесям для 3D принтера

Требования к материалу	Общие требования	
	Типовые	Обусловленные особенностями технологии
Требования к смеси	Связность (сплошность).	Формоустойчивость. Способность полноценной гидратации в тонком слое. Регулируемость сроков схватывания.
Требования к затвердевшему бетону	Прочностные и деформационные характеристики (начальный модуль упругости, ползучесть) в период эксплуатации. Морозостойкость.	Регулируемость кинетики твердения, обеспечение прочности сцепления между соседними слоями, ограничение усадочных деформаций.

В большинство смесей, используемых в 3D печати, в качестве вяжущего материала применяется портландцемент. В дополнении к основному компонентуиспользуют различные добавки: суперпластификаторы и замедлители твердения. В качестве заполнителя используется песок. Для того чтобы уменьшить диаметр сопла 3D принтера, применяетсяпесок с необходимым размером частиц. В этом случае водоцементное отношение составляет 0,5, а средняя величина предела прочности при сжатии – 18,9 МПа [4].

Особый интерес представляют эффективные композиты на основе многокомпонентных систем с микро-, ультра- и нанодисперсными наполнителями в сочетаниис различнымидобавками. В этом

случаепримененяется быстротвердеющий реакционно-порошковый бетон, армированный стальной или полимерной микрофиброй, особенностью которого является отсутствие крупного заполнителя без потери в соотношении вяжущая/твердая составляющие, имеющий высокие эксплуатационные характеристики (бетон класса В60 и более) [1].

В последнее годы разработан целый спектр строительных композитов на основе быстротвердеющих водостойких композиционных гипсовых вяжущих (КГВ), модифицированных различными видами минеральных добавок.

КГВ представляют собой гомогенную смесь дисперсных компонентов, один из которых выполняет функцию регулирования раннего схватывания и быстрого набора прочности; другой (органоминеральный модификатор, состоящий из портландцемента и минеральной добавки) – обеспечивает гидравличность вяжущего и дальнейший рост прочности за счет формирования нового типа структуры, способствуя повышению долговечности; третьи – модифицирующие добавки, предназначены для снижения водопотребленияВяжущего, способствуют его полной и быстрой гидратации.

Высокодисперсные наполнители с удельной поверхностью не менее 500-600 $м^2$/кг, получаемые тонким измельчением техногенного сырья - кварцевый песок, туф, мел и другие, способствуют эффективному управлению процессами внутреннего структурообразования композитов, обеспечивая высокое качество изделий на их основе [2].

Во Владимирском государственном университете ведутся разработки грунтобетона, который можно будет применять в качестве материала для 3D - технологии. В состав смеси входит глинистый грунт, магнезиальное вяжущее, в качестве затвердителя используется раствор сульфата магния. Для повышения водостойкости композита используется дигидрофосфат

калия. Стоимость грунтобетона в 5-7 раз ниже стоимости бетона, применяемого в технологии трехмерной печати, при равных прочностных характеристиках [3].

Широкое применение в 3D - технологиях может найти цементная смесь с фиброволокном. Добавление фибры в смесь позволяет достичь сразу нескольких целей:

- армирование бетона, вплоть до полной замены армокаркаса на фиброволокно, обеспечивая тем самым жёсткость и прочность конструкции, уменьшая её вес и снижая расходы на создание армокаркаса;

- повышение пластичности цементных растворов, что особенно важно для равномерной подачи смеси через печатающую головку строительного принтера;

- уменьшение удельного веса смеси, позволяющее наносить большое количество слоёв при печати;

- повышение износостойкости бетонных изделий, при полном застывании бетона;

- защищенность от внешнего воздействия влаги и агрессивных веществ. Капилляры, образующиеся в процессе дегидрации бетона, заполняются фиброволокном, не позволяющим проникать в бетон влаге из вне.

Применение фиброволокна позволяет улучшить подвижность смеси, печатать элементы сравнительно большей высоты. Однако лабораторные испытания контрольных образцов показали, что прочность бетона относительно невелика: при сжатии в возрасте 28 суток - 1,6 МПа, а прочность на растяжение при изгибе чуть менее 1МПа.

Совершенно понятно, что применение металлической арматуры, при традиционном армировании возводимых зданий, при печати на строительном 3Dпринтере вызывает трудности. Частично эта проблема решается применением фиброволокна, частично путем обычного

армирования в технологические пустоты стен при сборке зданий, с последующей заливкой бетоном. Не исключается возможность горизонтального армирования – укладки арматуры или плоских армокаркасов между слоями изделий в процессе печати.

3D- технологии, несомненно, окажут огромное влияние на развитие строительной отрасли. Значительный экономический эффект от их применения связан с меньшим количеством труда, необходимого для строительства.

Литература

1. Калашников В.И. Как превратить бетон старого поколения в высокоэффективный бетон нового поколения // Бетон и железобетон. 2012. №1. С. 82-89.

2. Елистраткин М.Ю., Лесниченко Е.Н. и др. К вопросу о возможных практических реализаций послойного формирования строительных изделий и конструкций // Международная научно-техническая конференция. Белгород. 2016.

3. Рамазанов А.А. Грунтобетон в закладке фундамента // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3 (30). С. 43-47.

4. Khoshnevis B., Hwang D. Mega-scale fabrication by contour crafting // Int. Industrial and Systems Engineering, vol1. №3. 2006

© Меланич В.М., Ремизова Л.А., Чесноков Н.Д., 2017

УДК 69.059.2

Меслемани Х.
магистрант
ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет
Матвеева И.В.
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет
Жоголева О.А.

кандидат технических наук
ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В СИРИИ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ И ПОЛИМЕРБЕТОНОВ ДЛЯ РЕМОНТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПРИ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION IN SYRIA OF POLYMER SOLUTIONS AND POLYMROBES FOR THE REPAIR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF BUILDINGS DAMAGED BY FORCE IMPACTS

Аннотация. В статье анализируется имеющийся в России опыт по ремонту и восстановлению поврежденных железобетонных конструкций с применением полимеррастворов и полимербетонов. Показано, что имеющиеся в Россиирецептуры составов, разработанных на основе полимерных материалов, и технологии ремонтов железобетонных конструкций с их использованием пригодны для применения в Сирии при ремонте поврежденных при силовых воздействиях зданий.

Ключевые слова: ремонт и восстановление зданий, полимеррастворы и полимербетон.

Abstract. The article analyzes the experience in Russia of repairing and repairing damaged reinforced concrete structures using polymer solutions and polymer concrete. It is shown that the formulations developed in Russia, developed on the basis of polymeric materials, and the technology of repairing reinforced concrete structures with their use are suitable for wide application in Syria when repairing damaged buildings exposed to force.

Keywords: repair and restoration of buildings, polymer solution and polymer concrete

В настоящее время в Сирии имеется большое количество зданий поврежденных в результате взрывов снарядов и возникающего при этом избыточного давления в воздушных ударных волнах. При взрывах снарядов кроме значительных глубоких повреждений и разрушений элементов конструкций появляются многочисленные осколочные повреждения бетона. Они в большинстве своем носят поверхностный характере в виде разрушений защитного слоя бетона и частичного оголения несущей и конструктивной арматуры. В ряде случаев могут возникать и более глубокие объемные повреждения. При образовании избыточного давления в виде ударной воздушной волны в здании происходят силовые воздействия на конструкции, приводящие к деформации элементов и, как следствие, к появлению трещин с различной глубиной и шириной раскрытия. Так как монолитные железобетонные здания имеют жесткие соединения несущих элементов, при ударных нагрузках в зависимости от напряженно деформированного состояния в них образуются трещины различного вида и положения (вертикальные, горизонтальные, наклонные и т.д.). При этом в местах образования трещин могут происходить также и значительные сколы бетона.

Большой объем имеющихся повреждений и разрушений и необходимость их быстрой ликвидации требует применения эффективных экономичных методов ремонта поврежденных конструкций. Анализ имеющегося в России опыта восстановления гражданских и промышленных зданий, поврежденных при различных силовых воздействиях на железобетонные конструкции, показывает, что наиболее быстрым и эффективным способом ликвидации повреждений является использование полимеррастворов и полимербетонов. Применение

полимерных материалов для ремонта и восстановления железобетонных конструкций позволяет снизить трудозатраты и сократить сроки проведения ремонтных работ. Последнее особенно важно для Сирии в условиях массового возвращения людей на свои бывшие мета проживания.

Полимерцементные растворы и бетоны давно используются в строительной в практике России. В основе их изготовления и применения лежат работы академика РААСН Соломатова В .И. [1,2]. К настоящему времени в России и странах СНГ накоплен большой опыт восстановления поврежденных участков конструкций полимеррастворами и бетонами при ремонте, реконструкции и реставрации гражданских зданий, а так же при реконструкции и ремонте промышленных зданий. На основе этого опыта разработаны подробные рекомендации по их применению [3,4,5,6,7].

Ниже рассмотрена возможность использования данного опыта при ремонте монолитных железобетонных конструкций,имеющих осколочные повреждения бетона и возникшие при внешних силовых воздействиях трещины.

Процесс восстановления поврежденных конструкций включает в себя несколько последовательных этапов.

На первом этапе производится обследование поврежденных конструкций с целью установления степени повреждений и возможности их дальнейшей эксплуатации при имеющихся повреждениях, а также составляются дефектные ведомости с указанием видов и объемов ремонтных работ.

На втором этапе необходимо определять оставшуюся несущую способность поврежденных конструкций [8].

Если несущая способность окажется недостаточной необходимо выбрать способ усиления конструкции [9], чтобы в последующем

производить ремонтные работы по восстановлению поврежденного бетона и заделке трещин совместно с усилением конструкций, учитывая принятый способ усиления.

На третьем этапе производится выбор способов ремонта бетона и заделки трещин на поврежденных участках конструкций и подбор в соответствие с выбранными способами состава ремонтных смесей. Выбор способов зависит от характера повреждений. Как правило, на монолитныхперекрытиях могут быть: поверхностные повреждения защитного слоя бетона без оголения арматуры;глубокие повреждения с оголением арматуры; поверхностные и глубокие трещины; глубокие повреждения совместно с трещинами в бетоне глубже повреждений.

Четвертым этапом является разработка технологии восстановления и ее практическое исполнение. Технология зависит от вида повреждений.

Ниже рассмотрены основные методы и принципы заделки трещин, возникающих при силовых воздействиях железобетонных монолитных конструкций, и восстановления поврежденных участков объекта конструкций с использованием полимеррастворов и полимербетонов, которые могут быть напрямую применены при ремонтах на поврежденных зданиях в Сирии.

Трещины в зависимости от ширины их раскрытия могут заливаться или инъекцироваться ненаполненными композициями, состав которых включает в себя базовый компонент, как правило, эпоксидную смолу, пластификатор, растворитель, отвердитель. Согласно [4], содержание компонентов зависит от классов (составы НК-1- НК-15) и определяется их рецептурой. Для этой цели могут использоваться также составы на фурано-эпоксидной смоле. Составы для заделки трещин на основе этой смолы приведены в [7].

Инъекция трещин полимеррастворомм может осуществляться через нагнетательные трубки поверхностного или глубинного типа (в зависимости от вида трещины). Шаг трубок выбирается в зависимости от глубины и ширины раскрытия трещин, определенных на первом этапе при обследовании конструкций.

При таком способе заделка трещин обеспечивается не только герметизация трещин, но и практически равнопрочное соединение расчлененных участков конструкций, что очень важно при восстановлении конструкций, подверженных одноразовому воздействию запредельной внешней нагрузки.

Подробно технология заделки трещин, которую можно применить при заделке трещин, возникающих при силовых воздействиях на монолитные железобетонные перекрытия, изложена в рекомендациях [7].

Ремонт повреждений со сравнительно небольшим отколом бетона может производиться путем заполнения разрушенных мест высоконаполненными полимеррастворами, состав которых включает в себя базовые компоненты в виде эпоксидных или других смол, пластификатор, растворитель, отвердитель и, в отличие от предыдущего состава, наполнитель из кварцевого песка, гранитной муки и др. Содержание и вид компонентов, согласно [4], зависит от классов (составы ВК1-ВК15) и определяются их рецептурой. Анализ составов показывает, что они практически все пригодны для использования в условиях Сирии.

При повреждениях, имеющих значительные объемы, производится бетонирование повреждений бетоном на мелкозернистом заполнителе или на крупном песке (пескобетон). При этом на ремонтируемые поверхности предварительно должны наноситься адгезионные обмазки, в состав которых входит отвердитель из смол, пластификатор, растворители,

отвердитель и наполнитель. Содержание и вид компонентов этих обмазок,согласно [4], зависит от классов обмазки (СК1 -СК15) и определяется их рецептурой. Адгезионные обмазки и бетоны, рекомендуемые для России, могут быть использованы и в Сирии.

Для ликвидации объемных повреждений бетона могут также использоваться составы с отвердителями из эпоксидных смол, рецептура которых приведена в [7].

Подробная технология заделки объемных повреждений, которая может быть использована при ремонте конструкций поврежденных зданий в Сирии приведена в рекомендациях [7].

При глубоких трещинах и наличии на их наружных поверхностях значительных сколов бетона, заделку следует выполнять в два этапа. Вначале должен инъекцироваться раствор в трещины, а затем производиться заделка разрушенных участков бетоном на мелкозернистом заполнителе с предварительной адгезионной обмазкой поверхностей повреждений. При этом в условиях Сирии могут использоваться составы, рецептура которых разработана в России для применения в условиях положительных температур.

В целом результаты выполненного нами анализа имеющегося опыта заделки повреждений в железобетонных конструкциях с использованием полимеррастворов и бетонов дает основание считать его использование перспективным для ремонта поврежденных несущих конструкций в гражданских и промышленных зданиях Сирии.

Для ремонта железобетонных конструкций в условиях Сирии можно применять составы, рецептура которых приведена в рекомендательных документах, разработанных в России.

При восстановлении железобетонных конструкций с использованием полимерцементных и полимербетонных материалов следует использовать технологии ремонта и оборудованием для осуществления, проверенные на многочисленном опыте в России и изложенные в рекомендациях [3,4,5,6,7].

Литература

1. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны М.: Стройиздат, 1967. 204 с.
2. Соломатов В.И. Структурообразование и технология полимербетонов / Строительные материалы. 1970. №8. С. 33-38
3. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами / ТбилЗНИИЭП. - М.: Стройиздат, 1990. 160 с.
4. Рекомендации по применению защитно-конструкционных полимеррастворов при реконструкции и строительстве гражданских зданий / НИЛЭП ОИСН. -М.: Стройиздат, 1986. 112 с.
5. Рекомендации по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона. М.: Стройиздат, 1982. 96 с.
6. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройпроект. - М.: Стройиздат, 1990. 176 с.
7. Рекомендации по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций полимерными составами / НИИЖБ - М.: НИИЖБ Госстроя СССР. 1986. 28 с.

8. Андрианов К.А. Расчёт усилений конструкций перед реконструкцией и капитальным ремонтом / К. А. Андрианов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 112 с.

9. Леденев В.И. Выбор способов усиления конструкций при реконструкции и капитальном ремонте зданий / В.И. Леденев, П.В. Монастырев, И.В. Матвеева, К.А. Андрианов. Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2016. 97 с.

© Меслемани Х., Матвеева И.В., Жоголева О.А., 2017

УДК 678

Морозов Д.В.*
студент группы б-МНСТ-41
Ерофеева К.Р.*
студентка группы б-МНСТ-41
Злобина И.В.*
кандидат технических наук
Бекренев Н.В.*
доктор технических наук, профессор
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»*

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR THE USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN CIVIL CONSTRUCTION STRUCTURES

Аннотация.Материал посвящен применению полимерных композитных материалов в строительстве. Приведены тенденции развития технологий изготовления и применения таких изделий, как композитная арматура и композитные мостовые настилы. Выделены основные сдерживающие факторы развития рынка ПКМ строительного назначения в России.

Ключевые слова: композиционные материалы, строительство, матрица, современные материалы, промышленность.

Abstract:the article is devoted to application of polymer composite materials in construction. Given trends in the development of technologies for production and application of products such as composite reinforcement, composite bridge decks. Main constraints of market development of PKM for building purposes in Russia.

Key words: composite materials, construction, matrix, modern materials industry.

Применение ПКМ в строительстве позволяет уменьшить массу строительных конструкций, повысить коррозионную стойкость и стойкость к воздействию неблагоприятных климатических факторов, продлить межремонтные сроки, выполнять ремонт и усиление конструкций с минимальными затратами ресурсов и времени. Однако необходимо отметить, что развитие отечественного рынка ПКМ строительного назначения, как и всего рынка ПКМ в целом, значительно уступает мировому. В последние годы принимается ряд мер, направленных на развитие технологий и производства ПКМ [1, 2].

Как отмечалось выше, «строительный» сегмент занимает существенную часть рынка ПКМ. Основными областями применения

ПКМ являются: арматура и гибкие связи; шпунтовые сваи и ограждения; сэндвич-панели, оконные и дверные профили; элементы мостовых конструкций (пешеходные мосты, переходы, несущие элементы, элементы ограждения, настилы, вантовые тросы); системы внешнего армирования.

Принимая во внимание острую необходимость в масштабном строительстве новых и реконструкции имеющихся объектов транспортной инфраструктуры, основное внимание в данной статье будет уделено таким областям применения ПКМ, как композитная арматура и элементы мостовых конструкций.

За рубежом широкое внедрение композитной арматуры в качестве армирующего материала строительных бетонных конструкций началось с 80-х годов прошлого столетия, в первую очередь при строительстве мостов и дорог. В Советском Союзе научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке и применению композитной арматуры начались в 50-е годы прошлого столетия. В 1963 г. в г. Полоцке был сдан в эксплуатацию цех по опытно-промышленному производству стеклопластиковой арматуры, а в 1976 году в НИИЖБ и ИСиА были разработаны «Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой» [3]. Таким образом, научно-технический задел по изготовлению композитной арматуры был создан еще в Советском Союзе. Композитная арматура на основе непрерывного волокнистого наполнителя и полимерной матрицы имеет ряд значительных преимуществ по сравнению со стальной арматурой (в том числе и с антикоррозионным покрытием), среди которых малая плотность (в 4 раза легче стальной), высокая коррозионная стойкость, малая теплопроводность, диэлектрические свойства, более высокая прочность. Малая плотность и высокая коррозионная и химическая стойкость особенно важны при строительстве объектов транспортной

инфраструктуры (дороги, мосты, эстакады), прибрежных и портовых сооружений.

В последние годы в России обозначился резкий рост интереса к выпуску композитной арматуры, предназначенной для армирования бетонных строительных конструкций. В качестве армирующего наполнителя в арматуре может использоваться стекловолокно, непрерывное базальтовое волокно, а также углеродное волокно. Наиболее распространенный способ изготовления композитной стекло- или базальтопластиковой арматуры – безфильерная пултрузия (нидлтрузия, плейнтрузия). Среди отечественных производителей стекло- и базальтопластиковой арматуры – ООО «Бийский завод стеклопластиков», ООО «Гален», ООО «Московский завод композитных материалов» и многие другие. Углепластиковая арматура производится ХК «Композит».

Российские образцы композитной арматуры не уступают по характеристикам зарубежным аналогам. Однако композитная арматура не находит пока достаточно широкого применения в практике строительства в РФ. Одной из причин этого, по мнению авторов, является недостаточная нормативно-техническая база, регулирующая выпуск и применение композитной арматуры. Хотя производителями арматуры были выполнены значительные работы [4], способствующие скорейшему созданию ГОСТ на композитную арматуру [5], требуется разработка ряда стандартов и рекомендаций для проектировщиков и строителей. Для сравнения, в США институт бетона (ACI) в 2012 году выпустил третью редакцию руководства по проектированию, впервые выпущенного в 1999 г., в то время как отечественные рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой разработаны в 1976 г. [6]. Кроме того, более активному применению композитной арматуры препятствует небольшой опыт работы с ней как строителей, так и конструкторов и архитекторов.

В настоящее время можно выделить две основные тенденции развития технологии изготовления композитной арматуры за рубежом: использование двухслойной арматуры с сердечником из композита, армированного непрерывными волокнами, и внешней оболочки, армированной рубленным волокнистым наполнителем, и разработку технологий изготовления арматуры с использованием термопластичной полимерной матрицы. В качестве примера рассмотрим разработки компаний Composite rebar technologies Inc. [7] и Plasticomp LLC [8]. Первая разработка университета штата Орегон представляет собой полую композитную арматуру и способ ее изготовления. Композитная арматура включает в себя полый сердечник, состоящий из армированной непрерывными волокнами термореактивной смолы, и внешнего слоя – оболочки, состоящей из смолы, армированной рубленными волокнами. Внешняя оболочка прикрепляется химически и физически к сердечнику на одном из этапов непрерывного технологического процесса. Внешний и внутренний диаметр арматуры, их соотношение, а также состав внешней оболочки можно варьировать в достаточно широких пределах, что дает значительные возможности для адаптации продукта к нуждам широкого круга потребителей. Среди преимуществ такой композитной арматуры стоит отметить возможность использования полости внутри сердечника для прокладки электрических или оптико-волоконных кабелей и размещения датчиков состояния конструкции, также они могут использоваться для подачи теплоносителя и создания таким образом не замерзающего мостового пролета. Наличие полого сердечника позволит соединять секции арматуры друг с другом, что также позволит расширить способы ее применения. Внешний слой, армированный рубленым волокном, предохраняет сердечник от механических повреждений во

время транспортировки и применения, а также препятствует проникновению влаги к сердечнику арматуры.

Вторая разработка компании Plasticomp LLC представляет собой технологию изготовления композитной арматуры с использованием термопластичной матрицы. Технологический процесс начинается с изготовления премикса проталкиванием непрерывного волокнистого наполнителя в поток расплава термопластичного связующего, находящегося под высоким давлением и движущегося с большой скоростью. Роторный нож, расположенный по пути следования потока, режет смесь «волокнистый наполнитель–матрица» на короткие отрезки. Далее шнековый смеситель перемешивает рубленое волокно и термопластичную матрицу в расплавленный компаунд, пригодный для дальнейшего экструдирования. Полученный компаунд подается в Т-образную головку экструдера, где он наносится на непрерывный армирующий наполнитель, предварительно пропитанный термопластичным полимером (например, по классической пултрузионной технологии). Таким образом, получается композитная арматура на основе термопластичной полимерной матрицы, состоящая из сердечника, армированного непрерывным волокнистым наполнителем и внешней оболочки также из термопластичной матрицы армированной рубленым волокном. Преимуществами такой системы является большая устойчивость термопластичной матрицы к ударам и образованию микротрещин, возможность нагрева и придания необходимой формы прутку арматуры, возможность использования вторичного полимерного сырья и вторичной переработки самой композитной арматуры. Кроме того, использование вторичного сырья для термопластичной матрицы, а также потенциально возможное ускорение процесса изготовления продукции (не

требуется время для отверждения смолы, как в случае реактопласта) может сделать данный процесс более экономически выгодным, чем традиционно используемые технологи изготовления композитной арматуры.

Основными направлениями развития отечественного производства композитной арматуры являются применение в качестве армирующего наполнителя непрерывного базальтового волокна и модификация составов связующих и технологического оборудования с целью улучшения свойств и повышения производительности производства [9].

Благодаря низкой плотности и высокой устойчивости к негативным воздействиям окружающей среды, ПКМ способны обеспечить значительные преимущества над материалами, традиционно применяемыми в строительстве объектов инфраструктуры, в том числе в строительстве мостов. Мосты, путепроводы, эстакады – сложные инженерно-технические сооружения, к которым предъявляются высокие требования по надежности и долговечности.

По мнению автора работы [10], наиболее перспективными областями применения ПКМ являются пешеходные мосты и мостовые настилы. Стоит отметить, что в РФ активно ведутся работы по разработке технологий изготовления и проектирования пешеходных композитных мостов, построен и успешно эксплуатируется ряд объектов [8], в то время как вопросам разработки, проектирования и применения мостовых настилов из композиционных или гибридных материалов с использованием ПКМ для автомобильных и железнодорожных мостов уделяется меньше внимания.

Кроме таких преимуществ настилов из ПКМ, как малая плотность, что позволяет уменьшить нагрузку на опоры и снизить их материалоемкость, легкость установки (требуется техника с меньшей грузоподъемностью,

более простая технология установки) и высокая коррозионная устойчивость, позволяющая уменьшить эксплуатационные расходы, существует ряд недостатков и проблем. Среди недостатков – высокая стоимость композитных настилов (в США стоимость настила из ПКМ в 2 раза выше стоимости аналогичного железобетонного настила); сложности с разработкой эффективных конструкций крепления «панель–панель» и «панель–продольная балка»; отсутствие полноценных стандартов и руководств по проектированию; недостаточное количество данных по прочностным характеристикам при комбинированном воздействии механических нагрузок и факторов окружающей среды. В связи с этим актуальными являются работы, посвященные системам крепления, разработке рекомендаций по проектированию и эксплуатации композитных настилов, методам прогнозирования прочности, характера разрушения и усталостной долговечности настилов из ПКМ. Значительного внимания также заслуживают работы по применению «умных» композитов, интегрированию датчиков напряженно-деформированного состояния конструкции в ее композитные элементы и применению современных систем диагностики состояния конструкции [9-10].

Литература

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.

2. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.

3. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой (Р-16-78) /НИИЖБ и ИСиА. М. 1976. 21 с.

4. Луговой А.Н., Савин В.Ф. О стандартизации подходов к оценке характеристик стержней из волокнистых полимерных композиционных материалов //Стройпрофиль. 2011. №4. С. 30–32.

5. ГОСТ 31938–2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия.

6. Malnati P. A hidden revolution: FRP rebar gains strength //Composites Technology 2011. №12. P. 25–29.

7. Hollow composite-material rebar structure, associated components, and fabrication apparatus and methodology WO 2012/039872; опубл. 29.05.2012.

8. Device and method for improved reinforcing element with continuous center core member with long fiber reinforced thermoplastic wrapping WO 2009/032980; опубл. 12.05.2009.

9. Чурсова Л.В., Ким А.М., Панина Н.Н., Швецов Е.П. Наномодифицированное эпоксидное связующее для строительной индустрии //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 40–47.

10. Keller T. Material-tailored use of FRP composites in bridge and building construction /In: CIAS international seminar. 2007. P. 319–333.

© Морозов Д.В., Ерофеева К.Р., Злобина И.В., Бекренев Н.В., 2017

УДК 539.3

Мусаев В.К.
доктор технических наук, профессор,

Российский университет транспорта,
Московский политехнический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ, ОТРАЖЕННЫХ, ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ, ДИФРАКЦИОННЫХ, ИЗГИБНЫХ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТОЯЧИХ ВОЛН В ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

SIMULATION OF LONGITUDINAL, REFLECTED, INTERFERENCE, DIFFRACTION, BENDING, SURFACE AND STANDING WAVES IN DEFORMABLE SOLIDS

Аннотация. Рассматриваются некоторые вопросы численного моделирования нестационарных упругих волн в сложных деформируемых областях при различных импульсных воздействиях. Уделяется внимание моделированию продольных, отраженных, интерференционных, дифракционных, изгибных, поверхностных и стоячих нестационарных волн.

Ключевые слова: численное моделирование, верификация, физическая достоверность, математическая точность, численный метод, алгоритм, комплекс программ, продольные волны, отраженных волны, интерференционные волны, дифракционные волны, изгибные волны, поверхностные волны, стоячие волны.

Abstract. Discusses some problems of numerical modeling of nonstationary elastic waves in complex deformable regions under different impulse excitations. Attention is paid to the modeling of longitudinal reflected, interference, diffraction, bending, surface and non-stationary standing waves.

Key words: numerical modeling, verification, physical accuracy, mathematical precision, numerical method, algorithm, software complex, longitudinal waves, reflected waves, interference of waves, diffraction waves, bending waves, surface waves, standing waves.

В работе приводится информация о моделировании различных нестационарных волн (продольных, отраженных, интерференционных, дифракционных, изгибных, поверхностных и стоячих) в деформируемых телах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К.

В работах [1–17] приведена информация о моделировании нестационарных волн напряжений в деформируемых телах различной формы.

Некоторая информация о физической достоверности и математической точности рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [4–5, 7–9, 11–13, 15–17].

1. Плоские волны. Решена задача о воздействии плоской продольной взрывной волны в виде дельта функции на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14762 узловых точек и 14520 конечных элементов. Решается система уравнений из 59048 неизвестных.

Решена задача о воздействии плоской продольной сейсмической волны в виде функции Хевисайда на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14762 узловых точек и 14520 конечных элементов. Решается система уравнений из 59048 неизвестных.

Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде прямоугольного импульса на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 20862 узловых точек. Решается система уравнений из 83448 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольныхволн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая

– линейная) на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных волн в видеимпульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая – четверть круга) в упругой полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 20402узловые точки. Решается система уравнений из 81608неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (восходящая часть – четверть круга, средняя – горизонтальная, нисходящая – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (восходящая часть – линейная, средняя – горизонтальная, нисходящая – четверть круга).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 4008004 узловых точек. Решается система уравнений из 16032016 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных волн в видеимпульсного воздействия в упругой полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 62031 узловую точку. Решается система уравнений из 248124 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – четверть круга; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 4014010 узловых точек. Решается система уравнений из 16056040неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

2. Отраженные волны. Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда от свободной поверхности.Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от жесткой поверхности.Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда от жесткой поверхности. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

3. Интерференционные волны. Рассмотрена задача об интерференции плоских продольных упругих волн напряжений в виде дельта функции. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об интерференции плоских продольных упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

4. Дифракционные волны. Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на свободное круглое отверстие. Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек. Контур круглого отверстия аппроксимирован 28 узловыми точками.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на подкрепленное круглое отверстие. Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек. Внутренний контур подкрепления аппроксимирован 28 узловыми точками. По толщине подкрепление аппроксимировано двумя узловыми точками.

5. Изгибные волны. Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на Курпсайскую плотину с основанием. Исследуемая расчетная область имеет 953 узловых точек. Курпсайская плотина аппроксимирована 224узловыми точками. Курпсайская плотина моделируется с упругим основанием без заполненного водохранилища.

Упругое контурное напряжение на гранях Курпсайской плотины является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным. Курпсайская плотина при сейсмическом воздействии работает как стержень переменного сечения, то есть если на одной грани растягивающие напряжения, то на другойсжимающие напряжения. На контурах Курпсайской плотины при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на плотину Койна с основанием. Исследуемая расчетная область имеет 522 узловые точки.Плотина Койна моделируется с упругим основанием без заполненного водохранилища. Упругое контурное напряжение на гранях плотины Койна является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным. Плотина Койна при сейсмическом воздействии работает как стержень переменного сечения, то есть если на одной грани растягивающие напряжения, то на другойсжимающие напряжения. На контурах плотины Койна при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

6. Поверхностные волны. Рассмотрена задача о воздействии сосредоточенной волны в виде дельта функции перпендикулярной свободной поверхности упругой полуплоскости. Решается система уравнений из48032004 неизвестных.

Рассмотрена задача о воздействии сосредоточенной волны в виде функции Хевисайда перпендикулярной свободной поверхности упругой полуплоскости. Решается система уравнений из48032004 неизвестных.

7. Стоячие волны. Рассмотрена задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде треугольного импульса на бесконечную

полосу. Исследуемая расчетная область имеет 4002 узловые точки.Решается система уравнений из 16008 неизвестных.

Рассмотрена задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде ступенчатого импульса (функция Хевисайда) на бесконечную полосу. Исследуемая расчетная область имеет 4002 узловые точки. Решается система уравнений из 16008 неизвестных.

Литература

1. Мусаев В.К. Воздействие нестационарной упругой волны на плотину Койна // Строительство и архитектура. 1990. № 6. С. 70–72.

2. Мусаев В.К. Воздействие нестационарной упругой волны на плотину треугольного профиля // Строительство и архитектура. 1990. № 9.С. 72–74.

3. Мусаев В.К. Воздействие нестационарной упругой волны на Курпсайскую плотину // Строительство и архитектура. 1990. № 12. С. 69–71.

4. Мусаев В.К. Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 74–78.

5. Бедняков В.Г., Куранцов В.А., Сущев Т.С., Денисенков А.Н., Савичев В.А. Достоверность результатов численного метода Мусаева В.К. в перемещениях при решении дифракционной задачи на круглом подкрепленном отверстии // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2012. С. 234–236.

6. Мусаев В.К. Математическое моделирование поверхностных волн напряжений в задаче Лэмба при воздействии в виде дельта функции //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.2015. № 2–1. С. 25–29.

7. Musayev V.K. Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 135–146.

8. Musayev V.K. On the mathematical modeling of nonstationary elastic waves stresses in corroborated by the round hole // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 147–156.

9. Мусаев В.К. Оценка точности и достоверности численного моделирования при решении задач об отражении и интерференции нестационарных упругих волн напряжений // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–7. С. 1184–1187.

10. Мусаев В.К. Математическое моделирование поверхностных волн напряжений в задаче Лэмба при воздействии в виде функции Хевисайда // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. С. 38–41.

11. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных стоячих упругих волн в бесконечной полосе при воздействии в виде треугольного импульса // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.2015. № 11–2. С. 248–251.

12. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в бесконечной полосе при воздействии плоской продольной волны в виде функции Хевисайда // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12–3. С. 427–430.

13. Musayev V.K. Mathematical modeling of seismic nonstationary

elastic waves stresses in Kurpsai dam with a base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3.P. 73–83.

14. Musayev V.K. Numerical simulation of non-stationary seismic stresses in elastic waves dam Koyna with base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3. P. 84–94.

15. Куранцов В.А., Стародубцев В.В., Мусаев А.В., Самойлов С.Н., Кузнецов М.Е. Моделирование импульса (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: треугольник) в упругой полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В.К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 2. С. 51–55.

16. Мусаев В.К.О математическом моделировании нестационарных дифракционных упругих волн напряжений в обделке круглого профиля // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 3. С. 46–52.

17. Мусаев В.К. Применение волновой теории сейсмического воздействия для моделирования упругих напряжений в Курпсайской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98–105.

© Мусаев В.К., 2017.

УДК 629.10.061

Муравьева Л.В.
Доктор технических наук, доцент
Центральное Конструкторское Бюро «Коралл», Россия,
ведущий конструктор по направлению линейные трубопроводы

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

SECURING THE CROSSING OF UNDERWATER PIPELINES

Аннотация. Пересечение подводных трубопроводов требует особого внимания из-за прямого воздействия, которое они могут оказать на окружающие сооружения обустройства месторождения. Случайные разрывы трубопроводов, транспортирующих природный газ, с последующим разрушением остатков транспортируемого продукта может привести к повреждению пересекаемого трубопровода. Цель данной работы в рассмотрении вариантов пересечений подводных трубопроводов при обустройстве месторождения.

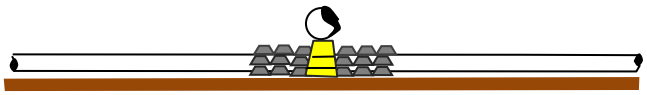
Ключевые слова: разрыв подводного газопровода, пересечение подводного трубопровода, заглубленный трубопровод.

Abstract. Crossing of pipelines require special attention due to the direct impact they can have on surrounding structures field facilities construction. Accidental ruptures of pipelines, followed by an explosion leaving gas can lead to loss of life and damage to the crossed pipeline. Security at intersection of underwater pipelines.

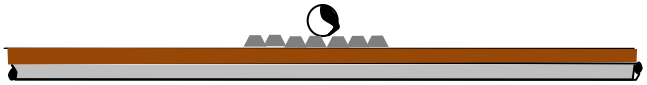
Keywords: subsea gas-pipeline rupture, crossing of offshore pipeline, buried pipeline, underground pipeline.

В регионе активной разработкой подводных месторождений, например, Северное море, неизбежно пересечение трасс морских трубопроводов.Онивызваны необходимостьюобустройства месторождений.Многие переходы были построены в течение продуктивной жизни месторождений с увеличениемчисла трубопроводов в течение их разработки. В программахпо освоению морских месторождений разработаны конструктивные решения по обустройству месторождений, рассмотрены методы пересечений[1].

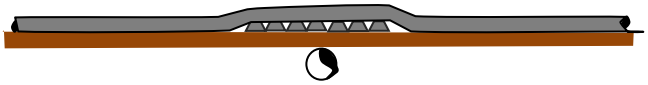
На рисунке 1(А-Г) представлены примеры пересечений, в зависимости от заглубления трубопровода. Рассмотрены различные варианты изменения конфигурации трубопроводов.



А) Незаглубленный трубопроводпересекаетнезаглубленный трубопровод 3-й категории – демонтаж (заглубление) не представляется возможным.



Б) Незаглубленный трубопровод пересекает трубопровод при 3-й категории –сдемонтажемобъектов3-й категории.



В) Пересечение трубопроводом3-й категориизаглубленного трубопровода.

Г) Пересечение трубопроводом3-й категорииработающегонезаглубленного трубопровода.

Рисунок 1.Примеры пересечений подводных трубопроводов

Примечание. Участок трубопровода 3-й категории- трубопровод,планируемый для выведения из эксплуатацииDNV-RP-F107.

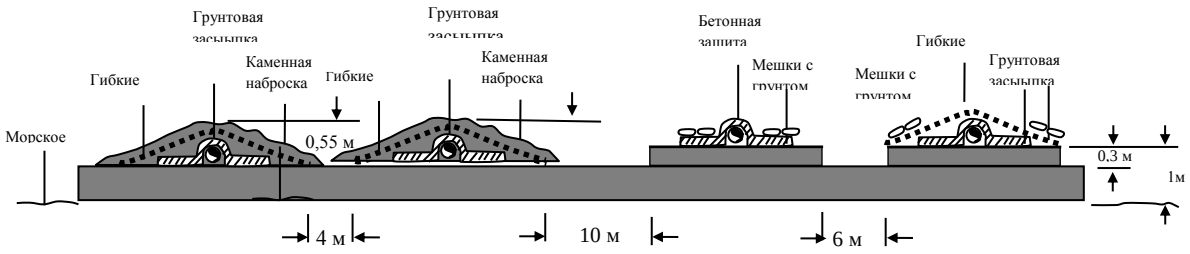


Рис.2 Примеры конструктивных решений по пересечения трубопровода (Источник [1])

Статья посвящена анализу конструктивных решений по пересечению подводных трубопроводов. Пересечения, как правило, устраиваются с использованием бетонных матов,заполненных грунтом мешков или специальных конструкций из литого бетона. Между двумя трубопроводами при пересечении должен соблюдаться минимальный зазор 300 миллиметров, бетонный мат обеспечивает требуемый зазор и защиту между двумя трубами. Выбор материала для строительства пересечения зависит от требуемой высоты пересечения трубопровода. Для пересечения трубопроводов большого диаметра изготавливаются специальные бетонные конструкции.Они сокращают время монтажа по сравнению с размещением большого количествважелезобетонных матовили мешков с грунтом.Частопересечения защищают каменной наброской, для обеспечениязащиты пересечения и уменьшения любых возможных опасности.

Опалубка, используемая для строительства больших переходов, устанавливается с помощью специальной подъемной площадки с использованием петель, встроенных в бетонные конструкции для монтажа или транспортировки.

Анализ исходных событий с позиции наихудшего случая для трубопроводных конструкций предполагает составление полного перечнявозможных событий, потенциально опасных с точки зрения

формирования ущерба, превышающего допустимый, и выделение из этого перечня группы событий для дальнейшего моделирования. Должныбыть выделены внутренние и внешние события. Внутренние исходныесобытия вызываются отказами элементов объекта, ошибочнымидействиями оператора (персонала) или ошибками в программном обеспечении, а внешние воздействия,связанными с природными явлениями или деятельностью человека в районе нахождения объекта (ураганы, наводнения, атака террористов и т.п.).

При проектировании заглубленных в грунт сооружений возникает ряд проблем, связанных с необходимостью их расчета на действие динамических нагрузок. Такие нагрузки возникают при сейсмических воздействиях, взрывных работах в карьерах. Под заглубленными сооружения, подразумеваются, сооружения возводимые в котлованах со вскрытием дневной поверхности.

При наземномдинамическом воздействии поверхность земли подвергается воздействию давления. В грунте возникают продольные и поперечные волны.

Максимальные радиальныенапряжения в мягких нескальных грунтах определяются[3] по формуле;

$$\sigma_R = \frac{FK}{20}\frac{q}{R^3} \qquad (1)$$

где σ_R - максимальное радиальное напряжение, F – коэффициент, учитывающий влияния глубины приложения воздействия, K – коэффициент, учитывающий свойства грунта, q – количество вещества, R – расстояния от места воздействия до сооружения.

Максимальная скорость смещения грунта, м/с;

$$v_R = \frac{1}{150}\sigma_R \qquad (2)$$

В случае поверхностного воздействиякоэффициент F принимается равным 0.2, K = 150 для суглинка, q = 100 т в зависимости от расстояния до места воздействия

Пересечение болотистой местности, допускается правилами. Это уникальная строительная задача. На рисунке 3 изображен, типичный вариант, пересечения насыщенных водно-болотных угодий с сегрегацией верхнего слоя почвы. Строительное оборудование, работающее на водно-болотных угодьях, ограничивается: сроками, технологическими габаритами, необходимыми для рытья траншеи, изготовления и укладки трубопроводов, засыпки траншеи и строками восстановления.

В районах, где для доступа к трубопроводу, машины(механизмы) перемещаются по болотистой местности, при условии, что поверхностный слой землидостаточно прочен. В противном случае строительные конструкции будут разрушены при передвижении по водно-болотным угодьям.

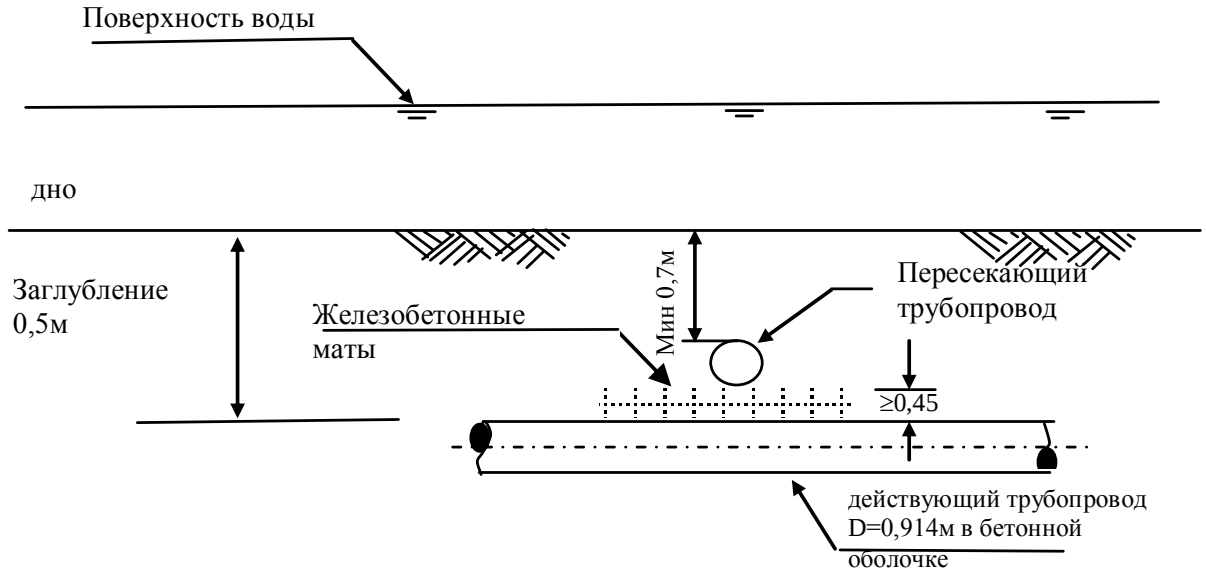


Рис.3 Пересечение трубопроводов при прокладке по болотистой местности

При разрушении подводных газопроводов сжатый до высоких давлений газ, прирасширении в водной среде формирует волну избыточного давления, которая оказывает негативное воздействие на смежные нитки трубопроводов и расположенные рядом технологические объекты. Для оценки последствий воздействия волны сжатия на объекты морской инфраструктуры разработана расчетная методика[4,5], моделирующая влияние технологических и природных факторов на физические процессы при разрывах подводных газопроводов.

На границе «газ – жидкость» из-за разности давлений газ расширяется.

В проведенных экспериментах [5] участки трубопроводной секции опускались на дно, на расстоянии около 100 м от берега. В работе рассматривались только незаглубленные участки трубопровода.

Разрушение происходило в местах искусственных надрезов («трещин») на трубах при повышении внутреннего давления.

Расход газа в задаче определялся по формуле:

$$q = 2\int_0^L \rho(x) \cdot V(x) dx, \qquad (3)$$

где ρ – плотность природного газа; V – компонента скорости по вертикальному направлению; L – половина ширины разрыва трубопровода.

Измерения проводились для случая:

труба ∅558 ×6,35 мм (22″), при давлении в 10,0 МПа наблюдались разрушения; диапазон скорости распространения трещины – составляла 170–200 м/с[]5.

По показаниям датчиков давления зафиксированы три характерных интервала времени: период начала повышения давления (t_0); момент достижения пика давления (t_1) и период установления примерно постоянного давления(t_2), превышающего давление столба воды (рис. 4).

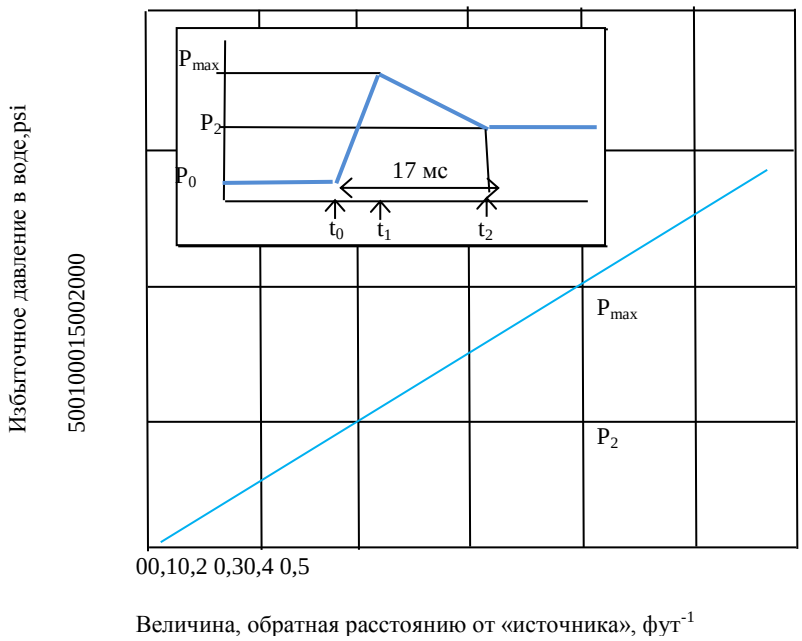


Рис. 4. Зависимости пикового и установившегося давлений в воде от величины, расстояния от источника [5]

Трубопровод, выводимый из эксплуатации и пересекающий другой работающий трубопровод, остается на месте пересечения до тех пор, пока работающий трубопровод не выведен из эксплуатации.

Существует правило, что выведенныйиз эксплуатации трубопровод отрезается на расстояние не ближе, 50 метров, от любых переходов по его длине.

С помощью математического моделирования в работе [5], получены следующие выводы:

- вертикальная скорость струи газа увеличивается по мере подъема к поверхности воды;
- на границе между водой и воздухом формируется фонтан.

Заключение

В статье представлены способы пересечения трубопроводов, разработанные для реконструкции трубопроводов в Северном море (рис. 1),представлены возможные схемы пересечений трубопроводов. В действующих правилах по проектированию морского газопровода не представлены требования по конструктивным решениям пересечений морских трубопроводов[8].

Литература

1. Decommissioning of Pipelines in the North sea region/ Association Limited, trading as Oil & Gas UK. Oil & Gas UK (Aberdeen), 2013. 52p.

2. Maxey W.A,. Fracture arrest behavior of underwater pipe lines / W.A. Maxey // Journal Pipe Line Industry. – October 1987. p. 32.

3. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия// под ред. Коренева Б.Г., Рабиновича И.М.; М.,Стройиздат. .1981. С.215.

4. Сафонов В.С., Ганага С.В. Моделирование физических эффектов при аварийных разрывах подводных газопроводов/ Научно-технический сборник · ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ/ № 3 (14) / 2013 8 p.

5. Рекомендации по оценке безопасности магистрального газопровода при проектировании. М. 2000, ОАО «Газпром».

6. Чжан Ч., Меньшов И.С. Численное моделирование истечения природного газа из подводного газопровода // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 74. 18 с. doi:10.20948/prepr-2017-74URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2017-74

7. Recommended Practice DNV-RP-F116. Integrity management of submarine pipeline systems / DET NORSKE VERITAS AS/ 2015, 141p.

8. Регистр правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов: Российский морской регистр судоходства - Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2012.- 283 с.

© Муравьева Л.В., 2017

УДК539.3

Мусаев В.К.
доктор технических наук, профессор,
Российский университет транспорта,
Московский политехнический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

THE APPLICATION OF THE COMPUTATIONAL WAVE THEORY OF SEISMIC SAFETY FOR ESTIMATING THE BEARING CAPACITY OF UNIQUE OBJECTS

Аннотация. Рассматриваются некоторые вопросы численного моделирования волн напряжений в различных деформируемых объектах. Применяется волновая теория сейсмической безопасности. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для моделирования нестационарных сейсмических волн в деформируемых телах.При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.

Ключевые слова: математическое моделирование, вычислительная механика, механика деформируемого твердого тела, волновая теория упругости, волновая теория сейсмической безопасности, уникальные

объекты, сейсмическое воздействие, функция Хевисайда, фундаментальное воздействие, изгибные волны, поверхностные волны, дифракционные волны.

Abstract. Discusses some questions of numerical simulation of stress waves in various deformable objects. Applied wave theory for seismic safety. On the basis of the finite element method in displacements the developed methodology, designed the algorithm and drafted a set of programs for simulating non-stationary seismic waves in deformable bodies. In the development of complex programs used algorithmic language Fortran-90.

Key words: mathematical modeling, computational mechanics, solid mechanics, wave theory, elasticity, wave theory for seismic safety, unique objects, seismic effects, the function of Heaviside, fundamental impact, Flexural waves, surface waves, diffraction waves.

Для прогноза безопасностиуникальных сооружений, находящихся вдеформируемой упругой среде, при волновых воздействиях применяется математическое моделирование. Задачи решаются методом сквозного счета, без выделения разрывов. За основные неизвестные в узле конечного элемента приняты: при решении двумерной плоской динамической задачи теории упругостидва упругих перемещений и две скорости упругих перемещений. Основные соотношения метода конечных в перемещениях по пространственным координатам получены с помощью принципа возможных перемещений.

Для аппроксимации по пространственным координатам применяются треугольные и прямоугольные конечные элементы первого порядка. Для аппроксимации по временной координате применяются линейные конечные элементыпервого порядка. Для определения упругого контурного напряжения на границе области, свободной от нагрузок, предложен контурный конечный элемент первого порядка.

С помощью метода конечных элементов в перемещениях линейная задача с начальными и граничными условиями приведена к линейной задаче Коши. С помощью конечноэлементного варианта метода Галеркина система линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка в перемещениях с начальными условиями приведена к явной двухслойной конечноэлементной линейной схеме в перемещениях для внутренних и граничных узловых точек.

С помощью численного эксперимента получена устойчивая двумерная явная двухслойная конечноэлементная линейная схема в перемещениях для внутренних и граничных узловых точек на квазирегулярных сетках. Для конечноэлементной аппроксимации исследуемой области при изменении шага по пространственным координатам и при сложной граничной поверхности следует применять конечные элементы первого порядка, а в остальных случаях следует применять прямоугольные конечные элементы первого порядка. Исследуемую сложную область следует разбивать на простые регулярные подобласти.

Предложен квазирегулярный подход к решению системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка в перемещениях с начальными условиями и к аппроксимации исследуемой области. Методика основывается на схемах: точка, линия и плоскость.

На основе метода конечных элементов в перемещениях разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерной плоской нестационарной динамической задачи теории упругости при различных начальных и граничных условиях, для областей разной формы, для модели уравнения состояния кусочно-неоднородной изотропной среды, подчиняющейся упругому закону Гука при малых

упругих деформациях. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.

В работах [1–24] приведена информация о моделировании нестационарных волн напряжений в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых сейсмических воздействиях.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда на свободное круглое отверстие. Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек. Контур круглого отверстия аппроксимирован 28 узловыми точками.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда на подкрепленное круглое отверстие. Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек. Внутренний контур подкрепления аппроксимирован 28 узловыми точками. По толщине подкрепление аппроксимировано двумя узловыми точками.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на Курпсайскую плотину с основанием. Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда. Исследуемая расчетная область имеет 953 узловых точек. Курпсайская плотина аппроксимирована 224узловыми точками. Курпсайская плотина моделируется с упругим основанием без заполненного водохранилища. Упругое контурное напряжение на гранях Курпсайской плотины является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным. Курпсайская плотина при сейсмическом воздействии работает как стержень переменного сечения, то есть если на одной грани растягивающие напряжения, то на другойсжимающие напряжения. На контурах Курпсайской плотины при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на плотину Койна с основанием. Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда. Исследуемая расчетная область имеет 522 узловые точки. Плотина Койна моделируется с упругим основанием без заполненного водохранилища. Упругое контурное напряжение на гранях плотины Койна является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным. Плотина Койна при сейсмическом воздействии работает как стержень переменного сечения, то есть если на одной грани растягивающие напряжения, то на другойсжимающие напряжения. На контурах плотины Койна при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостьюпри сейсмическом воздействии (соотношение ширины к высоте один к пяти). Исследуемая расчетная область имеет 2004002 узловых точек. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в $|1{,}63|$ раза.

Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостьюпри сейсмическом воздействии (соотношение ширины к высоте один к десяти). Исследуемая расчетная область имеет 2004002 узловых точек. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в $|2{,}02|$ раза.

Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостьюпри сейсмическом

воздействии (соотношение ширины к высоте один к пятнадцати). Исследуемая расчетная область имеет 2004002 узловых точек. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в $|2{,}01|$ раза.

Литература

1. Мусаев В.К. Дифракция продольной волны на круглом и квадратном отверстиях в упругой среде // Тезисы докладов конференции по распространению упругих и упругопластических волн. Фрунзе: Фрунзенскийполитехническийинститут, 1983. Ч. 1. С. 72–74.

2. Musayev V.K. Structure design with seismic resistance foundations // Proceedings of the ninth Europeanconference on earthquake engineering. Moscow: TsNIISK, 1990. V. 4–A. P. 191–200.

3. Musayev V.K. Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. Sent-Louis: UniversityofMissouri-Rolla, 1991. V. 3. P. 87–97.

4. Мусаев В.К. Численное моделирование динамического напряженного состояния сооружений уравнениями двумерной теории упругости и пластичности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04. М.: Совинтервод, 1993. 46 с.

5. Musayev V.K. Problem of the building and the base interaction under seismic loads // Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2741. Auckland: UniversityofCanterbury, 2000. P. 1–6.

6. Мусаев В.К. Определение безопасности здания с основанием при воздействии ускорения землетрясения Эль-Центро // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. – Вып. 2. С. 141–146.

7. Мусаев В.К. Численное моделирование безопасности системы «дымовая труба-фундамент-основание» при сейсмических воздействиях // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. Вып. 3. С. 60–66.

8. Мусаев В.К. Моделирование безопасности плотин с основанием при сейсмических воздействиях // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. Вып. 4. С. 112–117.

9. Мусаев В.К. О моделировании сейсмической волны параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 61–64.

10. Мусаев В.К. Математическое моделирование напряженного состояния технических объектов с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 3–4. С. 206–218.

11. Мусаев В.К. Определение упругих напряжений в плотине Койна с основанием с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–3. С. 235–240.

12. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных процессов в геообъектах с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12. С. 347–352.

13. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих динамических напряжений в полуплоскости без полости и с полостью с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–2. С.

227–231.

14. Мусаев В.К**.** Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в Курпсайской плотине с основанием (полуплоскость) с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–1. С. 47–50.

15. Musayev V.K. Mathematical modeling of seismic nonstationary elastic waves stresses in Kurpsai dam with a base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3.P. 73–83.

16. Musayev V.K. Numerical simulation of non-stationary seismic stresses in elastic waves dam Koyna with base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Volume 12, Issue 3. P. 84–94.

17. Мусаев В.К. Компьютерное моделирование безопасности подземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях // Международный журнал экспериментального образования.2016. № 11–1. С. 42–46.

18. Мусаев В.К. Численное решение задачи о воздействии плоской продольной нестационарной сейсмической волны на упругую полуплоскость с полостью (соотношение ширины к высоте один к восьми) // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–2. С. 197–201.

19. Мусаев В.К. Моделирование безопасности надземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–3. С. 397–402.

20. Мусаев В.К. Определение сейсмических нестационарных

упругих волн напряжений в полуплоскости с прямоугольной вертикальной полостью (соотношение ширины к высоте один к двенадцати) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–3. С. 403–407.

21. Мусаев В.К. Применение волновой теории сейсмической безопасности для моделирования динамических упругих напряжений в полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к четырем) // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12–1. С. 143–147.

22. Мусаев В.К.Применение нестационарной волновой теории сейсмической безопасности к моделированию волн напряжений в упругой полуплоскостис полостью (соотношение ширины к высоте один к восьми) // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 51–57.

23. Мусаев В.К. Применение волновой теории сейсмического воздействия для моделирования упругих напряжений в Курпсайской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98–105.

24. Мусаев В.К. Математическое моделирование изгибных волн напряжений в плотине Койна (Индия) с упругим основанием (полуплоскость) при нестационарном сейсмическом воздействии // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 3. С. 30–35.

© Мусаев В.К., 2017.

УДК539.3

Мусаев В.К.
доктор технических наук, профессор,
Российский университет транспорта,
Московский политехнический университет

О ФИЗИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УПРУГИХ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

ABOUT PHYSICAL RELIABILITY AND MATHEMATICAL ACCURACY OF SIMULATION OF NON-STATIONARY ELASTIC STRESS WAVES IN DEFORMABLE BODIES OF COMPLEX SHAPE

Аннотация. Рассматриваются некоторые вопросы численного моделирования нестационарных упругих волн в сложных деформируемых областях. При решении сложных задач возникают проблемы оценки достоверности полученных результатов. В работе рассматривается оценка точности и достоверности результатов численного моделирования волн напряжений в областях сложной формы при различных импульсных воздействиях. Приводится сопоставление с результатами экспериментального, аналитического и численного методов.

Ключевые слова: численное моделирование, верификация, физическая достоверность, математическая точность, численный метод, алгоритм, комплекс программ, нестационарные волны, импульсные воздействия.

Abstract. Discusses some problems of numerical modeling of nonstationary elastic waves in complex deformable areas. When complex tasks arise problems of estimation of reliability of the results. This paper considers the evaluation of the accuracy and reliability of results of numerical simulation of stress waves in regions of complex shape with various pulse effects. A comparison with the results of experimental, analytical and numerical methods.

Key words: numerical modeling, verification, physical accuracy, mathematical precision, numerical method, algorithm, software complex, transient waves, pulse exposure.

Приводится информация об оценке точности и достоверности математического моделирования нестационарных упругих волн в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. Для решения поставленной задачи применяется волновое уравнение механики деформируемого твердого тела. Линейная динамическая задача с начальными и граничными условиями приведена к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями. Получена явная двухслойная схема.

В работах [1–20] приводится информация о верификации результатов численного моделирования волн напряжений в сложных деформируемых объектах при различных импульсных воздействиях с помощью применяемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Проведено сопоставление с результатами аналитического решения для задачи о воздействии плоской продольной упругой волны типа функции Хевисайда на свободное круглое отверстие.Сопоставление с результатами численного решения, полученных с помощью метода конечных элементов в перемещениях, показало, что расхождение для максимального сжимающего упругого контурного напряжения составляет 6 %.

Проведено сопоставление с результатами эксперимента, полученного с помощью метода фотоупругости, для задачи о воздействии плоской продольной упругой волны на свободное круглое отверстие. Сопоставление с результатами численного решения, полученных с помощью метода конечных элементов в перемещениях, показало, что расхождение для максимального сжимающего упругого контурного напряжения составляет 2 %.

Проведено сопоставление с результатами аналитического решения для задачи о воздействии плоской продольной упругой волны типа функции Хевисайда на подкрепленное круглое отверстие.Сопоставление с результатами численного решения, полученных с помощью метода конечных элементов в перемещениях, показало, что расхождение для максимального сжимающего упругого контурного напряжения составляет 12 % .

Проведено сопоставление с результатами численного решения, полученных с помощью смешанного метода конечных элементов при решении задачи о воздействии плоской продольной упругой волны типа полупериода синусоиды на гравитационную плотину нормального профиля (Курпсайская плотина). Сопоставление с результатами численного решения, полученных с помощью метода конечных элементов в перемещениях, показало, что расхождение для максимального растягивающего упругого контурного напряжения составляет 5 %.

Рассмотрена задача о воздействии плоской продольной взрывной волны в виде дельта функции на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14762 узловых точек и 14520 конечных элементов. Решается система уравнений из 59048 неизвестных.

Рассмотрена задача о воздействии плоской продольной сейсмической волны в виде функции Хевисайда на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14762 узловых точек и 14520 конечных элементов. Решается система уравнений из 59048 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн в виде треугольного импульса в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных.

Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде прямоугольного импульса на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 20862 узловых точек. Решается система уравнений из 83448 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных. Волновое воздействие моделируется в виде треугольного импульса с большой линейной нисходящей частью.

Решена задача о распространении плоских продольныхволн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая – линейная) на упругую полуплоскость. Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных волн в видеимпульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая – четверть круга) в упругой полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных.

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 20402узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (восходящая часть – четверть круга, средняя – горизонтальная, нисходящая – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 21624

узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (восходящая часть – линейная, средняя – горизонтальная, нисходящая – четверть круга).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 4008004 узловых точек. Решается система уравнений из 16032016 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных волн в видеимпульсного воздействия в упругой полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 62031 узловую точку. Решается система уравнений из 248124 неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – четверть круга; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

Решена задача о распространении плоских продольных упругих волн напряжений в полуплоскости. Исследуемая расчетная область имеет 4014010 узловых точек. Решается система уравнений из 16056040неизвестных. Для решения поставленной задачи используется импульсное воздействие (первая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная).

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности. Исследуемая расчетная

область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных. Полученные результаты имеют качественное и количественное сопоставление с результатами аналитического решения.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда от свободной поверхности. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от жесткой поверхности. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об отражении упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда от жесткой поверхности. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об интерференции плоских продольных упругих волн напряжений в виде дельта функции. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Рассмотрена задача об интерференции плоских продольных упругих волн напряжений в виде функции Хевисайда. Исследуемая расчетная область имеет 4221 узловую точку и 4000 конечных элементов. Решается система уравнений из 16884 неизвестных.

Проведенные исследования сходимости и устойчивости, сравнение с результатами других методов показало хорошее совпадение, что позволяет сделать вывод о физической достоверности результатов численного

решения динамических задач, полученных методом конечных элементов в перемещениях.

Методика, алгоритм, комплекс программ и результаты решенных задач рекомендуются для использования в научно-технических организациях, специализирующихся в области динамического расчета сооружений с окружающей средой.

Литература

1. Мусаев В.К. Воздействие продольной ступенчатой волны на подкрепленное круглое отверстие в упругой среде // Всесоюзная конференция «Современные проблемы строительной механики и прочности летательных аппаратов». Тезисы докладов. М.: МАИ, 1983. С. 51.

2. Мусаев В.К. Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2008. № 4. С. 67–71.

3. Мусаев В.К. Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // Научный журнал проблем комплексной безопасности. 2009. № 1. С. 55–80.

4. Мусаев В.К. О достоверности результатов численного метода решения сложных задач волновой теории упругости при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях// Ученые записки Российского государственного социального университета. 2009. № 5. С. 21–33.

5. Мусаев В.К. О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах сложной

формы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 3. С. 71–76.

6. Мусаев В.К. Численное моделирование распространения плоских продольных волн напряжений в виде треугольного импульса с большой линейной нисходящей частьюв упругой полуплоскости// Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 2. С. 102–112.

7. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11. С. 10–14.

8. Мусаев В.К. Численное решение задачи о распространении нестационарных упругих волн напряжений в подкрепленном круглом отверстии // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 93–97.

9. Musayev V.K. Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 135–146.

10. Musayev V.K. On the mathematical modeling of nonstationary elastic waves stresses in corroborated by the round hole // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 147–156.

11. Мусаев В.К. Оценка точности и достоверности численного моделирования при решении задач об отражении и интерференции нестационарных упругих волн напряжений // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–7. С. 1184–1187.

12. Мусаев В.К. Решение задачи о распространении плоских продольных волн в виде импульсного воздействия (первая ветвь:

восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – четверть круга; вторая ветвь: восходящая часть – линейная, нисходящая часть – линейная) // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 4-2. С. 326–330.

13. Мусаев В.К. Исследования устойчивости явной двухслойной линейной конечноэлементной схемы для внутренних узловых точек на равномерной прямоугольной сетке // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 5. С. 39–42.

14. Мусаев В.К. Теоретическое исследование устойчивости явной двухслойной линейной схемы для внутренних узловых точек на равномерной прямоугольной сетке // Строительнаямеханика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 3. С. 69–73.

15. Мусаев В.К. Численное моделирование плоских продольных волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, средняя – горизонтальная, нисходящая – линейная) в упругой полуплоскости // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 11–2. С. 222–226.

16. Мусаев В.К. О моделировании волн напряжений при нестационарных динамических процессах в подкрепленном круглом отверстии // Двойные технологии. 2016. № 4. С. 61–66.

17. Мусаев В.К. Оценка физической достоверности и математической точности численного моделирования плоских нестационарных упругих волн напряжений в виде импульсного воздействия (функция Хевисайда) в полуплоскости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–1. С. 49–52.

18. Мусаев В.К. Оценка математической точности и физической достоверности численного моделирования плоских нестационарных

упругих волн напряжений (дельта функция) в полуплоскости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–2. С. 232–235.

19. Мусаев В.К. Оценка точности компьютерного моделирования плоских нестационарных волн напряжений (прямоугольный импульс) в упругой полуплоскости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–2. С. 236–239.

20. Мусаев В.К. О математическом моделировании нестационарных дифракционных упругих волн напряжений в обделке круглого профиля // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 3. С. 46–52.

© Мусаев В.К., 2017.

УДК 691.328: 620.1

Низина Т.А.
доктор технических наук, профессор
Балыков А.С.
аспирант
Коровкин Д.И.
аспирант
Володин В.В.
аспирант
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»

ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК

DISPERSE-REINFORCED FINE-GRAINED CONCRETES WITH POLYFUNCTIONAL MODIFIERS BASED ON MINERAL ADDITIVES

Аннотация. Приведены результаты исследования физико-механических характеристик дисперсно-армированных мелкозернистых

бетонов с полифункциональными модифицирующими добавками. Проведен анализ наиболее оптимальных комплексов добавок и дисперсных волокон с целью повышения исследуемых характеристик цементных композитов.

Ключевые слова: дисперсно-армированный мелкозернистый бетон, полифункциональная модифицирующая добавка, дисперсное волокно,предел прочности на растяжение при изгибе, предел прочности при сжатии.

Abstract. The results of investigation of physical and mechanical characteristics of fiber-reinforced fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives are shown. The analysis of the most optimal complexes additives and dispersed fibers for the purpose of increasing the investigated characteristics of cement composites are made.

Keywords: fiber-reinforced fine-grained concrete, polyfunctional modifying additive, dispersed fiber, the limit of tensile strength in bending, the limit of compressive strength.

В последнее время во многих развитых странах расширяется производство высококачественных бетонов различного назначения, т.е. таких бетонов, показатели свойств которых соответствуют или превышают наиболее высокие качественные критерии, регламентируемые стандартами различных стран [1]. Высокое качество таких бетонов обеспечивается за счет модифицирования его структуры различными органическими и минеральными добавками, влияющими на процессы гидратации и кристаллизации, а также морфологии новообразований, оказывающих влияние на структуру затвердевшего цементного камня, изменяя тем самым, физико-механические свойства бетона – прочность, пористость, водонепроницаемость, усадку и трещиностойкость и т.д.

Процессу создания новых высококачественных видов бетонов способствовали достижения в области создания суперпластификаторов и, особенно, гиперпластификаторов на поликарбоксилатной и полигликолиевой основах [2 – 4], а также появление наиболее активных пуццолановых добавок – микрокремнеземов, дегидратированных каолинов и высокодисперсных зол [3, 5]. Также в России все большее распространение получает система материалов «Пенетрон», в частности гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «Пенетрон Адмикс», позволяющая значительно повысить стойкость бетона к воздействию агрессивных сред [6].

В настоящее время всё шире и активнее в строительную отрасль внедряются многокомпонентные мелкозернистые бетоны, применение которых ранее сдерживалось рядом причин: применение в качестве заполнителя только песка приводило к значительному увеличению удельной поверхности заполнителя и его пустотности; для получения равноподвижных бетонных смесей требовался повышенный (на 15-25%) расход воды и цемента по сравнению с бетоном на крупном заполнителе, что в конечном итоге приводило к увеличению усадки бетона и т.д. [1]. Переход к многокомпонентным бетонам с применением суперпластификаторов и различного рода модификаторов позволил уменьшить или свести к минимуму перечисленные сложности, получить малоусадочные, а в ряде случаев и безусадочные мелкозернистые бетоны [7].

Высокодисперсные волокнистые наполнители в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования,прочность наполненных бетонов и другие физико-механические и эксплуатационные свойства материалов. Использование дисперсного армирования в затвердевших цементных растворах и бетонах позволяет: повыситьпредел прочности на срез и на растяжение при изгибе,

ударную и усталостную прочность; снизить усадочные деформации; повысить трещиностойкость за счет изменения характера трещинообразования на всех уровнях структуры;увеличить эластичность, сопротивление удару и истиранию;повысить морозостойкость,водонепроницаемость,жаропрочность и пожаростойкость[8 – 17]. В настоящее время наиболее актуальным является многоуровневое армирование, где армирующими элементами на макромасштабном уровне выступают волокна, а на микромасштабном уровне (уровне цементного микробетона) – высокодисперсные минеральные наполнители, которые вводятся в бетонную смесь совместно с цементом [1].

Основной целью данного экспериментального исследования явился сравнительный анализ влияния вариантов дисперсного армирования и полифункционального модифицирования на изменение физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов (плотность в нормальных влажностных условиях (ГОСТ 12730.1-78), прочность на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4) и сжатии (ГОСТ 310.4) в возрасте 28 суток).

В ходе эксперимента были изготовлены серии образцов-призм 40х40х160 ммс использованием портландцемента класса ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент»;в качестве мелкозернистого заполнителя применялся речной песок с размером зерна менее 5 мм, добываемый в посёлке Смольный Ичалковского района Республики Мордовия, доля которого составляла 65% от массы твердой фазы фибробетонной смеси.Для снижения водоцементного отношение, обеспечения водоредуцирующего и пластифицирующего эффектов, нивелирования загущающего действия дисперсного армирования и модифицирования добавками в связи с развитой поверхностью зерен

минеральных порошков был использован суперпластификатор Melflux 1641 F производства BASF Constraction Polymers (Trostberg, Германия), вводимый в количестве 0,5% от массы вяжущего [18].

Дисперсное армирование бетонов обеспечивалось раздельным или комплексным введением трех видов фибр $(0 \le w_i \le 1; \Sigma w_i = 1; i = 1,2,3)$: полипропиленовое мультифиламентное волокно с длиной резки 12 мм, диаметром 25÷35 мкм, плотностью 0,91 г/см^3 (w_1, ППН); полиакрилонитрильное синтетическое волокно специальной обработки для бетонов FibARM Fiber WB с длиной резки 12 мм, диаметром 14÷31 мкм, плотностью 1,17±0,03 г/см^3 (w_2, ПАН); модифицированная астраленами базальтовая микрофибра под фирменным названием «Астрофлекс-МБМ» длиной100÷500 мкм, средним диаметром 8÷10 мкм, насыпной плотностью 800 кг/м^3, с содержанием астраленов 0,0001÷0,01% от массы фибры (w_3, МБМ).

В качестве модифицирующих наполнителей мелкозернистых бетонов применялись следующие три вида добавок $(0 \le v_i \le 1; \Sigma v_i = 1; i = 1,2,3)$: микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ-85) производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (v_1, МКУ); высокоактивный метакаолин белый производства ООО «Мета-Д» (v_2, ВМК); гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «Пенетрон Адмикс» (v_3, Адмикс).

В качестве плана эксперимента был использован насыщенный D-оптимальный план, содержащий 15 опытных точек [19]. Уровни варьирования 6 исследуемых факторов в кодированных величинах и их численные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни варьирования исследуемых факторов экспериментального исследования

Факторы			Уровни варьирования		
			0	0,5	1
Вид добавки	v_1	МКУ, % от массы цемента	0	10	20
	v_2	ВМК, % от массы цемента	0	3	6
	v_3	Адмикс, % от массы цемента	0	0,75	1,5
Вид фибры	w_1	ППН, % от массы цемента	0	0,5	1
	w_2	ПАН, % от массы цемента	0	0,75	1,5
	w_3	МБМ, % от массы цемента	0	2,5	5

Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13-PD/401) для испытания строительных материалов [20]. Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялись с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8.

Обработка результатов эксперимента, полный регрессионный анализ используемых экспериментально-статистических моделей, вычисление коэффициентов полинома (1) производились с применением методов математической статистики в программе MicrosoftExcel [20, 21]:

$$\hat{y} = b_{12} \cdot v_1 \cdot v_2 + b_{13} \cdot v_1 \cdot v_3 + b_{23} \cdot v_2 \cdot v_3 + d_{12} \cdot w_1 \cdot w_2 + d_{13} \cdot w_1 \cdot w_3 + d_{23} \cdot w_2 \cdot w_3 + \\ + k_{11} \cdot v_1 \cdot w_1 + k_{21} \cdot v_2 \cdot w_1 + k_{31} \cdot v_3 \cdot w_1 + k_{12} \cdot v_1 \cdot w_2 + k_{22} \cdot v_2 \cdot w_2 + k_{32} \cdot v_3 \cdot w_2 + \\ + k_{13} \cdot v_1 \cdot w_3 + k_{23} \cdot v_2 \cdot w_3 + k_{33} \cdot v_3 \cdot w_3. \qquad 1)$$

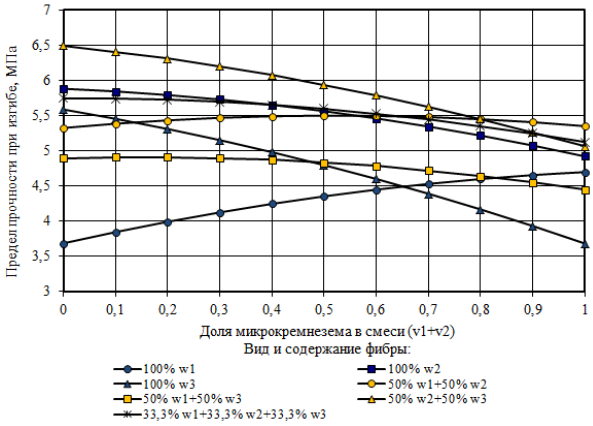
По полученным экспериментально-статистическим моделям были построены графики (рис. 1 – 2) в виде зависимостей исследуемых физико-механических характеристик от смеси двух модификаторов $(v_1 + v_2; v_1 + v_3; v_2 + v_3)$ и двух видов волокон $(w_1 + w_2; w_1 + w_3; w_2 + w_3)$, которые позволили произвести сравнительный анализ влияния вариантов дисперсного армирования и полифункционального модифицирования на изменение исследуемых показателей мелкозернистых бетонов.

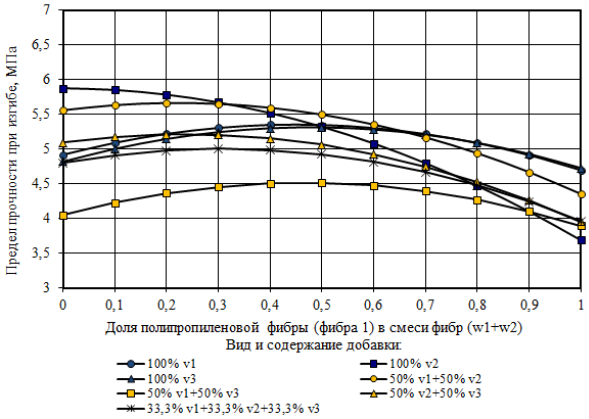
Проследим динамику изменения исследуемых физико-механических характеристик при варьировании содержания вводимых добавок и дисперсных волокон.

В паре добавок МКУ – ВМК (рис. 1 – 2, а) для большинства комбинаций применяемых фибр уменьшение доли МКУ приводит к росту физико-механических характеристик цементных композитов. Наибольший прирост предела прочности на растяжение при изгибе зафиксирован при 100%-ном содержании МБМ (w_3=1) и составил $\Delta R_{изг} = 34\%$ (рис. 1, а). Для предела прочности при сжатии и плотности данный показатель составляет, соответственно, $\Delta R_{сж} = 47\%$ и $\Delta\rho = 8\%$, был получен при максимально возможной доли ПАН-волокон (w_2 =1) (рис. 2, а). Исключением являются составы с ППН при w_1=1, где прирост либо практически не наблюдался (для предела прочности при сжатии), либо происходило падение прочностной характеристики (для предела прочности на растяжение при изгибе).

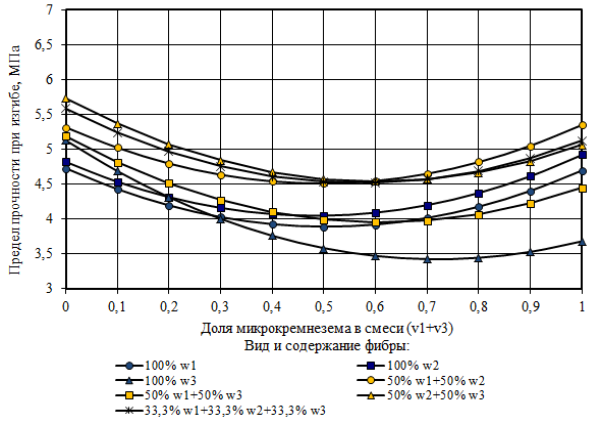
Замена МКУ на Адмикс (рис. 1 – 2, б) для большинства составов не приводит к существенным изменениям предела прочности на растяжение при изгибе; изменение предела прочности при сжатии и плотности в данном случае более значительно. Максимальный прирост исследуемых прочностных характеристик зафиксирован при наибольшей доле МБМ (w_3 =1) и составил $\Delta R_{изг} = 28\%$, $\Delta R_{сж} = 37\%$ (рис. 1 – 2, б); для плотности – при максимально возможной доли ПАН-фибры (w_2 =1), $\Delta\rho = 9\%$.

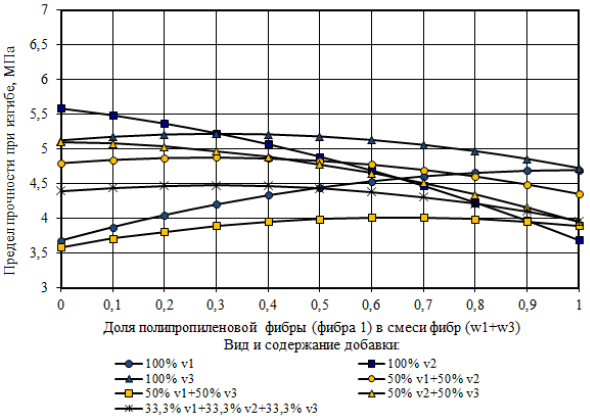
а)г)


Предел прочности при изгибе, МПа
Доля микрокремнезема в смеси (v1+v2)
Вид и содержание фибры:
100% w1
100% w2
100% w3
50% w1+50% w2
50% w1+50% w3
50% w2+50% w3
33,3% w1+33,3% w2+33,3% w3


Предел прочности при изгибе, МПа
Доля полипропиленовой фибры (фибра 1) в смеси фибр (w1+w2)
Вид и содержание добавки:
100% v1
100% v2
100% v3
50% v1+50% v2
50% v1+50% v3
50% v2+50% v3
33,3% v1+33,3% v2+33,3% v3

б)д)


Предел прочности при изгибе, МПа
Доля микрокремнезема в смеси (v1+v3)
Вид и содержание фибры:
100% w1
100% w2
100% w3
50% w1+50% w2
50% w1+50% w3
50% w2+50% w3
33,3% w1+33,3% w2+33,3% w3


Предел прочности при изгибе, МПа
Доля полипропиленовой фибры (фибра 1) в смеси фибр (w1+w3)
Вид и содержание добавки:
100% v1
100% v2
100% v3
50% v1+50% v2
50% v1+50% v3
50% v2+50% v3
33,3% v1+33,3% v2+33,3% v3

в)е)

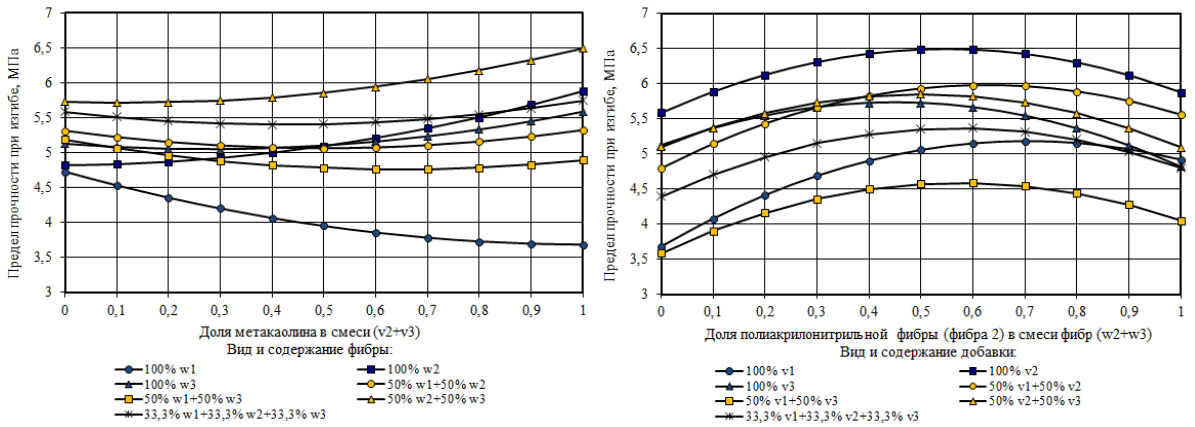
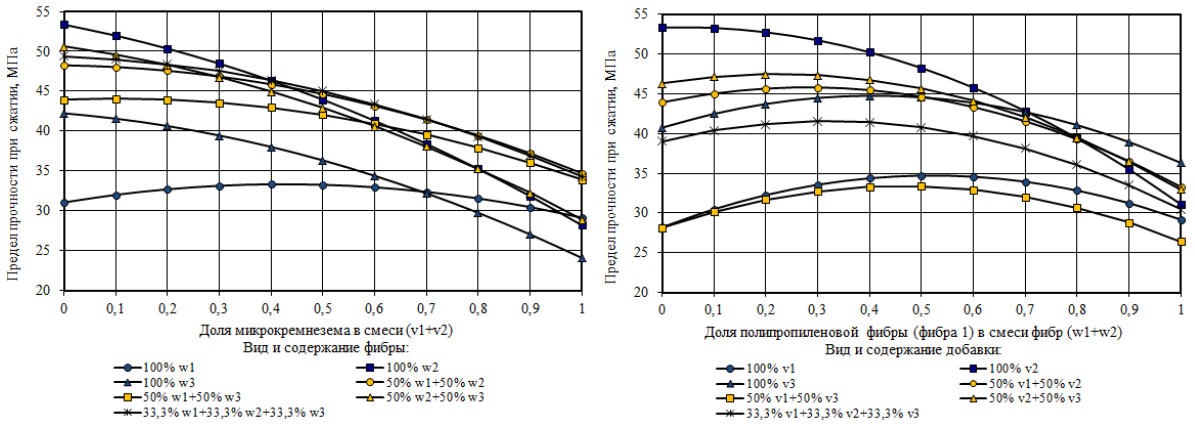
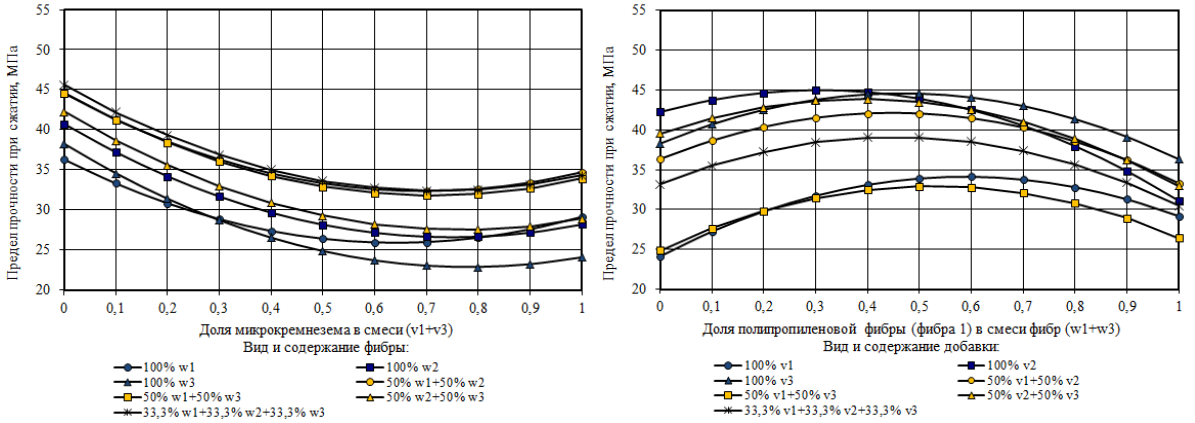


Рис. 1. Влияние содержания трех видов добавок (v_1, v_2, v_3)(а – в) или используемых фибр (w_1, w_2, w_3)(г – е) на предел прочности на растяжение при изгибе дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов

а)г)



б)д)



в)е)

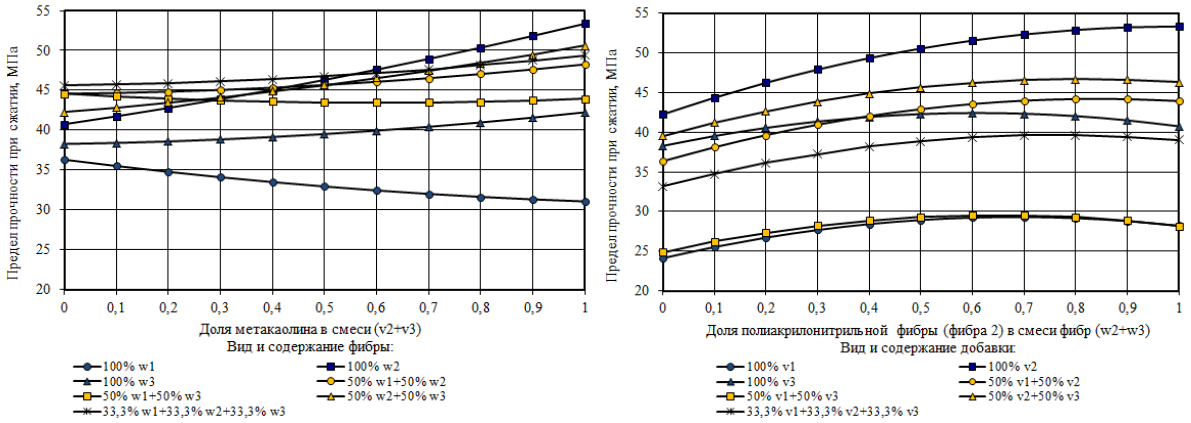


Рис. 2. Влияние содержания трех видов добавок (v_1, v_2, v_3) (а – в) или используемых фибр (w_1, w_2, w_3) (г – е) на предел прочности при сжатии дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов

Увеличение отношения долей ВМК/Адмикс (рис. 1 – 2, в) позитивно отражается на исследуемых прочностных характеристиках, повышая их (хоть и незначительно) практически при любых пропорциях дисперсных волокон, кроме случая, когда в составах в качестве армирующей добавки применяется исключительно ППН (w_1=1). Наибольшее увеличение пределов прочности характерно при 100%-ном содержании ПАН-волокна(w_2=1) и составило $\Delta R_{изг} = 18\%$, $\Delta R_{сж} = 23\%$ (рис. 1 – 2, в); для плотности данные изменения практически не наблюдаются.

При смене ППН на ПАН-фибру (рис. 1 – 2, г) физико-механические показатели повышаются при использовании любой из имеющихся добавок, причем наибольшее увеличение исследуемых прочностных параметров зафиксировано при 100%-ном содержании ВМК (v_2=1) $\Delta R_{изг} = 37\%$, $\Delta R_{сж} = 41\%$ (рис. 1 – 2, г), а для плотности – при максимальной доле Адмикс (v_3=1), $\Delta\rho = 5\%$. Преимущества ПАН-волокон можно объяснить более высокой адгезией к минеральной матрице по сравнению с ППН

вследствие совместного действия поверхностного слоя и –CN группы полимерной цепочки волокна с –OH группой гидросиликатов, гидроалюминатов и иных компонентов смеси.

В составах с максимальным содержанием ВМК использование МБМ вместо ППН (рис. 1 – 2, д) более предпочтительно, прирост прочностных характеристик при этом составляет $\Delta R_{изг} = 34\%$, $\Delta R_{сж} = 26\%$ (рис. 1 – 2, д). При других комбинациях добавок данный прирост незначителен или вовсе не наблюдается, а при применении в качестве модификатора МКУ(v_1=1) наблюдается понижение предела прочности на растяжение при изгибе, составляющее $\Delta R_{изг} = 21\%$.Максимальное увеличение плотности в составах с МБМ по отношению к составам с ППН зафиксировано при доле добавки Адмикс v_3=1 и составило $\Delta\rho = 4\%$.

Разница плотности и предела прочности на растяжение при изгибе в составах с МБМ по сравнению с составами с ПАН-фиброй незначительна, а наибольшие результаты зафиксированы при близких соотношениях данных волокон ($w_2 = w_3$=0,5), что говорит о положительном эффекте многоуровневого армирования (ПАН – на уровне мелкозернистого бетона, МБМ – на уровне цементного микробетона). Для предела прочности при сжатии армирование ПАН-волокном дает более высокие результаты, причем наибольший прирост получен при 100% содержании ВМК и составил $\Delta R_{сж} = 20\%$ (рис. 2, е).

Положительное влияние многоуровневого армирования на исследуемые физико-механические характеристики мелкозернистого бетона при использовании на макроуровне полипропиленового и полиакрилонитрильного волокон, а на микроуровне – модифицированной

базальтовой микрофибры можно проследить на соответствующих рисунках:рис. 1, е; рис. 2, д и е; где исследуемые показатели достигают максимальных значений при совместном применении данных двух видов армирования.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ № 16-33-50103 «Исследование комплексного влияния активных минеральных добавок, суперпластификаторов и дисперсных волокон на формирование структуры цементного камня и свойства высокопрочных фибробетонов»

Литература

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны //Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.

2.GrübeP., LemmerC., RühlM. VomGussbetonzumSelbstverdichtenden // Beton. Pp. 243–249.

3. Kleingelhöfer P. Noue Betouverflissiger auf Basis Polycarboxylat // Proc. 13., Ybasil. Weimar. 1997. Bd. 1. Pp. 491-495.

4. Richard P. Reactive Powder Concrete: A new Ultra-High-Strength Cementitious // Material 4th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete. Press de l'Ecole Naturale des Ponts et Chaussées, Paris, France. 1996. Pp. 1343-1349.

5. Richard P, Cheyrezy M. Composition of Reactive Powder Concrete. Scientific Division Bouygues // Cement and Concrete Research, Vol. 25. No. 7. 1995. Pp. 1501-1511.

6. Технологический регламент на проектирование и выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и

сборных бетонных и железобетонных конструкций. 2-е изд., перераб. и доп. М., СРО «РСППГ», 2008. 64 с.

7. Каприелов С.С., Булгакова Н.Г. Высокопрочный пневмобетон с добавкой микрокремнезема для защитных покрытий // Бетон и железобетон. 1993. №5.С. 7-8.

8. Рабинович Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 176 с.

9. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография. М.: Издательство АСВ, 2004. 560 с.

10. Загороднюк Л.Х., Шакарна М., Щекина А.Ю. Классификация добавок для армирования мелкодисперсных композитов // GISAP (Global International Scientific Analytical Project). – Режим доступа: http://gisap.eu/ru/node/23874, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

11. Волков И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. №5. С. 5-7.

12. Низина Т.А., Балыков А.С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // Региональная архитектура и строительство, 2015. №4. С. 25-33.

13. Низина Т.А., Балыков А.С., Сарайкин А.С. Экспериментальные исследования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов с полифункциональными модификаторами // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. №4. С. 91–96.

14. Низина Т.А., Селяев В.П., Балыков А.С., Ошкина Л.М. Комплексное влияние модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых

бетоны // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015: Сб. науч. тр. РААСН. М.: Изд-во АСВ, 2016. С. 548-554.

15. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы. 2016. №7. С. 68-72.

16. Низина Т.А., Балыков А.С., Макарова Л.В., Коровкин Д.И., Володин В.В. Исследование комплексов активных минеральных добавок и дисперсных волокон при разработке составов дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов // Вестник Приволжского территориального отделения РААСН. Вып. 20. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017. С. 230-240.

17. Низина Т.А., Балыков А.С. Сравнительный анализ влияния вариантов дисперсного армирования и полифункционального модифицирования на изменение физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов // Вестник Приволжского территориального отделения РААСН. Вып. 19. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016. С. 238-247.

18. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбалин А.В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. Ч. 2, Вып. 31 (50), Волгоград. 2013. С. 156-163.

19. Низина Т.А., Селяев В.П. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций факторов : материалы Всеросс. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 115-121.

20. Низина Т.А., Балыков А.С. Экспериментально-статистические модели свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов//Инженерно-строительный журнал. 2016. №2.С. 13-25.

21. Низина Т.А., Балыков А.С., Макарова Л.В. Применение моделей «состав - свойство» для исследования свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2016. №12. С. 15-21.

© Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И., Володин В.В., 2017

УДК 691.178:621.763

Селяев В.П.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор
Низина Т.А.
доктор технических наук, профессор
Низин Д.Р.
кандидат технических наук
Чернов А.Н.
аспирант
Попова А.И.
магистрант
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ *

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MODIFIED EPOXY POLYMERS

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований основных технологических параметров модифицированных эпоксидных композиций, полученных на основе отвердителей различных

типов – полиамидного Этал-45М и аминного ПЭПА (полиэтиленполиамин). Установлено, что замена аминного отвердителя на полиамидный позволяет повысить жизнеспособность состава от 2 до 10 раз, а также снизить экзотермичность процесса отверждения.

Ключевые слова: эпоксидные смолы; полимерные связующие; отвердители; вязкость; жизнеспособность; экзотермичность.

Abstract. We present the results of experimental studies of themain technological parameters of the modified epoxy compositionsobtained on the basis of different curing agents polyamide – Etal 45-M and amine PEPA (polyethylenepolyamine). It has been found that replacement the amine hardener on the polyamide hardener improves the composition viability from 2 to 10 times and reduces the curing process exothermicity.

Keywords: epoxy resins; polymer binders; hardeners; viscosity; viability; exothermicity.

В связи с постоянно усиливающимся негативным влиянием внешних агрессивных факторов, для защиты строительных изделий и конструкций на основе цементных вяжущих все чаще используются защитные полимерныепропитки и покрытия [1–4]. В строительной отрасли наибольшее распространение получили низкомолекулярные диановые смолы со средней молекулярной массы в диапазоне от 350 до 600, применяемые в качестве защитно-декоративных покрытий, пропиточных составов, клеев и т.д. [3–5].

Химическая модификация, основанная на введении в состав полимера реакционноспособных компонентов, представляет один из наиболее перспективных способов повышения эксплуатационных и технологических показателей сетчатых полимеров [3]. Известно, что отвержденные эпоксидные смолы характеризуются высоким уровнем

внутренних напряжений [6], а также сравнительно небольшой ударной вязкостью [7]. По этой причине, в качестве одной из наиболее перспективных групп химических модификаторов следует рассматривать флексибилизаторы – реакционноспособные вещества, встраивающиеся в полимерную матрицу и придающие жесткой структуре повышенную упругость, ударную прочность, а также прочность против отслаивания. Всё это достигается за счёт снижения уровня внутренних напряжений в процессе отверждения. На территории бывшего Советского Союза в качестве флексибилизирующих добавок наиболее часто применялись алифатические эпоксидные смолы ДЭГ-1 и ТЭГ-1. Снижение объемов производства эпоксидных смол в России в сочетании с относительно высокой ценой данных модификаторов привело к их практически полному исчезновению с рынка.

В настоящее время на рынке представлен аналог алифатических смол ДЭГ-1 и ТЭГ-1 – низковязкая эпоксидная смола марки Этал-1. Важным отличием современной смолы является значительно меньшая доля эпоксидных групп (14,5÷18,5 против 22,0÷26,0), что соответствующим образом сказывается на её реакционной способности.

Свойства составов на основе эпоксидной смолы ЭД-20, модифицированной Этал-1 и отверждаемой с помощью полиамидного отвердителя Этал-45М, рассматривались ранее в работах [8–14]. Установлено (рис. 1, а), что снижение вязкости при введении алифатического разбавителя Этал-1 в количестве 5÷50% от массы связующего, составляет 22÷87% и описывается зависимостью ($R^2 = 0.991$)

$$\eta = 2879e^{-0,04\omega}, \quad (1)$$

где ω – концентрация алифатического разбавителя Этал-1.

Изменение прочностных показателей при растяжении в зависимости от содержания Этал-1 с достаточной точность ($R^2 = 0.972$) описывается линейным уравнением (рис. 1, б)

$$R_{\text{раст.}} = 60{,}24 - 0{,}755\omega. \quad (2)$$

В качестве наиболее целесообразных составов по комплексу реологических и упруго-прочностных показателей для дальнейшего анализа были выбраны композиты на основе эпоксидной смолы ЭД-20, модифицированные 10 и 25% Этал-1 от массы связующего, а также модифицированной смолы марки Этал-247. Данные виды связующих отверждались полиамидным отвердителем Этал-45М, а также, для проведения сравнительных исследований, традиционным для строительной отрасли аминным отвердителем ПЭПА (полиэтиленполиамин).

а)б)

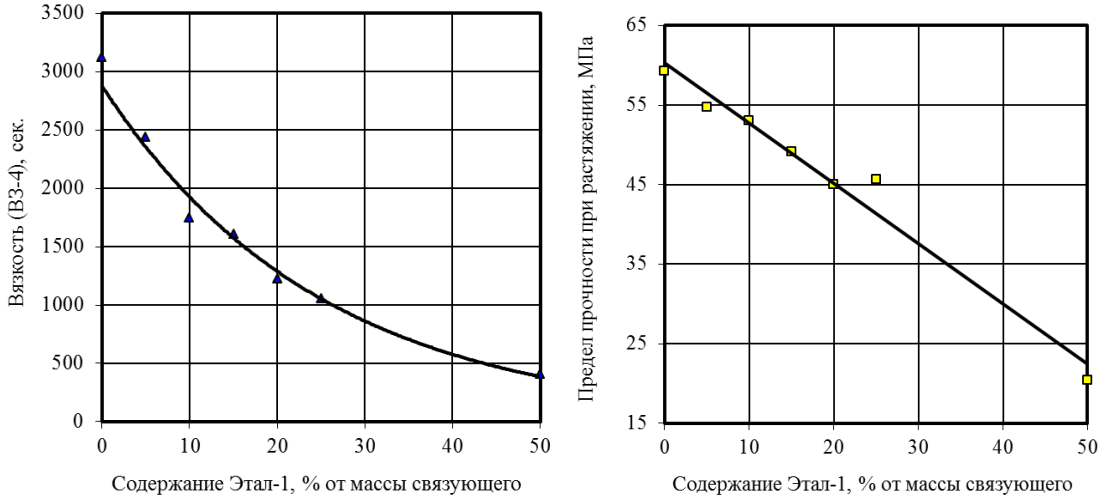


Рис. 1. Изменение реологических (а) и прочностных характеристик (б) эпоксидных композитов в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1

Абсолютные и относительные значения вязкости для исследуемых составов, полученные сразу после замеса, представлены в таблице 1. Установлено, что эффективность повышения реологических показателей эпоксидных композитов, достигаемая при использовании ПЭПА, выше,

чем при использовании Этал-45М. С другой стороны, эффект от использования модифицированных эпоксидных смол наиболее ярко проявляется именно при использовании полиамидного отвердителя.

Таблица 1

Изменение вязкости эпоксидных композиций

Исследуемые показатели	Марка отвердителя	Вид эпоксидного связующего			
		100% ЭД-20	90% ЭД-20 + 10% Этал-1	75% ЭД-20 + 25% Этал-1	100% Этал-247
Вязкость (вискозиметр ВЗ-4), сек.	Этал-45М	3115	1739	1051	367
	ПЭПА	892	652	350	272
Относительное снижение вязкости*, %	Этал-45М	–	44,17	66,26	88,22
	ПЭПА	–	26,91	60,76	69,51

*по сравнению с немодифицированным составом

Помимо вязкости, при оценке потенциала промышленного применения эпоксидных составов необходимо знать показатели их жизнеспособности и экзотермичности. Высокий уровень жизнеспособности, с одной стороны, позволяет осуществлять смешивание компонентов полимерного композита в больших объемах, что, несомненно, свидетельствует о значительном повышении технологичности процесса. С другой стороны, если существует потребность в оперативном введении покрытия в эксплуатацию, повышенное время желатинизации может привести к необходимости проведения дополнительных мер по ускорению процесса отверждения. Аналогичная двойственность характерна и для показателей экзотермичности процесса. Так, слишком высокая пиковая температура химической реакции в сочетании с неверно подобранным соотношением смешиваемых компонентов может привести к «закипанию» эпоксидной смолы. Недостаточный разогрев смеси, в свою

очередь, может приводить к неполной полимеризации композита, негативно сказываясь на целом комплексе его свойств.

Для формирования более полной картины процесса отверждения эпоксидного композита, были получены и проанализированы кинетические кривые открытой и теплоизолированной системы (рис. 2, 3). В качестве теплоизолированной системы в данном случае подразумеваются такие условия проведения экспериментального исследования, при которых процесс отверждения эпоксидных композитов происходит с минимальным теплообменом с окружающей средой. В рамках работы это достигалось путём помещения емкости с эпоксидным связующим в жесткие скорлупы, выполненные из экструдированного пенополистирола.

В качестве основных характеристических показателей полученных кинетических кривых изучались: пиковая температура экзотермической реакции в сочетании со временем её достижения. Абсолютные значения показателей жизнеспособности и экзотермичности для открытой и теплоизолированных систем для композитов, отверждаемых Этал-45 М, приведены в таблице 2. Установлено, что пиковая температура составов на основе Этал-45М в зависимости от условий отверждения различается в 2–2,5 раза. За счет более медленной скорости набора температуры для составов на основе Этал-45М по сравнению с аминным отвердителем ПЭПА в ходе отверждения характерны существенные потери выделяющегося тепла в окружающий воздух (рис. 2, а). Как следствие, потерянная теплота не может быть задействована в процессе саморазогрева смеси, что и приводит к столь существенному расхождению

между максимальными значениями температуры, полученными для теплоизолированной и открытой систем.

Таблица 2

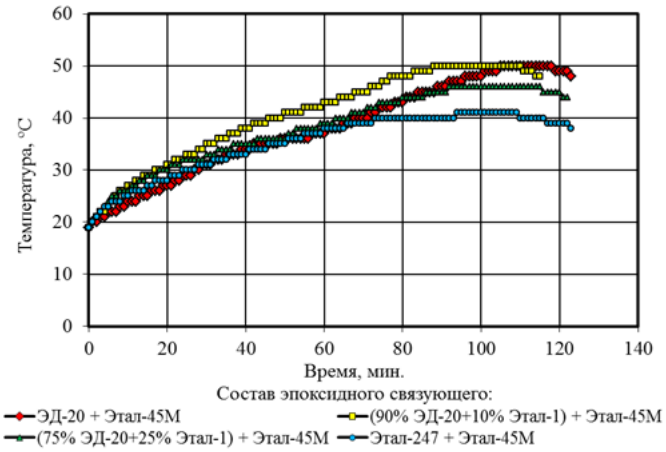
Показатели жизнеспособности и экзотермичности эпоксидных композиций (отвердитель Этал-45М)

Исследуемые показатели		Вид эпоксидного связующего			
		100% ЭД-20	90% ЭД-20 + 10% Этал-1	75% ЭД-20 + 25% Этал-1	100% Этал-247
Жизнеспособность, мин.		70	105	151	161
Пиковая температура экзотермии, °С	о.с.*	50	50	46	41
	т.с.**	106	100	98	103
Время достижения пиковой температуры, мин.	о.с.*	105	91	92	94
	т.с.**	70	100	95	98

о.с.* – открытая система;
т.с.** – теплоизолированная система

Следует отметить, что для составов, отверждаемых ПЭПА, кинетика набора температуры практически не зависит от условий проведения эксперимента – фиксируется лишь небольшое боковое смещение графика при практически неизменном значении пиковой температуры (рис. 3, табл. 3). Очевидно, что одинаковые значения пиковой температуры для составов, отверждаемых ПЭПА, обусловлены крайне высокими темпами ее прироста около точки максимума – более 100°С за 5 минут.

а)



б)

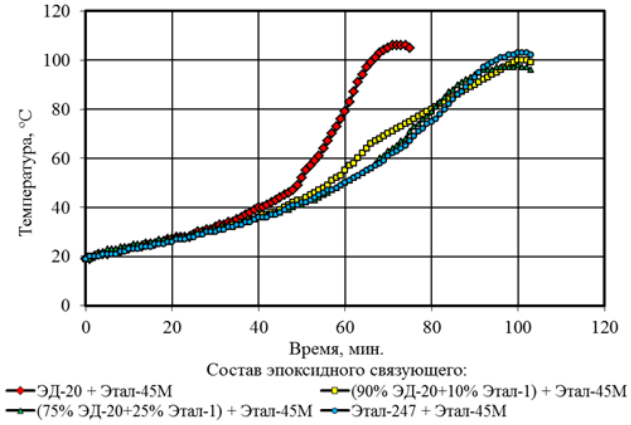


Рис. 2. Кинетические кривые изменения температуры составов (отвердитель Этал-45М): а) открытая система; б) теплоизолированная система

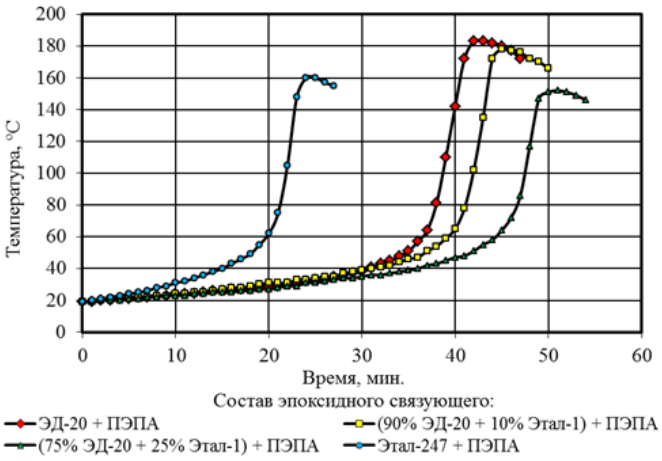
Таблица 3

Показатели жизнеспособности и экзотермичности эпоксидных композиций (отвердитель ПЭПА)

Исследуемые показатели		Вид эпоксидного связующего			
		100% ЭД-20	90% ЭД-20 + 10% Этал-1	75% ЭД-20 + 25% Этал-1	100% Этал-247
Жизнеспособность, мин.		32	36	42	15
Пиковая температура экзотермии, °С	о.с.*	184	178	152	160
	т.с.**	183	177	150	161
Время достижения пиковой температуры, мин.	о.с.*	42	45	50	24
	т.с.**	35	38	44	21

о.с.* – открытая система;
т.с.** – теплоизолированная система

а)



б)

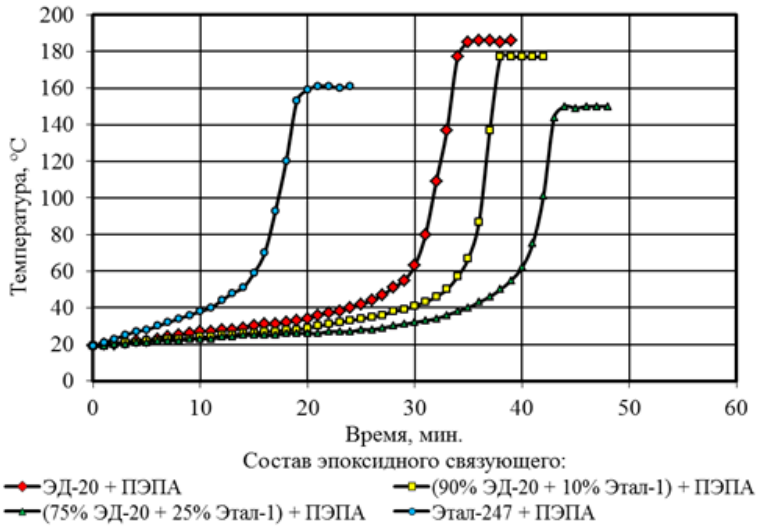


Рис. 3. Кинетические кривые изменения температуры составов (отвердитель ПЭПА): а) открытая система; б) теплоизолированная система

Проведенный сравнительный анализ основных технологических показателей модифицированных эпоксидных композитов показал, что составы, отверждаемые Этал-45М, обладают множеством ценных параметров, недостижимых для составов на основе ПЭПА. К ним следует отнести:

- повышенную жизнеспособность (от 2 до 10 раз);
- значительно меньшую пиковую температуру экзотермии (2–4 раза) и, как следствие, повышенную технологичность процесса получения полимерного материала;

- существенно меньший уровень внутренних напряжений, достигаемый за счет внутреннего пластифицирующего действия отвердителя.

Таким образом, модифицированные составы на основе отвердителя Этал-45М обладают большим потенциалом для применения в качестве защитно-декоративных покрытий строительных изделий и конструкций.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-33-01008 «Исследование сезонности влияния климатических факторов на закономерности старения полимерных композиционных материалов и защитно-декоративных покрытий строительных конструкций на их основе».

Литература

1. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. М.: Химия, 1982. 232 с.

2. Соломатов В.И., Селяев В.П. Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд., перераб. и дополн. М. : РААСН, 2001. 284 с.

3. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. Казань : Изд-во ПИК «Дом печати», 2004. 446 с.

4. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 260 с.

5. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны: монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. 284 с.

6. Ажеганов А.С., Бегишев В.П., Горинов Д.А., Лысенко С.Н., Шардаков И.Н. Развитие и релаксация внутренних напряжений в зернистых композитах с эпоксидной матрицей // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 4. С. 104–114.

7. Ахматова О.В. Композиционные материалы на основе модифицированного эпоксидного олигомера и нанонаполнителей: автореф. дис. …канд. техн. наук. Рос. хим.-технолог. университет им. Д.И. Менделеева, Москва, 2011. 16 с.

8. Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Фомин Н.Е., Юдин В.А. Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на упруго-прочностные характеристики и щелочестойкость эпоксидных композитов // Известия ВУЗов. Строительство. 2014, №8. С. 14–19.

9. Молоков М.В., Низин Д.Р., Старцев О.В., Низина Т.А. Результаты экспериментальных исследований полимерных композиционных материалов на основе низковязких эпоксидных связующих // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». 2014. – Спецвыпуск. – Режим доступа: http://journal.mrsu.ru/arts/rezultaty-ehksperimentalnykh-issledovanijj-polimernykh-kompozicionnykh-materialov-na-osnove-nizkovyazkikh-ehpoksidnykh-svyazuyushhikh

10. Селяев В.П., Низин Д.Р., Низина Т.А., Фомин Н.Е., Юдин В.А., Чернов А.Н. Влияние вида отвердителя на вязкость, жизнеспособность и экзотермичность составов эпоксидных связующих // Известия ВУЗов. Строительство, 2016. № 6. С. 47-57.

11. Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р. Старцев О.В., Молоков М.В. Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на климатическую стойкость эпоксидных полимеров на основе смолы ЭД-20 // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015: Сб. науч. тр. РААСН. – М.: Изд-во АСВ, 2016. С. 589–595.

12. Селяев В.П., Низин Д.Р., Низина Т.А., Фомин Н.Е., Юдин В.А., Чернов А.Н. Технологические свойства составов модифицированных

эпоксидных композитов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2016. С. 120–126.

13. Старцев В.О., Молоков М.В., О.В. Старцев, Низина Т.А., Низин Д.Р. Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на климатическую стойкость эпоксидных полимеров на основе смолы ЭД-20 // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №12. С. 26–36.

14. Селяев В.П., Низин Д.Р., Низина Т.А., Чернов А.Н. Влияние вида связующего и отвердителя на технологические показатели модифицированных эпоксидных композиций // Вестник Поволжского государственного технологического университета: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. №1. С. 31-38.

© Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Артамонов Д.А., Чернов А.Н., Попова А.И., 2017

УДК 624.042

Мандрик-Котов Б.Б.
инженер
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Овчинников И.Г.
доктор технических наук, профессор
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,,
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАЛОНАГРУЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

PECULIARITIES OF APPLICATION OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS IN IN SMALL LOADED STRUCTURES OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS

Аннотация. В работе произведены примеры применения полимерных композитных материалов (ПКМ) для изготовления перильных ограждений, страховых ограждений для пешеходов, лестничных сходов, смотровых ходов, пандусных сходов, откосных водоотводных лотков для дорог и подвесных водоотводных лотков для мостов. Показаны направления усовершенствования перильных ограждений из ПКМ и путем сравнения с металлическими и гибридными ограждениями показана их конструктивная, технологическая, эксплуатационная и экономическая эффективность.

Ключевые слова:полимерные композитные материалы, конструкции из композитных материалов, перильные ограждения, лотки.

Abstract. Examples of the use of polymeric composite materials (PCM) for the manufacture of guard rails, insurance fences for pedestrians, staircases, inspection walkways, ramp gatherings, sloping drainage channels for roads and suspended drainage trays for bridges are made. The directions of improvement of guard rails from PCM are shown and by comparison with metal and hybrid fences their constructive, technological, operational and economic efficiency is shown.

Keywords: polymer composite materials, polymer composite constructions, perimeter fences, trays.

Как известно [8], выделяется четыре направления использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в транспортном строительстве:

1)применение ПКМ при изготовлении целых транспортных сооружений или их элементов (пролетных строений, плит проезжей части, тротуарных настилов, водопропускных труб и т.д.);

2)применение неметаллической композитной арматуры для армирования бетонных конструкций транспортных сооружений и конструкций из других материалов, причем будем рассматривать применение и стержневой арматуры и трубчатой наружной арматуры;

3)применение ПКМ для усиления существующих металлических и железобетонных элементов транспортных сооружений;

4)применение ПКМ в малонагруженных изделиях и конструкциях (перильные ограждения, водоотводные лотки, мачты освещения и т.д.).

Первым трем направлениям применения ПКМ в современных публикациях уделяется довольно большое внимание. Обзор современной ситуации по этим направлениям содержится в работах [2 - 5]. А вот направлению, связанному с применением ПКМ для изготовления малонагруженных конструкций транспортных сооружений, внимания уделяется недостаточно. Поэтому в данной работе мы попытаемся восполнить этот пробел.

Полимерные композитные материалы могут широко применяться для изготовления полнокомпозитных конструкций перильных ограждений и страховых ограждений для пешеходов (рис.1,2). Также ПКМ могут применяться для изготовления полнокомпозитных конструкций лестничных сходов, смотровых ходов, пандусных сходов (рис.3,4,5). Еще одно направление применения ПКМ – откосные водоотводные лотки для дорог и подвесные водоотводные лотки для мостов (рис.6,7). Из ПКМ могут также изготавливаться короба для электрокабелей, ограждения пешеходных зон, облицовочные панели (рис.8,9,10).

Все эти изделия выпускаются ООО «ПГМ-Городское Пространство»(www.pgmsl.ru), котороеявляется и разработчиком и производителем и поставщиком полнокомпозитных конструкций,

применяемых на объектах строительства и реконструкции автомобильных и железных дорог, а также в гражданском и промышленном строительстве.

Рис.1. Перильные ограждения

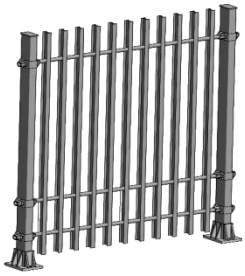


Рис.2. Страховые ограждения

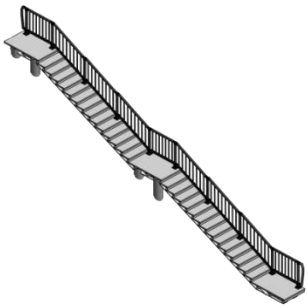


Рис.3. Лестничный сход

Рис.4. Смотровой ход

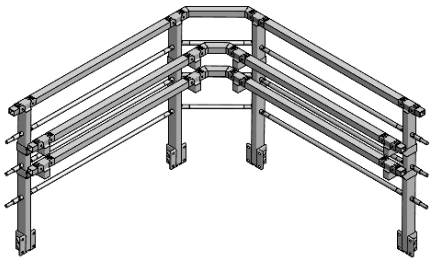


Рис.5. Ограждение для пандусов

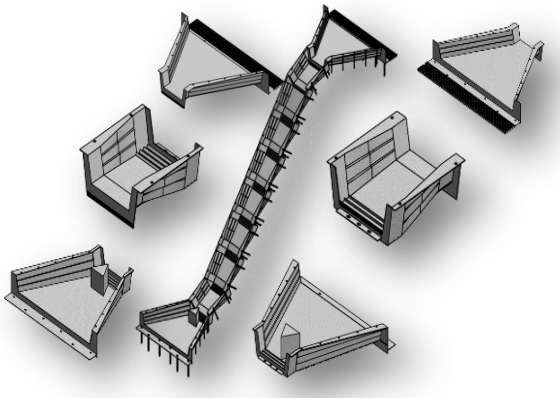


Рис.6. Откосные водоотводные лотки

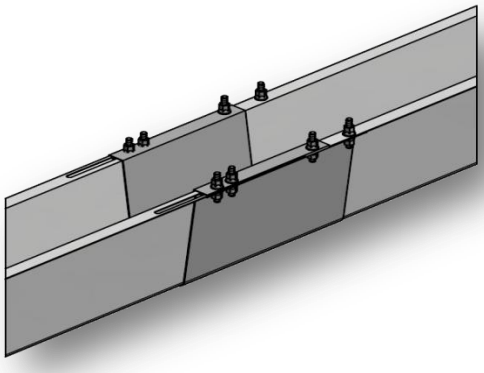


Рис.7. Подвесные водоотводные лотки

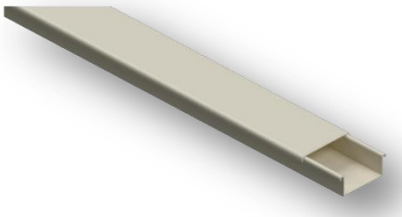


Рис.8. Короб для кабелей

Рис.9. Ограждение пешеходных зон

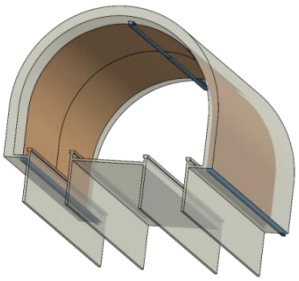


Рис.10. Облицовочные панели

Продукция компании защищена патентами [6-12]. На рисунках 11,12 приведена технология производства.

Рис.11. Две линии пултрузии мощностью 6 и 12 тонн

Рис.12. Линия по производству композитного листа, профильного листа и водоотводных подвесных лотков

Усовершенствование конструкций из ПКМ позволило компании: увеличить срок эксплуатации за счет исключения металлических соединительных элементов и сверления профиля; упростить и ускорить сборку и замену элементов конструкций; повысить показатель негорючести; снизить логистические затраты; снизить трудозатраты; снизить стоимость конечного продукта (рис.13,14). Улучшение формулы полимерной смеси и усовершенствование дизайна конструкции позволило полностью избавиться от металлических элементов путем использования композитного анкера и двухкомпонентного клея.

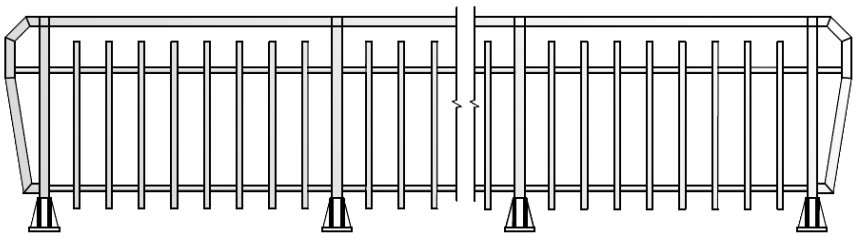


Рис.13. Первоначальный вариант перильного ограждения (2012 - 2014 годы)

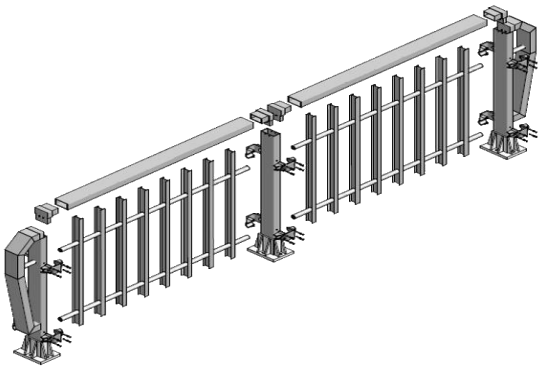


Рис.14. Усовершенствованная конструкция перильного ограждения (2014 – 2016 годы)

Представляет интерес провести сравнение стоимости погонного метра металлических,гибридных и композитных перильных ограждений (Таблица 1).

Таблица 1

Материал	Стоимость ограждения с доставкой до объекта, руб/п.м.	Установка и дополнительные работы, руб/п.м.	Стоимость ограждений с установкой, руб/п.м.
металл с глубокой оцинковкой	4800	1480	6280
гибридные	5160	960	6120
полимерно композитный	5847	320	6147

Как видно, стоимость изготовления и последующей установки перильных ограждений практически одинакова для разных материалов. Но сравним эксплуатационные расходы на применение перильных ограждений из этих материалов (Таблица 2). При определении ценучитывались расходы на материалы, спецтехнику, антикоррозийное покрытие, трудозатраты, пескоструйную обработку каждые 6 лет (распределенную) и покраску (Приложение N 2 к Приказу Минтранса России от 1 ноября 2007 г. N 157 Периодичность проведения видов работ по содержанию автомобильных дорог общего пользования федерального

значения). Замена металлических ограждений каждые 8-12 лет гибридных ограждений каждые 15 лет. Полная замена металлических перильных ограждений производится в составе работ по ремонту искусственного сооружения (согласно «Классификации работ» утв. Приказом Минтранса РФ №160 от 12.11.2007 г.).

Таблица 2

Материал		Металлические конструкции	Гибридные конструкции	Конструкции из ПКМ
Эксплуатационные затраты на 1 пог.м. за период (рубли)	6 лет	3118	1891	1287
	12 лет	29973	8108	3219
	15 лет	40727	27086	4523
	24 года	114383	39115	10471

Сравнение показывает, что к 15 году эксплуатационные расходы на перильные ограждения из ПКМ в 9 раз ниже, чем на металлические перильные ограждения, и в 6 раз ниже, чем на гибридные ограждения.

Интересно также проследить отношение нормативных документов к конструкциям их ПКМ. Если ГОСТ 33119-2014: допускает применение металлических элементов, узлов и крепежей, что ухудшает антикоррозийные свойства композитов;допускает исполнение многочисленных отверстий; указывает продолжительность эксплуатации 100 лет (что вообще-то необоснованное); предусматривает категорию горючести Г2, то есть ГОСТне учитывает основные специфические характеристики полимерных композитных материалов,то более современный стандарт организации (СТО Автодор 2.24-2016 Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации композитных конструкций: ограждений, лестничных сходов, смотровых ходов и водоотводных лотков искусственных дорожных сооружений на автомобильных дорогах государственной компании «АВТОДОР»):

исключает применение металлических элементов; требует технических решений без сверления профилей, особенно в несущих элементах; строго регулирует исполнение отверстий; указывает продолжительность эксплуатации не менее 50 лет; гарантийный срок на конструкции 15 лет; указывает категорию горючести не ниже Г1.

Более подробный список нормативных документов по применению полимерных композитных материалов для изготовления перильных ограждений на мостовых сооружениях приведен в [13].

В заключение приведем примеры использования перильных ограждений из ПКМ, произведенных GUV – Городское пространство (рис.15).

Рис.15. Перильные ограждения на пешеходном путепроводе, лестничном сходе и пешеходном проходе

Литература

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б., Михалдыкин Е.С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru /PDF/89TVN616.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ

2. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 3. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) http://naukovedenie.ru /PDF/27TVN515.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/27TVN515.

3. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. - М.: Изд-во АСВ, 2013. - 200 с.

4. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций// Интернет-журнал «Науковедение» 2012, № 4, http://naukovedenie.ru /PDF/13tvn412.pdf. -М. с. 1- 22.

5. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 2. Натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения// Интернет-журнал «Науковедение» 2012, № 4, http://naukovedenie.ru /PDF/14tvn412.pdf. -М. с. 1- 37.

6. Мандрик-Котов Б.Б. Композитный анкер// Патент на изобретение № 2532553. Заявка 2013136425 Приоритет 05.08.2013. Дата регистрации 10.09.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство

7. Мандрик-Котов Б.Б. Лестничное ограждение// Патент на полезную модель № 134563. Заявка 2013137801 Приоритет 13.08.2013. Дата регистрации 20.11.2013. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство

8. Мандрик-Котов Б.Б. Узел крепления внутренней части секций ограждения// Патент на полезную модель № 142397. Заявка 2014107789 Приоритет 28.02.2014. Дата регистрации 22.05.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство

9. Мандрик-Котов Б.Б. Опора для крепления стойки// Патент на полезную модель № 141661. Заявка 2014107788 Приоритет 28.08.2014. Дата регистрации 30.04.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство

10. Мандрик-Котов Б.Б. Водоотвод// Патент на полезную модель № 140294. Заявка 2014107787 Приоритет 28.02.2014. Дата регистрации 09.04.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство

11. Мандрик-Котов Б.Б. Пешеходная мостовая платформа// Патент на полезную модель № 158354. Заявка 2015134414 Приоритет 17.08.2015. Дата регистрации 07.12.2015. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.

12. Мандрик-Котов Б.Б. Ограждение// Патент на полезную модель № 168407. Заявка 2016144988 Приоритет 16.11.2016. Дата регистрации 02.02.2017. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.

13. Овчинников И.И., Ильченко Е.Д., Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.Г. О нормативных документах по применению полимерных композиционных материалов для пешеходных ограждений в транспортном строительстве// Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. Сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции. Саратов. 2017. С.368 – 373.

© Мандрик – Котов Б.Б., Овчинников И.Г., 2017.

УДК 624.131.439(470.6)

Осипова О.Н.
доцент, кандидат технических наук
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск
Матвиенко М.П.
старший преподаватель
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск
Сапрыкина Ю.В.
магистрант
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ В ПРИБОРЕ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

DETERMINATION OF STRUCTURAL STRENGTH OF SOILS IN A TRIAXIAL COMPRESSION DEVICE

Аннотация. В статье приведены результаты испытания по определению структурной прочности образцов грунтов характерных для Южного федерального округа в измерительно-вычислительном комплексе АСИС-1, устройстве трехосного сжатия ГТ 1.3.1-05, проанализированы графические результаты, сделаны выводы.

Ключевые слова: структурная прочность, грунт, расчет, трехосные испытания.

Abstract. The results of the test for determining the structural strength of soil samples characteristic for the Southern Federal District in the ASIS-1 measuring and computing complex, the triaxial compression device GT 1.3.1-05, the graphic results are analyzed, and the conclusions are drawn.

Key words: structural strength, priming, calculation, triaxial testing.

Структурная прочность грунтов (pstr) является одним из важнейших показателей их физико-механических свойств, знание которых необходимо при лабораторных испытаниях грунтов и для расчетов других деформационных характеристик. Вопросы, связанные со структурной прочностью грунтов, стали вновь весьма актуальными в связи с совместными проектами с зарубежными партнерами и, следовательно, с активизировавшимся вниманием к зарубежным стандартам, в которых интерпретация результатов компрессионных испытаний грунтов отличается от российской. Вторая причина обращения к этому вопросу обусловлена выпуском новых нормативных документов, в которых пока не дана окончательная оценка природы этого показателя и возможностей его применения.

Для получения детальной информации о характере грунта и его свойствах необходимо проведение лабораторных исследований. Данная работа напрямую влияет на инженерно-геологические изыскания, а точнее на их результат. В лаборатории образец грунта подвергается разного рода испытаниям, в результате чегообработанные данные выводят в один геологический отчет. Одним из таких испытаний является сжатие грунтов.

Сжатие происходит тремя способами: одноосным, трехосным и компрессионным. Наиболее интересный и применяемый на практике вид сжатия – трехосное сжатие.

Лаборатория «Механика грунтов» кафедры «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» строительного факультета,ЮРГПУ (НПИ), оборудованаизмерительно-вычислительным комплексом АСИС-1,для автоматизации механических

испытаний образцов грунтов и образцов твердых горных пород в лабораторных условиях,а такжевыполнения измерений вертикальной и касательной нагрузок (прикладываемой силы), вертикальной деформации и деформации среза (линейных перемещений), порового и всестороннего давления испытываемых образцов грунтав соответствиис ГОСТ [1,2,3].

Рис. 1. Отбор образцов для опыта из монолита

Для проведения опыта были отобраны монолиты грунта с помощью ООО «Изыскатель» с глубины 11 м., район улицы Ященко в г. Новочеркасске Ростовской области, всего использовались 4 монолита, до проведения трехосного испытания определялись физико-механические свойства данных грунтов. Было установлено, что влажность грунта – 0,225, плотность – 1,98 г/см3, пористость – 41%, коэффициент пористости – 0,68. по числу пластичности определен вид грунта – суглинок. Первоначальная высота образца – 76 мм.,диаметр – 38 мм. После проведения испытаний, в среднем высота образца стала меньше на 11 мм, а диаметр – на 3 мм. Всего выполнено испытаний – 4; Боковое давление– в первом опыте – 100 кПа, во втором – 200 кПа, в третьем – 300 кПа и в четвертом – 400 кПа.

Скорость проведения опытов была различной от 4 до 9 часов, в связи с заданным интервалом нагружения.

Рис. 2. Прибор ГТ 1.3.1-05

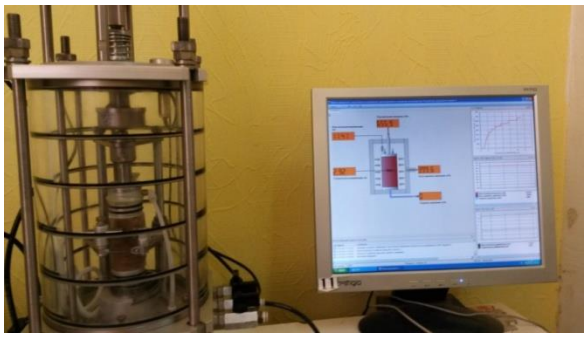


Рис. 3. Проведение испытаний

Сводная таблица максимальных результатов четырех опытов представлена ниже:

Таблица 1

№	Боковое давление, МПа	Всесторон. давление, МПа	Вертик. давление, МПа	Вертик. нагрузка кгс	Поровая жидкость, мм	Гориз.. деформ., мм	Вертик. деформ., мм
1	100	0,0997	0,33	25,94	0	1,16	11,4
2	200	0,2	1,49	145,5	0,0016	3,37	10,29
3	300	0,2995	0,8835	66,3	0,0005	2,1	11,4
4	400	0,3996	1,0556	74,4	0	2,92	11,4

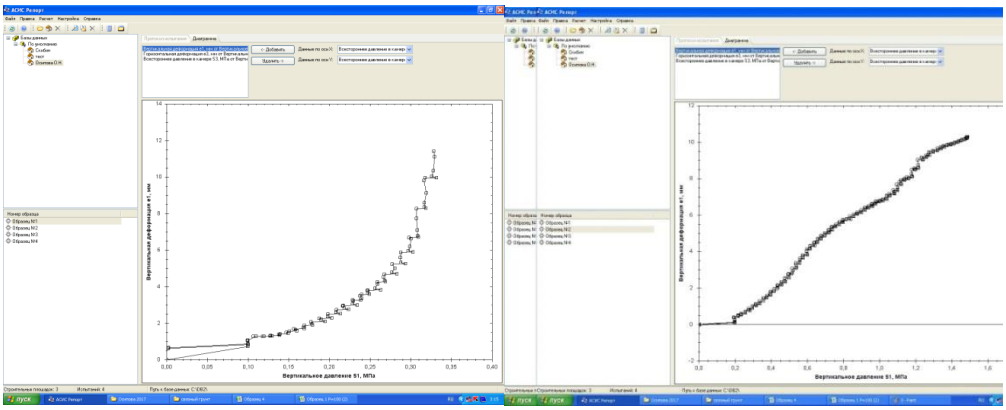


Рис. 4 Графики изменения вертикальной деформации от вертикальной нагрузки в опытах № 1 и 2

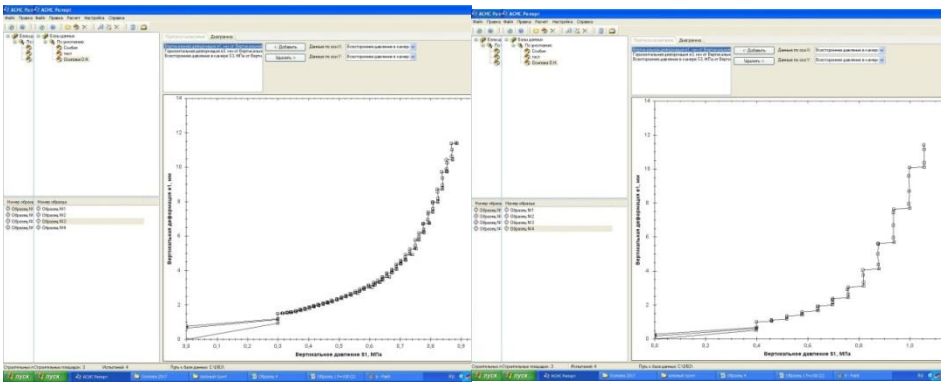


Рис. 5 Графики изменения вертикальной деформации от вертикальной нагрузки в опытах № 3 и 4

В результате выполнен графический анализ полученных данных и представлена таблица максимальных значений по проведенным опытам. Установлено, что образец уменьшился в среднем на 11 мм.

К сожалению, данная конфигурация прибора не позволяет определить значение структурной прочности грунта по прибору (для этого необходим прибор ГТ 1.1.5), но по графику зависимости вертикальной деформации от вертикальной нагрузки можно увидеть, что сжатие образца происходит не сразу, а имеется некоторый прямолинейный участок, который позволяет нам судить о наличии структурной прочности у данного грунта. Для определения ее величины необходимо провести расчеты и выполнить ряд опытов для подтверждения результата.

В работах к.т.н., доцента Осиповой О.Н. и д.т.н., профессора Дыбы В.П.рассматривается влияние структурной прочности грунтов на величину осадки основания. Доказано, что значение расчетной осадки с учетом структурной прочности грунта, значительно меньше значения осадки, полученной по нормативному методу,глубина сжимаемой толщи при учете структурной прочности также значительно меньше нормативной [4], таким образом, использование метода послойного суммирования с учетом структурной прочности грунтов позволяет точнее определять осадки фундамента, решает проблему несоответствия вычисляемых и наблюдаемых значений осадок, что приводит кболее рациональному проектированию оснований и фундаментов, к экономии строительных материалов и рабочего времени [5]. Следовательно, изучение структурной прочности грунтов и методов ее определения является актуальной задачей.

Литература

1. ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование,хранение образцов».

2. ГОСТ 12248-2010 «Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

3. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».

4. Осипова О.Н., Дыба В.П. Галашев Ю.В. «Влияние структурной прочности грунтов на величину глубины сжимаемой толщи и осадку основания».Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2010. - № 5. - С. 83-85.

5. Осипова О.Н., Потехин А.А., Попов Н.Ю. «Примеры расчета осадки фундаментов с учетом структурной прочности грунтов». Материалы XVI Международной научно-практической конференции

Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений 15 ноября.. 2016 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. - С. 70-75.

© Осипова О.Н., Матвиенко М.П., Сапрыкина Ю.В., 2017

УДК 624.073

Паницкова Г.В.
кандидат технических наук, доцент,
Балаковский инженерно технологический институт-
филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»

К ВОПРОСУ РАСЧЁТА ИЗГИБА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНСУЧЁТОМИСТОРИИНАГРУЖЕНИЯ

TO THE PROBLEM OF CALCULATING THE BENDING OF RECTANGULAR PLATES TAKING INTO ACCOUNT THE LOADING HISTORY

Аннотация. В работе анализируется решение дифференциальных уравнений упругопластического изгиба пластин, полученных на основе теории Прандтля-Рейсса и гипотез Кирхгофа-Лява. Представлены результаты решения задач изгиба квадратных в плане пластин различной толщины при равномерно распределенном и ступенчатом нагружении.

Ключевые слова: упругопластический изгиб, метод вариационных итераций.

Abstract. In this article the solution of the differential equations of elastoplastic bending of plates obtained on the basis of the Prandtl-Reiss theory and the Kirchhoff-Love hypotheses is analyzed. The results of solving the

problems of bending square in the plan of plates of different thickness are presented for uniformly distributed and stepwise loading.

Ключевые слова: elastoplastic bending, variational iteration method.

Система дифференциальных уравнений упругопластического изгиба пластин для сложного нагружения получена в работе [1].

В безразмерном виде линеаризованные по методу последовательных приближений для *i*-того приближения уравнения запишутся следующим образом:

$$\frac{1}{12\left(1-\nu^2\right)}\left\{\lambda^2\frac{\partial^4\Delta u_i}{\partial\xi^4}+2\frac{\partial^4\Delta u_i}{\partial\xi^2\partial\eta^2}+\frac{1}{\lambda^2}\frac{\partial^4\Delta u_i}{\partial\eta^4}+\left[\lambda\frac{\partial^2\Delta\tilde{M}_\xi}{\partial\xi^2}+\right.\right.$$
$$\left.\left.+2\frac{\partial^2\Delta\tilde{M}_{\xi\eta}}{\partial\xi\,\partial\eta}+\frac{1}{\lambda}\frac{\partial^2\Delta\tilde{M}_\eta}{\partial\eta^2}\right]_{i-1}\right\}-\frac{\partial^2\varphi}{\partial\eta^2}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi^2}-\frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\eta^2}-$$
$$-\frac{\partial^2\Delta\varphi_{i-1}}{\partial\eta^2}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi^2}\right)-\frac{\partial^2\Delta\varphi_{i-1}}{\partial\xi^2}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\eta^2}+\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\eta^2}\right)+$$
$$+2\left[\frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi\,\partial\eta}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi\,\partial\eta}+\frac{\partial^2\Delta\varphi_{i-1}}{\partial\xi\,\partial\eta}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\xi\,\partial\eta}+\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi\,\partial\eta}\right)\right]=\Delta p_i,$$

$$\lambda^2\frac{\partial^4\Delta\varphi_i}{\partial\xi^4}+2\frac{\partial^4\Delta\varphi_i}{\partial\xi^2\partial\eta^2}+\frac{1}{\lambda^2}\frac{\partial^4\Delta\varphi_i}{\partial\eta^4}+\left[\lambda\frac{\partial^2}{\partial\xi^2}\left(\Delta\tilde{N}_\eta-\nu\Delta\tilde{N}_\xi\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\lambda}\frac{\partial^2}{\partial\eta^2}\left(\Delta\tilde{N}_\xi-\nu\Delta\tilde{N}_\eta\right)-2(1+\nu)\frac{\partial^2\Delta\tilde{N}_{\xi\eta}}{\partial\xi\,\partial\eta}\right]_{i-1}-$$
$$-2\frac{\partial^2\Delta u_{i-1}}{\partial\xi\,\partial\eta}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\xi\,\partial\eta}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi\,\partial\eta}\right)+\frac{\partial^2\Delta u_{i-1}}{\partial\eta^2}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\xi^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\xi^2}\right)+ \quad (1)$$
$$+\frac{\partial^2\Delta u_{i-1}}{\partial\xi^2}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\eta^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta u_i}{\partial\eta^2}\right)=0.$$

Здесь $u = w/2h$ – безразмерный прогиб, $\lambda = b/a$ – параметр удлиненности пластины, $\Delta p = \Delta q a^2 b^2 / 32G(1+\nu)h^4$ – параметр приращения поперечной нагрузки, $\varphi = \Phi/16Gh^3(1+\nu)$ – безразмерная функция мембранных усилий, $\tilde{M}_\xi = 3(1-\nu)abM_x/8Gh^4$, $\tilde{M}_\eta = 3(1-\nu)abM_y/8Gh^4$, $\tilde{M}_{\xi\eta} = 3(1-\nu)abM_{xy}/8Gh^4$, $\tilde{N}_\xi = abN_x/16Gh^3(1+\nu)$, $\tilde{N}_\eta = abN_y/16Gh^3(1+\nu)$, $\tilde{N}_{\xi\eta} = abN_{xy}/16Gh^3(1+\nu)$ – параметры пластических составляющих моментов и мембранных усилий, определяющие физическую нелинейность задачи, G– модуль сдвига, h – половина толщины пластины, ν – коэффициент Пуассона, aи b– размеры пластины в плане.

Члены с индексами i-1 являются известными из решения задачи предыдущего приближения и играют роль переменных коэффициентов, uи φ – функции прогибов и усилий, накопленные к i-тому приближению, также являются известными.

Для решения системы уравнений (1) применялся метод вариационных итераций.

Искомые функции представлялись в виде:

$$\Delta u_i = X_{ui}(\xi)Y_{ui}(\eta), \quad \Delta\varphi_i = X_{\varphi i}(\xi)Y_{\varphi i}(\eta). \tag{2}$$

На первой итерации каждого приближения функции $X_{ui}(\xi)$ и $X_{\varphi i}(\xi)$ полагались аппроксимирующими, а функции $Y_{ui}(\eta)$ и $Y_{\varphi i}(\eta)$ определялись из решения вариационных уравнений:

$$\int_0^1 \left[A\left(X_{ui}, Y_{ui}, X_{\varphi i}, Y_{\varphi i}\right) - \Delta p_i\right] X_{ui}\, d\xi = 0,$$

$$0 \le \xi \le 1$$

$$\int_0^1 \left[C\left(X_{ui}, Y_{ui}, X_{\varphi i}, Y_{\varphi i}\right)\right] X_{\varphi i}\, d\xi = 0,$$

где A и C – левые части уравнений (1) с учетом выражений (2).

На второй итерации полученные функции $Y_{ui}(\eta)$ и $Y_{\varphi i}(\eta)$ принимались за аппроксимирующие, а функции $X_{ui}(\xi)$ и $X_{\varphi i}(\xi)$ определялись из вариационных уравнений для другого направления.Процесс итераций на каждом приближении продолжался до стабилизации функции $X_{ui}(\xi)$, $X_{\varphi i}(\xi), Y_{ui}(\eta)$, $Y_{\varphi i}(\eta)$.

В выражениях для приращений пластических составляющих мембранных усилий и моментов присутствуют отношения интенсивности девиатора приращений пластических деформаций к интенсивности девиатора напряжений.

Были выполнены расчеты квадратных пластин с граничными условиями: шарнирное описание на гибкие нерастяжимые в касательной плоскости ребра и жестко защемленные края. Диаграмма деформирования материала аппроксимировалась двузвенной ломаной с $\gamma_S = 0{,}0016$ и $\beta = 1$. Коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}3$.На рис. 1 приведены зависимости нагрузки от прогиба в центре пластины для пластин с параметрами толщины $\frac{2h}{a} = 0{,}1$ (кривые 1-4), $\frac{2h}{a} = 0{,}01$ (кривые 5-8).

Кривые 2,4,6,8 соответствуют равномерно распределенной нагрузке. Зависимости 1,3,5,7 даны для нагрузки, распределенной равномерно по полосе $0{,}5 \le \xi \le 1$ до некоторого значения функции прогибов (на графиках помеченного крестиком), затем по полосе $0 \le \xi \le 0{,}5$ до стадии глубокой пластичности. Сплошными линиями представлены результаты решения с первым типом граничных условий. Штриховые линии отвечают второму типу.

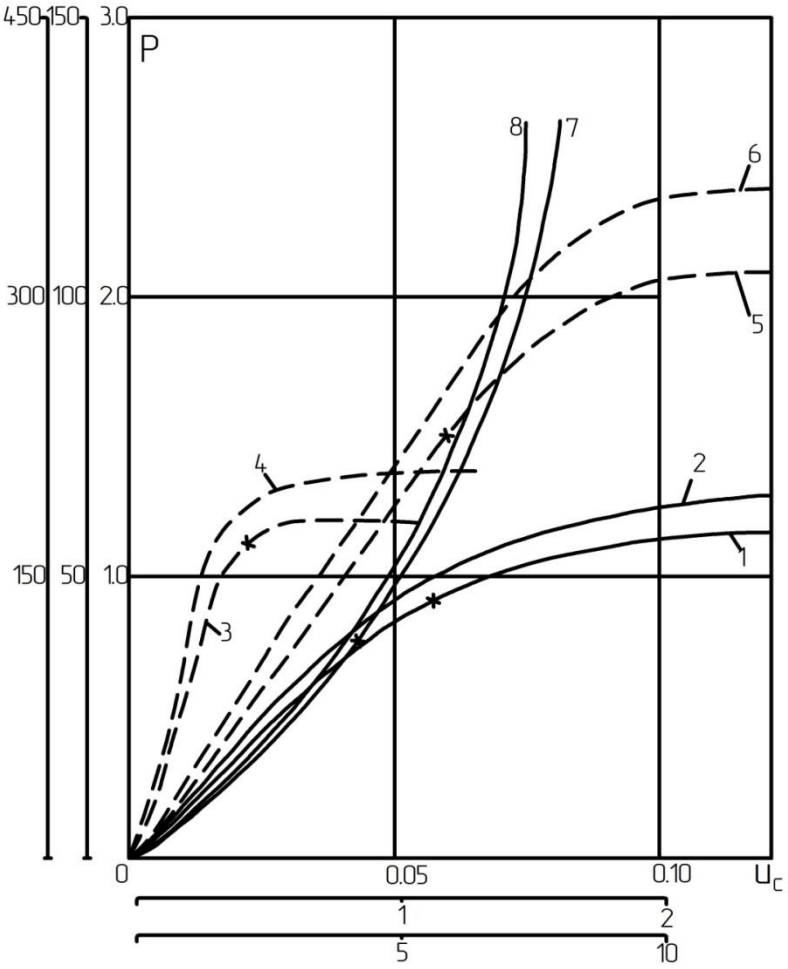


Рис. 1- Зависимости нагрузки от прогиба в центре пластины

Первые дополнительные шкалы относятся к кривым 5,6. Вторые дополнительные шкалы – к кривым 7,8.

Литература

1.Паницкова Г.В. Уравнения движения пологой оболочки при трёхпараметрическом нагружении / Г.В.Паницкова. Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1986. 8с. Деп. в ВИНИТИ 3.12.86. № 8238-В86.

© Паницкова Г.В., 2017.

УДК 620.19

Попова Ю.А. ,
студентка 3 курса
Балаковского инженерно-технологического института
(филиал НИЯУ МИФИ)
Научный руководитель: **Гарибов Р.Б.**
доктор технических наук,
профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительства"
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),
Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КОРРОЗИЯ БЕТОНА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

CORROSION OF CONCRETE AND METHODS OF ITS PROTECTION

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы коррозии и антикоррозионной защиты бетонных конструкций и их элементов.

Ключевые слова: коррозия, антикоррозийная защита, химические добавки, агрессивная среда.

Abstract. The article considers the issues of corrosion and corrosion protection of concrete structures and their elements.

Keywords: corrosion, corrosion protection, chemical additives, corrosive environment.

Бетон – достаточно популярный стройматериал, изготавливающийся из цемента, воды и заполнителя, по своей прочности близок к камню. Заполнитель может быть различных размеров и характеристик, довольно часто используют гравий и щебенку.

Коррозия бетона и железобетона – процесс разрушения единой структуры цементного камня, происходящий по причине воздействия воды и влаги, периодического замораживания и размораживания. Тем не менее,

процесс коррозии может начинаться, при контакте бетона с агрессивной средой [1].

Виды коррозии бетона

1. ***Первый вид коррозии бетона.***

Вымывание элементов цементного камня.

В данном случае, коррозия бетона развивается из-за процесса вымывания растворенияэлементов цементного камня. Под влиянием воды изначально в бетоне растворяется гидроксид кальция, в результате гидролиза образуется C_3S (алит) и C_2S (двухкальциевый силикат).Ихчисленность со временем увеличивается и в течение 3 месяцев становится около 10-15% и растворимость 1.3 г/л. Когда объем снизится до 1.1 г/л., начнет прогрессировать распад гидросиликатов, далее произойдет разложение гидроалюминатов и гидроферритов кальция. Этот процессвызывает увеличение пористости, т.е. уменьшение прочности. Данное явление коррозии бетона ускоряется, при действии воды под давлением. [2]

2. ***Второй вид коррозии бетона.***

Воздействие на цементный камень агрессивных веществ. Процесс коррозии возникает при влиянии на цементный камень разнообразных агрессивных веществ, при соприкосновении с которыми образуются два

типа соединений:

Аморфные массы почти не имеют связующими свойствами. Соли легко растворимы. [2]

- Кислотная коррозия.

Этот вид коррозии появляется при воздействии любой из кислот. При взаимодействии, например, соляной кислоты и серной кислотыс гидроксидом кальция, создают легкорастворимые соли $CaCl_2$, которые постоянно увеличивают в размере$CaSO_4 - 2H_2O$: [5]

$$\mathrm{Ca(OH)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O}$$

$$\mathrm{Ca(OH)_2} + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O$$

- Углекислотная коррозия.

Углекислотная коррозия — это вид общекислотной коррозии, возникающей при воздействии воды на бетон,содержащей свободные диоксиды углерода в виде слабой угольной кислоты, выше допустимого количества. Это высокое содержание агрессивной углекислоты, нарушает ранее образованную карбонатную пленку, по причине образованияхорошо растворимый бикарбонат кальция. [5]

- Коррозия бетона при влиянии органических и неорганических кислот

Так же негативно действует на бетон масла, содержащие в своем структуре жирные кислоты, например, льняное масло, рыбий жир и тому подобное. В свой черед нефть и все его продукты производства, например бензин, масло, керосин, совсем не наносят вред бетону, если не содержат остаточных кислот. [4]

3. Третий вид коррозии бетона

Содержит в себе все процессы, в которых цементный камень создает разные соединения.

При контакте бетона с агрессорами, как итог образуется соединения объемом больше изначальных соединений бетона, что приводит к возникновению напряжения внутри бетона с последующим разрушением. Этот вид коррозии свойственен только для сульфатной коррозии. Сульфаты

часто образованы в воде и при реакции с гидроксидом кальция образуют гипс. Бетониз-за напора кристаллов гипса трескается. Данная коррозия возникает из-за повышенного содержания сульфатов в водной среде.

При этом, бактерии, грибы и некоторые виды водорослей могутпопадать внутрь цементного камня и формируются там. Как итог их развития – постепенного разрушение камня.

Рис. 1 - Зависимость скорости разрушения бетона от времени воздействия неблагоприятных факторов

Способы защиты бетона от коррозии

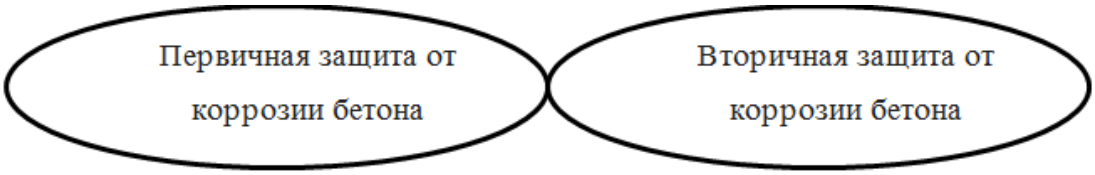
Защита бетона от коррозиизначительно увеличивает срок эксплуатации строения, но необходимо понимать, что для этого важно использовать комбинированные методы защиты бетона от коррозии. При проектированиидолжны учитываться и просчитываться все возможные факторы влияния окружающей среды на бетон, и проводиться профилактические мероприятия по защите бетона.

Профилактические методы защиты бетона

Профилактические методы защиты бетона от коррозии основывается на герметизации строения, устранения агрессивных сред, повышенную вентиляцию.

Правильное конструирование является действенным методом для возведения надежного объекта, с защитой от разрушения в будущем. Для этого нужно делать все поверхности, предотвращая любые скопления воды и различных органических веществ в углублениях бетона. Должен быть организован водоотвод от цементного камня, довольно часто это делается при помощи водоотводов, и изготовления поверхностей с небольшим углом.

Существует по классификации два типа защиты бетона:



[3]

Первичная защита бетона от коррозии

Первичная защита бетона от коррозии – это использование специальных минеральных добавок для бетона, повышающие плотность бетона, следовательно этот метод является эффективным. Необходимо соблюдать пропорции и не добавлять добавок больше, поскольку можно получить противоположный итог.

В большинстве случаев используют добавки, которые повышают разные свойства бетона - влагоудерживающие, стабилизирующие, пластифицирующие и другие

Опираясь на требуемые условия эксплуатации бетона, выбирают самый эффективный набор добавок. Если, например, бетон эксплуатируется в водной агрессивной среде с высоким содержанием сульфатов, то необходимо уменьшить содержаниеC_3S. [3]

- Методы защиты бетона от коррозии первого вида

Для уменьшения коррозии, возникающей из-за выщелачивания (вымывания), применяют цемент с умеренным количеством C_3S, и изделия из бетона специально высушиваютдлительное время на воздухе, следовательно на поверхности будет протекать процесс карбонизации,обеспечивающий образование слаборастворимого защитного слоя из $CaCl_3$.

Но самым часто используемым способом при борьбе с выщелачиванием гидроксида кальция, является применение плотных бетонов, и добавление специальных гидравлическихдобавок, обеспечивающих связь $Ca(OH)$ в слаборастворимое соединение — гидросиликат кальция.[2]

- Методы защиты бетона от коррозии второго вида. Углекислотная

Применение ингибиторов – это один из эффективных методов борьбы с CO_2– коррозией. Этому методу противокоррозионной защиты нет аналога. Он помогает увеличить продолжительность эксплуатации оборудования, дает возможность использования более дешевых и доступных конструкционных материалов, уменьшает вероятность аварий. Ряд реагентов для ингибирования $C0_2$- коррозии мал. Ингибиторы, получившие столь широкое распространение на практике, часто экологически небезопасны, не могут обеспечить эффективную защиту от локальных форм разрушений в углекислотной среде.

Сдерживающим фактором выпуска отечественных органических ингибиторов CO_2 коррозии – это дефицитность сырья.[5]

- Методы защиты бетона от коррозии второго вида. Кислотная

Защитой от слабых кислотных сред pH =4-6, является применение специального кислотостойкого материала. Если кислотные коррозии

сильные, pH<4, то используют специальный бетон, произведенный на кислотоупорном цементе и кислотоупорных заполнителях.[5]

- Химические добавки

Химические добавки в бетон делают бетон с гораздо более хорошими эксплуатационными свойствами. Это обеспечивается посредством увеличения плотности бетона, что уменьшает проникновение различных агрессоров вглубь бетона, даже арматура, находящаяся в таком бетоне, гораздо меньше подвергается коррозии.

Химические добавки позволяют занимать поры бетона, что приводит к повышению морозостойкости бетона. [4]

Вторичная защита бетона от коррозии

Вторичной защитой цементного камня от коррозии являетсяприменение специальных дополнительных покрытий для бетона, которые предотвращают попадание на бетона различных агрессивных веществ.

Применяются разные краски и лаки, специальные защитные смеси, а так же гидроизоляция бетона, выдержка на воздухе до карбонизации, также относят к вторичным методам защиты бетона от коррозии.[3]

- Защита бетона специальными покрытиями

Защита бетона специальными красками**,** лаками и акриловыми покрытиями применяется для избегания попадания на бетон газообразных и твердых элементов, которые могут нанести вред. Данные покрытия защищают бетон, как и от влаги, так и влияния микроорганизмов.

Так же используется способ защиты бетона с помощью различных мастик, они строят защитный барьер от влаги и воздействия других твердых сред на поверхность бетона.

- Уплотняющие пропитки

Уплотняющие пропитки для бетона используются при влиянии на бетон различных сред. Так же специальные пропитки используют как первый слой перед нанесением лакокрасочных покрытий. Пропитки создают надежный верхний слой у бетона, минимизирующий проникновение влаги.

- Биоцидные добавки

Биоцидные добавки способствуют уменьшению появления и развития на бетоне плесени,грибков и бактерий и других микроорганизмов различных типов.

- Защита бетона с помощью специальных покрытий

Данный метод применяют в случаях, когда нужно защитить бетон в различных грунтах с повышенным содержанием влаги, содержащих электролиты. Для защиты оклеивают все части, подверженные влиянию окружающей среды полиизобутиленовыми пластинами. Так же используется для оклейки бетона и полиэтиленовая пленка, и другие рулонные гидроизоляторы[3].

- Клеевые покрытия

Клеевые покрытия используются при постоянном воздействии на бетон агрессивных жидких сред:

- конструкции, расположенные под уровнем грунта,
- бетонные сваи,
- конструкции, подтапливаемые подземными водами и т.п.;
- Гидрофобизаторы

Гидрофобизаторы - это добавки, улучшающие водонепроницаемость бетона, в том числе под давлением, также защищающие его от влаги, снижая капиллярное водопоглощение. Они действуют, преимущественно,

физически, забивая поры и каналы тонкодисперсными частицами; представляют собой смесь различных продуктов.

Их используют для бетона**:**

- гидротехнических сооружений;
- растворов повышенной непроницаемости;
- гидроизоляционных растворовдля покрытия балконов, погребов, гаражей, мостов, промышленных полов, террас, водостоков, тоннелей;
- фасадных штукатурок и швов в каменной кладке.
- Бетонополимеры

Бетон является своего рода «каркасом» из элементов заполнителя, поры в котором заполняются цементным тестом. Однако даже после затвердеванию поры, заполненные водой или воздухом, в бетоне сохраняются. Повышение прочности бетона – это увеличение твердости, вязкости, изностойкости, стойкости к агрессивным средам, и снижение каппилярного водопоглощения.

- Дисперсное армирование

В последнее время стали широко применяются специальные ленты и ткани из углеволокна, которые обладают высокими механическими свойствами и не подвержены коррозии. Они нужны для усиления несущей способности конструкции, когда арматура проржавела и не выполняет свои функции.[6]

Объединенные методы защиты бетона от коррозии

При проектировании для обеспечения максимальной защиты бетона нужно использовать несколько объединенных способов защиты бетона от коррозии.

- Цементизация

Через отверстия, пробуренные в конструкции, нагнетается цементное молочко под давлением, которое приготавливается 1:10, с небольшим добавлением хлористого кальция (не более 7% от массы цемента). Заливание пор способствует повышению плотности бетона и, как следствие, уменьшению численности открытых в нем пор.

- Силикатизация

Силикатизация – это последовательное нагнетание натриевого жидкого стекла и хлористого кальция. Во время обработки поры заполняются смесью слаборастворимого гидросиликата кальция и нерастворимого кремнезема.

- Битумизация

Битумизация – это заполнение пор битумом при температуре 200 - 220 °С. Данный способ наиболее эффективен, про проводится при минимальной влажности конструкции [6].

Заключение

Во время эксплуатации бетонные конструкции постоянно контактируют с окружающей средой, которая всегда агрессивна, но в различной мере. Это приводят к коррозийному разрушению, принцип действия и интенсивность которого зависят от большого количества взаимосвязанных факторов.

Сложные и недостаточно изученные процессы, определяющие принцип действия и интенсивность коррозионного разрушения бетонных конструкций, находятся в прямой зависимости со свойствами агрессивной среды, в контакте с которой они эксплуатируются.

Литература

1. http://bibliofond.ru – Библиофонд. Электронная библиотека студента.

2. http://masterabetona.ru/ - Все о бетоне от А до Я

3. okorrozii.com – Все о коррозии

4. http://docs.cntd.ru- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

5. Строительные материалы и изделия. Сульфатная коррозия бетона. С. В. Федосов, С. М. Базанов. 2003 г.

6. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты Автор: Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. 1980г.

© Попова Ю.А., 2017

УДК 539.42

Радченко П.А.
кандидат физико-математических наук, доцент
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Плевков В.С.
доктор технических наук, профессор,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Радченко А.В.
доктор физико-математических наук, профессор,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Батуев С.П.
старший преподаватель,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

MODELING OF DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER DYNAMIC LOADS

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального и численного моделирование железобетонных балок и оболочечной

конструкции при динамических нагрузках. Была разработана и реализована программа экспериментальных и численных исследований. Определены особенности деформирования, выявлены схемы трещинообразования и разрушения конструкций и их элементов. Приведено сравнение экспериментальных и численных результатов.

Ключевые слова:численное моделирование, метод конечных элементов, железобетон, прочность

Abstract: The paper presents the results of experimental and numerical modeling of reinforced concrete beams and shell structure under dynamic loads. Program of experimental and numerical studies is developed and implemented. The features of deformation are determined; scheme of cracking and fracture of structures and their elements are revealed. A comparison of numerical and experimental results are shown.

Keywords: numerical modeling, finite element method, reinforced concrete, strength

Основные уравнения математической модели

Для численных исследований был использован метод конечных элементов [1]. Численное моделирование позволило изучить динамику разрушения образцов в процессе нагружения.

В численной конечно-элементной модели на свободных поверхностях принимались граничные условия с отсутствием касательных и нормальных напряжений, на контактных поверхностях – условия скольжения без трения. При моделировании поведения металлических образцов использовалась упругопластическая модель, а для описания бетона и фибробетона – упруго-хрупкая модель.

Система уравнений, описывающих нестационарные адиабатные движения сжимаемой среды в произвольной системе координат (i =1,2,3), включает следующие уравнения:

- неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div \rho \overset{\text{r}}{\upsilon} = 0,$$

- движения

$$\rho a^k = \nabla_i \sigma^{ki} + F^k,$$

- энергии

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma^{ij} e_{ij}.$$

Здесь ρ – плотность среды; $\overset{1}{\upsilon}$ – вектор скорости; a^k – компоненты вектора ускорения; F^k – компоненты вектора массовых сил; σ^{ij} – контравариантные компоненты симметричного тензора напряжений; E – удельная внутренняя энергия; e_{ij} – компоненты симметричного тензора скоростей деформаций:

Поведение изотропных металлических материалов рассматривается в рамках упругопластической модели.

Тензор напряжений представляется в виде суммы девиаторной S^{ki} и шаровой части P:

$$\sigma^{ki} = -P\delta_{ki} + S^{ki} \quad ,$$

где δ_{ij} – символ Кронеккера;

Давление в материале рассчитывалось по уравнению Ми-Грюнайзена как функция удельной внутренней энергии E и плотности ρ:

$$P = \sum_{n=1}^{3} K_n \left(\frac{V_0}{V} - 1 \right)^n + K_0 \rho E$$

где, K_0, K_1, K_2, K_3 – константы материала.

Соотношения, связывающие компоненты тензора напряжений и тензора скоростей деформаций до разрушения для ортотропного тела можно записать в виде:

$$\frac{d\sigma_{11}}{dt} = C_{11}e_{11} + C_{12}e_{22} + C_{13}e_{33}, \quad \frac{d\sigma_{12}}{dt} = C_{44}e_{12},$$

$$\frac{d\sigma_{22}}{dt} = C_{12}e_{11} + C_{22}e_{22} + C_{23}e_{33}, \quad \frac{d\sigma_{13}}{dt} = C_{66}e_{13},$$

$$\frac{d\sigma_{33}}{dt} = C_{13}e_{11} + C_{23}e_{22} + C_{33}e_{33}, \quad \frac{d\sigma_{23}}{dt} = C_{55}e_{23},$$

где C_{ij} – упругие постоянные.

Для критерия разрушения материала образца используется критерий Хоффмана [2]. Этот критерий позволяет использовать различные прочностные характеристики материала на сжатие и растяжение, и, выраженный через скалярные функции компонент тензора напряжений, выглядит следующим образом:

$$f(\sigma) = C_1(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + C_2(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + C_3(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 +$$
$$C_4\sigma_{11} + C_5\sigma_{22} + C_6\sigma_{33} + C_7{\sigma_{12}}^2 + C_8{\sigma_{23}}^2 + C_9{\sigma_{31}}^2 \geq 1$$

где C_i – константы материала.

Предполагается, что разрушение анизотропных материалов в условиях интенсивных динамических нагрузок происходит следующим образом [3-4]:

1. если критерий прочности нарушается в условиях сжатия $(e_{kk} \leq 0)$, то материал теряет анизотропные свойства, а его поведение описывается гидродинамической моделью, при этом материал сохраняет

прочность только на сжатие; тензор напряжений становится в этом случае шаровым $\sigma = -P$ и его значение находится из следующего соотношения:

$$P = \left[\exp\left(4b \frac{V_0 - V}{V_0} \right) - 1 \right] \frac{\rho_0 c_0^{\,2}}{4b}$$

где ρ_0 – начальная плотность, c_0 и b – коэффициенты ударной адиабаты $D = c_0 + bu_m$, u_m – массовая скорость, V_0 и V – начальный и текущий удельные объемы.

2. если критерий прочности нарушается в условиях растяжения $\left(e_{kk} > 0\right)$, то материал считается полностью разрушенным, и компоненты тензора напряжений полагаются равными нулю $\left(\sigma_{ij} = 0\right)$.

При численных расчетах применялись авторские программные комплексы [5, 6].

Разрушение железобетонных балок при динамическом нагружении

Целью экспериментальных исследований слоистых балок является определение особенностей их деформирования, выявление схем трещинообразования и разрушения железобетонных элементов слоистой структуры в условиях кратковременного динамического нагружения. Экспериментальные балки состоят из трех разных армированных слоев по высоте сечения: фибробетон – бетон - фибробетон. Испытания слоистых балок производилось на однократное кратковременное динамическое воздействие на копровой установке с разрушением экспериментальной балки.

Длина экспериментальных балок составляла 2200 мм с расчетным пролетом – 2000 мм. Размеры поперечного сечения всех широких балок были приняты 220*150 мм. Каждая балка состояла из трех слоев: нижний и верхний слои, толщиной каждый по 20 мм выполнены из армированы

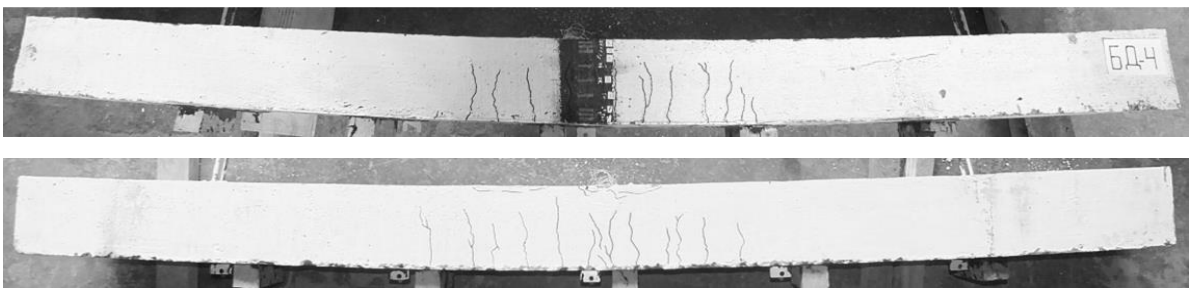
углеродофибробетона, а средний слой, толщиной 110 мм из железобетона. Коэффициенты армирования слоев фибробетона балок углеродной фиброй был принят равным 0,2 % от массы вяжущего.

Армирование балок стержневой арматурой выполнено симметричным в виде каркаса и сеток, которые приняты вязанными. Пространственный арматурный каркас состоит из продольной рабочей арматуры 8Ø10 А400, связанной при помощи хомутов из проволоки Ø4В500.

В середине толщины верхнего и нижнего фибробетонных слоев экспериментальных балок располагается вязаная сетка, состоящая из проволоки Ø4 В500 с шагом 66мм в обоих направлениях.

Балка устанавливалась на динамометрические опоры, позволяющие фиксировать величину опорных реакций при динамическом испытании. Кратковременная динамическая нагрузка на балку создавалась при помощи падающего груза, весом 450 кг с высоты 700 мм. В результате динамического испытания балка была разрушена по нормальному сечению с образованием трещин в зоне чистого изгиба разрушением сжатой зоны бетона. Разрушающая динамическая нагрузка для балки составила $F_{u,d}$=120 кН.

Анализ схем трещинообразования и разрушения (Рис. 1) слоистой балки показал, что они разрушаются вследствие образования и дальнейшего раскрытия по высоте нормальных трещин с разрушением сжатой зоны бетона.



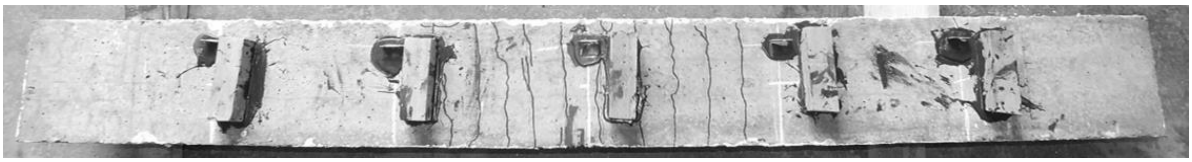


Рисунок 1 – Схемы трещинообразования и разрушения балки, испытанной при кратковременном динамическом нагружении

При численном моделировании условия нагружения, геометрические размеры балки и схема ее армирования соответствуют параметрам эксперимента, описанного выше. На рис. 2 приведена зависимость прилагаемой нагрузки от времени, полученная из эксперимента.

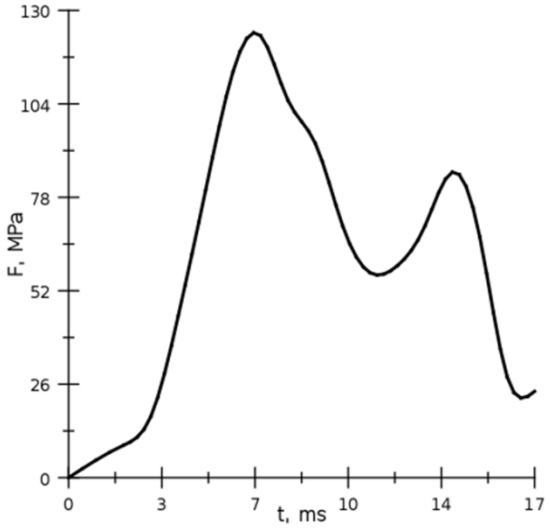
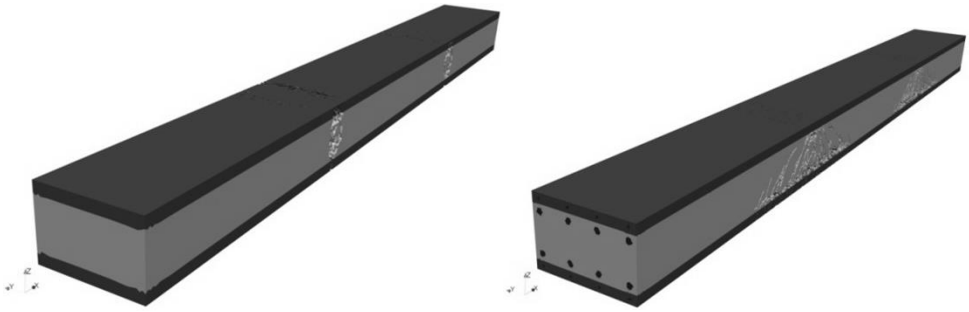


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки от времени

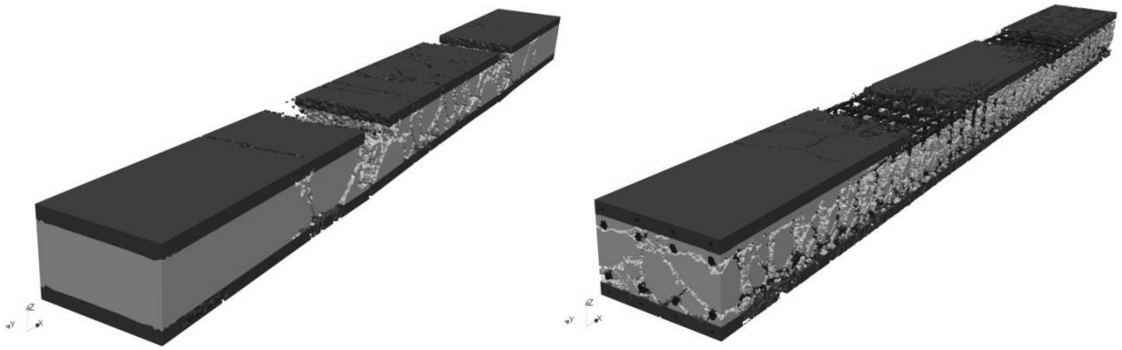
Для отработки расчетной схемы и оценки влияния армирования на разрушение балки параллельно проводились исследования поведения балки без арматуры. Схема нагружения неармированной балки была аналогична схеме нагружения армированной балке (Рис. 2). На рис. 3 – рис. 4 представлены расчетные распределения зон разрушения в балке без арматуры (а) и в армированной балке (б) в различные моменты времени. Картина разрушения в этих балках существенно различается. В армированной балке зоны разрушения (трещины) распределяется

практически вдоль всей балки и уровень разрушения в них меньше, чем в зонах разрушения в неармированной балке. В балке без арматуры с течением времени развиваются магистральные трещины, приводящие к ее фрагментации (Рис. 4а). Наличие арматуры обеспечивает распределение напряжений по всей балке. В этом случае высокий уровень разрушающих напряжений локализован в областях, прилегающих к армирующим элементам.



а) б)

Рисунок 3 – Разрушение балки без армирования (а) и балки с арматурой (б). t= 3 мс.



а) б)

Рисунок 4 – Разрушение балки без армирования (а) и балки с арматурой (б). t=6 мс.

Максимальные значения напряжений в армированной балке реализуются в стальной арматуре и в прилегающему к ней слою бетона. В результате чего наблюдается разрушение бетона в области его контакта с армирующими элементами. Образование трещин в этой контактной области приводит к релаксации напряжений в остальном слое бетона.

Моделирование разрушения защитной оболочки

В работе представлены и результаты численного моделирования взаимодействия самолета Boeing 747-400 с защитной оболочкой атомной станции (АС) [8]. Оболочка имела сложную многослойную сотовую структуру, состоящую из слоев бетона и фибробетона, скрепленных со стальными фермами. Условия взаимодействия самолета с оболочкой соответствовали параметрам, приведенным в [9].

Верхняя и нижняя крышки оболочки представляют собой трехслойную конструкцию. Материал верхнего слоя фибробетон (толщина – 50 мм), материал среднего слоя бетон (толщина 200 мм) и материал нижнего слоя – фибробетон (толщина – 50 мм). В данном случае, из-за сложной геометрии конструкции, армирующие элементы явно не выделялись, их наличие учитывалось через эффективные модули, свойства усреднялись по объему. На рис. 5 приведена структура сотовой конструкции оболочки, материал – фибробетон. В целом оболочка состоит из восьми сегментов, между которыми расположены стальные фермы.

Контактное воздействие на оболочку в расчетах заменялось импульсом в соответствии со схемой, приведенной в [9] Направление импульса соответствовало падению самолета под углом 10 градусов к горизонту. Области приложения импульса приведены на рис. 6а. Область, нагружаемая фюзеляжем и крыльями обозначена темно-серым цветом. Максимальное значение импульса – 250 МН. Распределение нагрузки по пятну удара в зависимости от времени приведено на (Рис. 6б).

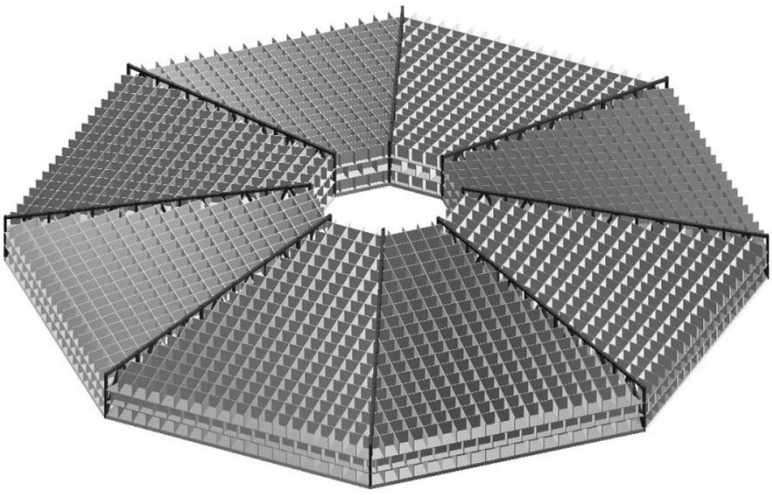
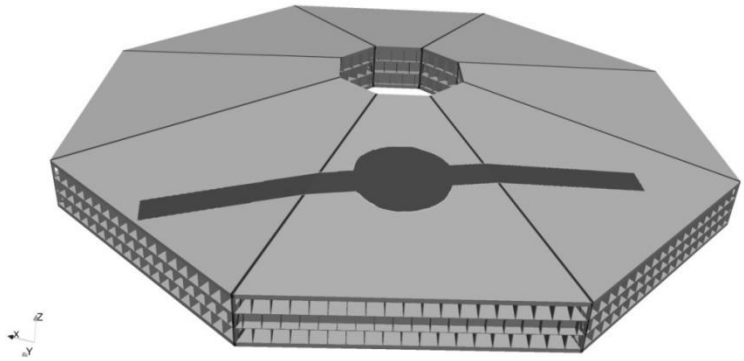
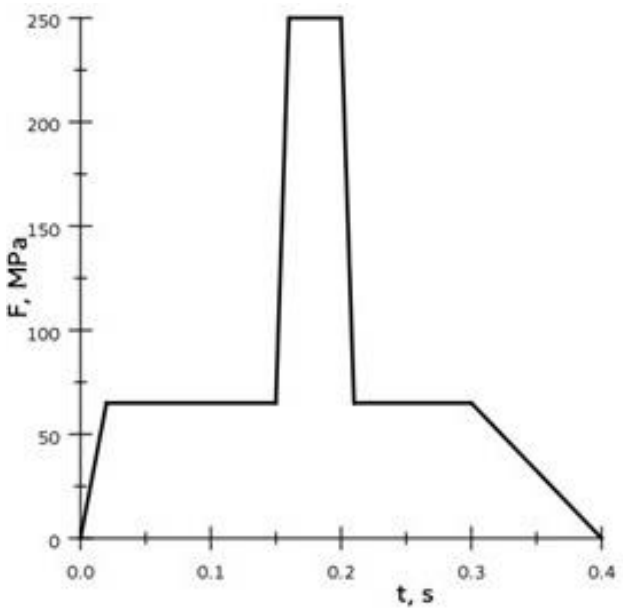


Рисунок 5 – Внутренняя сотовая структура оболочки



а)



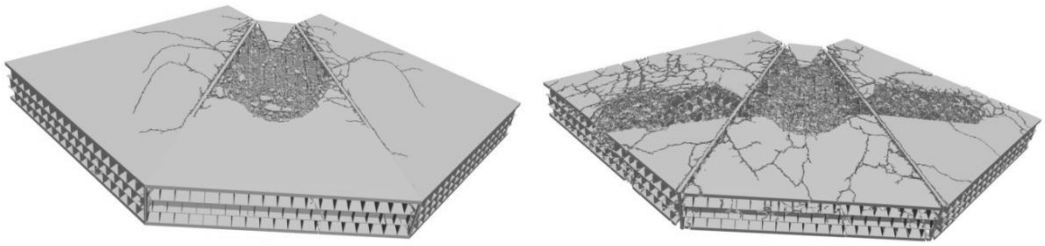
б)

Рисунок 6 – а) Место приложения импульс, б) Зависимость нагрузки от времени

В рамках поставленной задачи были проведены численные исследования динамики НДС и разрушения защитной оболочки при импульсном воздействии.

Анализ НДС показывает, что область растягивающих напряжений формируется по периметру зоны приложения импульса и внутри оболочки на свободных поверхностях сотовой структуры, это приводит к разрушению сотовой структуры оболочки. Растягивающие напряжения возникают в результате выхода волны сжатия на свободные поверхности сот, от которых они отражаются волнами разгрузки. Наличие свободных поверхностей внутри оболочки с одной стороны понижает уровень сжимающих напряжений, но с другой стороны приводит к формированию областей растяжений, в которых инициируется разрушение сотовой структуры, зарождаются трещины.

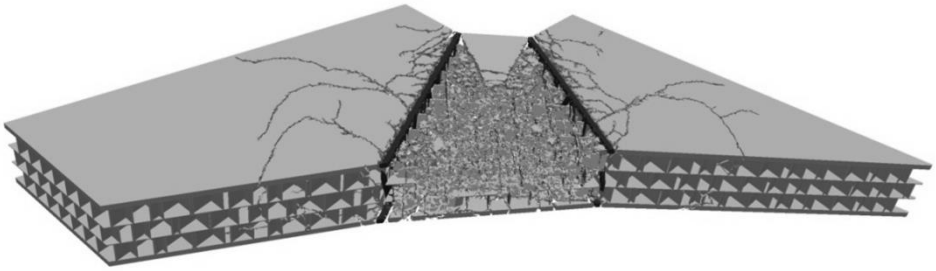
Динамику разрушения оболочки можно проследить по Рис. 7, где в различные моменты времени приведены зоны разрушения, возникающие на лицевой поверхности оболочки. Разрушения возникают непосредственно в области приложения импульса, и, в результате действия растягивающих напряжений, возникают трещины по периметру приложения нагрузки, которые с течением времени распространяются по поверхности оболочки.



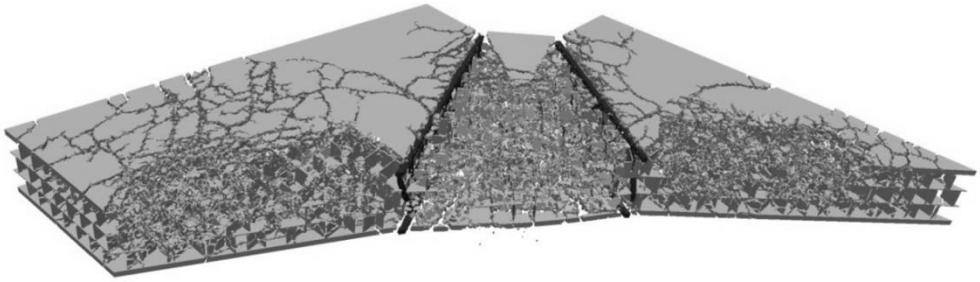
t=20 мс *t*=300 мс

Рисунок 7 - Разрушение оболочки. Вид сверху

Разрушение оболочки по толщине иллюстрирует Рис. 8, где в последовательные моменты времени приведено поперечное сечение оболочки по срединной поверхности, проходящей через зоны приложения импульса. Вначале наблюдается разрушение в круговой зоне приложения импульса от фюзеляжа самолета, а затем в областях приложения импульсов от крыльев.



t=20 мс



t=300 мс

Рисунок 8 - Разрушение оболочки. Поперечное сечение.

Заключение

В результате проведенных численных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В рамках феноменологического похода механики сплошной среды предложена модель и создана методика расчета конструкций со сложной

внутренней структурой при интенсивных динамических нагрузках. Методика реализована в полной трехмерной постановке на базе модифицированного метода конечных элементов.

2. На основе разработанной методики, можно проводить широкопараметрические численные эксперименты по выбору оптимальных конструктивных решений.

3. Численно исследована динамика напряженно-деформированного состояния и разрушения защитной оболочки АС с сотовой внутренней структурой при импульсном воздействии.

4. Установлено, что разрушение сотовой структуры инициируется в областях действия растягивающих напряжений, которые возникают в момент выходы волны сжатия на свободные поверхности сот. С течением времени происходит дальнейшее развитие возникших разрушений в результате действия импульсной нагрузки. В верхней и нижней крышке оболочки за счет растягивающих напряжений возникают трещины, распространяющиеся в радиальных направлениях.

© Радченко П.А., Плевков В.С., Радченко А.В., Батуев С.П., 2017

УДК 69.05

Рзаева Ч.Г.
студент, Бакинский Государственный Университет
Баширзаде С.Р.
магистрант,
Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства
Гаджиева У.М.
докторант
Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства
Гарибов Р.Б.
доктор технических наук, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»,
Балаковский инженерно-технологический институт

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (БИТИ НИЯУ МИФИ)

АНАЛИЗ ЭТАПОВ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙИСООРУЖЕНИЙ
ANALYSIS OF DIAGNOSIS'S STAGES AND ASSESSMENT OF BUILDINGS' AND STRUCTURES' STATUS

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы вопросы организации, этапы диагностики и предложена методика оценки состояния зданий и сооружений, которые необходимы для рациональной организации безопасной эксплуатации.

Ключевые слова: дифференциальная диагностика, инструментальная диагностика, причинно-следственные отношения, инженерное мышление, дефекты иповреждения.

Abstract. In the article considered and analyzed the questions of organization, stages of diagnostics and proposeda technique for assessing the condition of buildings and structures that are necessary for the rational organization of safe operation.

Keywords: differential diagnostics, instrumental diagnostics, cause-effect relations, engineering thinking, defects and damages.

Одной из главных задач обследование здании и сооружении с научной и практической точки зрения является определение условий и механизмов образования повреждений отдельных частей здании, в том числе и разрушение конструкции. Исследование разрушение конструкции. часто приобретает решающее значение. Это связано с тем, что, во-первых, физико-механических свойства повреждений конструкции существенно

изменяются в процессе реконструкции; во-вторых, при разрушение, на сломанные конструкции временной фактор оказывает незначительное влияние, от которого прямо зависят прочностные характеристики.

Для диагностирования состояний здания в целом, как сложной многоэлементной строительной системы, нужны многоуровневые модели принятия решений о распознавании диагнозов отдельных конструктивных элементов, групп элементов и подсистем всех уровней этой системы. В связи с этим важна разработка методологии построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики состояний конструкций, которая позволит оценивать не только техническое состояние, но и надежность, и физический износ всех структур на каждом, интересующем пользователя, уровне.

Процесс диагностики и оценки состояния зданий и сооружений можно считать состоящим из нескольких этапов:

1. оценка признака;
2. постановка предварительного заключения;
3. дифференциальная диагностика зданий и сооружений;
4. инструментальная диагностиказданий исооружений;
5. анализ причинно-следственных отношений.

К инженеру, специалисту по оценке состояния зданий и сооружений, обращается заказчик с некоторойинформацией,наоснованиикоторойон пришел к выводу о необходимости привлечь специалиста для корректной оценки возникшей ситуации.

Рассмотрим более подробно этапы диагностики и оценку состояния зданий и сооружений.

Оценка признаков.

Под признаками следует понимать как субъективные впечатления заказчика, обратившегося за консультацией кспециалисту,таки некоторую

объективную информацию, которую специалист может получить после предварительногоознакомлениясобследуемым сооружением. Данные лабораторно - инструментального обследования в понятие признаки не включаются.

Когда специалист привлекается к обследованию и оценке состояния незнакомогоему сооружения,он должен учитывать любые дефекты и повреждения, возникающие проблемы и неожиданности. Для сосредоточения на конкретных повреждениях конструкции или всего сооружения и точногоопределения их природы,специалисты, как правило, стараются выяснить тот ведущий признак, который сподвиг заказчикаобратитьсяза консультацией о состоянии зданий и сооружений. Этот симптом можно назвать основным дефектом сооружения. В идеалеформулировка основного дефекта обращает внимание специалиста на причинах и цели обращения к нему. Основнойдефект служит стержнем всего процесса диагностики и оценки состояния зданий и сооружений.

Постановка предварительного заключения.

В ходе сбора данных,касающихся основного дефекта, специалист формулирует свои первые предположения о состоянии объекта. Обычно специалисты, руководствуясь больше интуицией,чем логикой, мгновенно сопоставляют информацию о дефектах с информацией о подобныхслучаях, имевшихместо в их практике. В таких случаях обычно инженерное мышление склонно перескочить от подозрений к выводам. В рассматриваемых ситуациях нелегко и нежелательно отказываться от своих подозрений. В данном случае важно отличать подозрение от окончательного решения. Подозрение, предварительная оценка и окончательное решение играют важную роль: отталкиваясь от них,специалист определяет свое дальнейшее поведение по уточнению предварительной оценки. Процесс постановки предварительного диагноза

(предварительной оценки) дает специалисту возможность принять окончательное решение, уточнив причины появления основных дефектов в зданиях и сооружениях.

Дифференциальная диагностика зданий и сооружений.

Большинство специалистов на основании опыта и профессиональной подготовки научили скептически относиться к первоначальным гипотезам и находить дополнительные аргументы в пользу подтверждения или опровержения первоначальных предположений. Рассматриваемые альтернативныеверсиинаводят на мысль специалиста обратитьвниманиена других причинах,вызывающих появление таких же дефектов. Дифференциальная диагностика зданий и сооружений помогает составить вопросы, которые требуют ответа. Прежде чем принять или отбросить первоначальное предположение необходимо на основании дифференциальной диагностики зданий и сооружений сформулированы вопросы. В данном случае от инженеров требуется большая рассудительность, чтобы из списка возможных причин выбрать те,которые могут относиться к рассматриваемому случаю. Уменьшение количества наиболее вероятных версий помогает инженеру решить, какие дополнительные сведения позволят подтвердить или опровергнуть предполагаемую причину возникновения неудовлетворительного состоянияздаций и сооружений. Активизируя свои знания, опыт и профессиональную подготовку, инженеры могут принять необходимые меры по обеспечению безопасной эксплуатации.

Инструментальная диагностика зданий и сооружений.

Если первоначальное исследование не подтверждает гипотезы, сбор информации может повториться в пользу своего предположения. Дополнительный сбор данных заключается в проведении более детального обследования, организации лабораторных исследований, выполнении

необходимых расчетов. Дополнительная информация позволяет из нескольких версий сделать выбор на достоверной. Все версии проверяются одна за другой, сравнивая каждуюс предварительным диагнозомметодом исключения менее вероятной причины, которая в наибольшей степени соответствуетсобранным данным. В анализируемом случае специалист проводит или организует дополнительные исследования.

Если результаты исследований подтверждают предварительное заключение является свидетельством его правильности с высокой степенью вероятности. Полученные результаты исследований, проведенных для выявления маловероятных причин изменения состояния зданий и сооружений, действительно отвергают их. На этот результат можно полностью положиться.

Анализ причинно-следственных отношений.

Заключительный этап процесса диагностики и оценкисостояния зданий и сооружения - проверка действительности выявленных причин, объясняющие все имеющиеся симптомы или значительную их часть. Кроме того здесь предпринимается попытка связать выявленные повреждения конструкции с той или иной причиной. И намнужно определить три компоненты процедуры оценки состояния зданий и сооружений: причину, повреждение, симптомы. Процедураоценки состояния зданий и сооружений включает в себя нечто большее, чем просто перечень этих трех компонентов. Предполагается, что эти компоненты взаимосвязаны и соответствуют друг другу. Симптомы обусловлены повреждением, которому в свою очередь, предшествует причинам, повышающим вероятность их возникновения в конструкции.

Сложный процесс оценки состояния сооружения следует упрощать, используя принцип Оккама - принцип экономии. В формулировкеанглийского теолога 15 века Вильгельма Оккама этот

принцип звучит так: «Не умножайте сущностей без необходимости». Инженер долженвыстраиватьводинлогический ряд причину возникновения повреждения,само повреждение и его симптомы в соответствии с этим принципом. Выявление связей между отдельными проявлениями повреждения поможет разобраться в состоянии зданий исооружений и произвести правильную его оценку.

Рассмотренный вышеподходк процедуре диагностики и оценки состояния поврежденного сооружения достаточноэффективен, концентрирует внимание, развивает аналитические способности и мобилизует знания. Для достижения успеха в сложных случаях обследования и оценки состояния сооружений необходим ещё целый ряд приемов. Несмотря на достижения,этот подход не лишен недостатков, чреватых ошибками.

Научное исследованиепроцессапринятия решений в различных отраслях человеческой деятельности показало,насколькоонотрудно. Инженеры облегчают себе процесс принятия решений эвристическими методами. Эвристическими называются методы или приемы,сложившиеся на основе проб и ошибок и не опирающиеся настрогуюлогику. Польза эвристических методов в том, что несмотря на то, что эвристические методы заведомо упрощают действительность, на практике их тоже можно использовать.

Рассматриваемая методология диагностики и оценки состояния зданий и сооружений представляет собой набор эвристических методов,которые в совокупности дающие в совокупности логическую схему процесса диагностики и оценки состояния зданий и сооружений. Но при изучении процессов принятия решений выявляются существующие исключения из эвристических правил.

Следовательно, при стремлении максимальноразвитьсвои способности диагностировать и оценивать состояние зданий и сооружений, возникает необходимость ставить две цели:научиться применять эвристические методы и научиться распознавать исключения из эвристическихметодов. Связь между эвристическими методами,верными как в сложных, так и в простых ситуациях, хорошо иллюстрирует следующий пример. Чтобы оценить расстояние до отдаленного объекта,мы полагаемся на то,насколько четко мы его видим. Чем ближе находится объект, тем четчеонвиден. Это эвристическое правило, и оно обычно хорошо нам служит. Полагаясь только на этот метод, мы подвергаем себясерьезнойопасностив условиях плохой видимости. Необходимо отдавать себе отчет в ограниченности эвристическихметодов,применяемыхпридиагностикеи оценке состояния поврежденных зданий и сооружений.

Таким образом, рассмотрены и проанализированы вопросы организации, этапы диагностики и предложена методика оценки состояния зданий и сооружений, которые необходимы для рациональной организации безопасной эксплуатации

Литература

1. ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. - М.: Стройиздат, 1987. - 36с.

3. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. -М.: Стройиздат, 1988. - 190 с.

4. Акустические методы контроля в технологии строительных материалов/ В.В. Дзенис и др. - Л.: Стройиздат, 1978. - 152 с.

5. Бедов А. И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Часть I. Обследование и оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. — М.: АСВ, 2014. — 704 с.

6. Гарибов Р.Б. Методы прочностного мониторинга железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных эксплуатационных сред / Р.Б. Гарибов // Наука: 21 век, 2010г.

7. Гарибов Р.Б. Применение информационных технологий при организации мониторинга прочности конструкции / Р.Б. Гарибов // Промышленное и гражданское строительство, 2008. - №8.

8. Гроздов В.Т. Методы технического обследования, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций/ЛВВИСУ. - Л.: 1986. - 68 с.

9. Кочетков А.В., Янковский Л.В., Гарибов Р.Б., Федотов П.В., Беляев Д.С., Ермолаева В.В. О применении различных коэффициентов упругости материалов при проектировании и диагностике дорожных одежд // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2013. – № 1 (1).

10. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. / Под ред. академика РАН В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2006.

11. Самигуллина А. Г. Необходимость разработки модели экспертной системы диагностики технического состояния строительных конструкций // Молодой ученый. — 2017. — №51. — С. 88-90. — URL https://moluch.ru/archive/185/47299/

12. Современные методы обследования зданий/Н.Г. Смоленская и др. - М.: Изд-во литературы по строительству. 1972. - 81 с.

13. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. - М.: Стройиздат, 1978. – 161 с.

© Рзаева Ч.Г., Баширзаде С.Р., Гаджиева У.М., Гарибов Р.Б., 2017

УДК 691.32

Селезнев А.Д.
магистрант
Тамбовский государственный технический университет
Кузнецова Н.В.
кандидат технических наук, доцент
Тамбовский государственный технический университет

ВОЗМОЖНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ БЕТОНЕ

THE POSSIBILITY OF UTILIZING OPTICAL DISKS IN FINE-GRAINED CONCRETE

Аннотация. В данной работе предлагается использовать измельченные до порошкообразного состояния оптические диски в качестве инертного заполнителя в мелкозернистом бетоне. Представлены примерные объемы производства оптических дисков и их отходов. Обоснованы актуальность и возможность утилизации измельченных оптических дисков в качестве заполнителя в мелкозернистом бетоне. Разработан план экспериментальных исследований физико-механических характеристик бетонного композита с добавлением отходов в виде измельченных оптических дисков.

Ключевые слова:мелкозернистый бетон, оптический диск, планирование эксперимента, полимерный заполнитель, утилизация, цементная смесь.

Abstract. The paper focuses on the possible method of powdered optical discs use in fine-grained concrete as an inert filler and an alternative to sand. Approximate volumes of optical discs production and their waste are presented. The relevance and possibility of the use of optical discs as fillers in fine-grained concrete are explained. A plan for experimental studies of the physical and mechanical properties of a concrete composite with the addition of waste in the form of crushed optical disks has been developed.

Key words:cement mixture, fine-grained concrete, optical discs, planning of experiment, utilization.

В связи с интенсивным развитием компьютерных технологий за последние тридцать лет оптические диски получили широкое распространение на рынке информационных носителей. По данным [1] за 2012 год было продано более 350 млн. приводов оптических дисков, из чего можно сделать вывод, что самих оптических дисков было продано в сотни раз больше (по крайней мере, 35 млрд. штук). В качестве подтверждения такого расчета можно привести объемы производства таких крупных компаний как Verbatim и MoserBaer, которые составляют по 3 млрд. штук оптических дисков в год [2, 3], а ведь подобных производителей в мире более десятка. В России объем продаж оптических дисков составляет примерно 550 млн. штук в год.

Несмотря на снижение популярности оптических носителей информации в последние годы, а, соответственно, и снижение объемов их производства, на данный момент уже накопилось значительное количество дисков, подлежащих утилизации. Ежегодно во всем мире 5,5 млн. дисков выбрасываются на свалки, нанося значительный ущерб экологии окружающей среды [4].

В настоящее время утилизируемые оптические диски, как правило, перерабатываются в сырье для производства поликарбонатных материалов [5, 6]. В связи с тем, что оптические диски состоят не только из поликарбоната, но и примесей других материалов (алюминий, краска, лак и другие), способы их переработки в поликарбонатные материалы технологически очень сложны и энергозатратны.

Достаточно распространенным видом вторичного использования оптических дисков является изготовление из них различных поделок: подставок для кружек, подсвечников, циферблатов для часов, рамок для фотографий и так далее [4]. Однако такой способ использования лишь на время откладывает необходимость утилизации дисков, и применим только для небольших объемов.

Согласно классификатору отходов основной компонент состава оптических дисков – поликарбонат относится к V классу опасности [7], что позволяет использовать утилизируемые диски в качестве инертного заполнителя в мелкозернистом бетоне. Необходимо отметить, что в случае утилизации оптических дисков в производстве мелкозернистого бетона, они не требуют тщательной очистки от алюминиевой пленки и других примесей, как в случае с переработкой в сырье для производства поликарбонатных изделий. Таким образом, предлагаемый метод утилизации является менее энергоемким и с экономической точки зрения более эффективным.

Пример утилизации полимерных материалов в мелкозернистом бетоне представлен в работе RuWang [8]. Автор предлагает использовать полимерную составляющую отходов печатных плат, размеры частиц которых относятся к интервалу от 0,16 до 0,63 мм, в качестве заполнителя в мелкозернистом бетоне взамен песка. Согласно исследованию при увеличении доли полимерных материалов в цементной смеси до 30 %

происходит незначительное увеличение ее водоудерживающей способности и пористости – на 5 и 10 % соответственно; плотность уменьшается на 7 % с 2280 кг/м^3 до 2130 кг/м^3; наблюдается снижение прочности на сжатие (30 %) и изгиб (19 %).

Таким образом, использование неметаллической составляющей отходов печатных плат позволяет получить мелкозернистый бетон для конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов.

Еще одним примером использования полимерных материалов в цементных смесях могут быть тампонажные портландцементы с добавлением облегчающих материалов, в качестве которых могут выступать полые полимерные микросферы [9]. Растворы с полыми микросферами обладают малой плотностью (до 1200 кг/м^3) и практически несжимаемы, что обеспечивает эффективное и долговечное строительство скважин [10]. Кроме того, такие растворы обладают повышенной стойкостью к агрессивным средам.

На основе вышесказанного, можно сделать вывод, что существует возможность использования в мелкозернистом бетоне измельченных оптических дисков в качестве заполнителя, так как они тоже являются полимерными материалами. Более того, ожидаются схожие результаты исследования физико-механических характеристик композитного материала, как в работе RuWang [8].

Планируется провести экспериментальные исследования 28-дневной прочности на центральное сжатие и изгиб, а также плотности цементных образцов с заполнителем из измельченных оптических дисков. Для построения математической зависимости физико-механических характеристик материала от соотношения компонентов смеси предлагается провести эксперименты в соответствии с симплексным планом «состав-свойство» [11] для трех переменных, характеризующих удельный вес в

смеси выбранных компонентов: цемент (фактор z_1), песок (фактор z_2) и измельченные оптические диски (фактор z_3). Уровни изменения факторов z_1, z_2, z_3 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – План эксперимента

№ точки	z_1	z_2	z_3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,333	0,333	0,333

На основе данных, полученных в ходе проведения испытаний образцов, можно будет построить математические модели зависимости физико-механических свойств бетонного композита от состава смеси. На основании их графического представления можно будет сделать выводы о влиянии измельченных оптических дисков на прочность и плотность полученного материала, а также появится возможность определения области практического использования данного бетонного композита.

Литература

1. Оптически накопители: смена поколений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://compress.ru/article.aspx?id=19353 (Дата обращения – 19.11.2017 г).

2. Компания Verbatim на современном рынке носителей информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ixbt.com/storage/verbatim-market.shtml (Дата обращения – 19.11.2017 г)

3. Mirex будет развивать производство в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.crn.ru/numbers/reg-numbers/detail.php?ID=19440 (Дата обращения – 19.11.2017 г)

4. Иващенко К.Р. Идеи DIY: утилизация старых компакт-дисков / К.Р. Иващенко // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения. Сборник статей победителей III Международной научно-практической конференции: в 2 частях. – 2017. – С. 36-38

5. Ron Zevenhoven. Automotive shredder residue (ASR) and compact disc (CD) waste: options for recovery of materials and energy / Ron Zevenhoven, Loay Saeed. – Espoo: Helsinki University of Technology, Energy Engineering and Environmental Protection, 2003. – 70 p.

6. Лазарева Л.Г. Утилизация компакт-дисков / Л.Г. Лазарева, В.Ф. Лазарев // Пластические массы. – 2014. – № 5-6. – С. 62

7. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов (с изменениями на 20 июля 2017 года) : приказ от 22 мая 2017 года N 242 // Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов. – 2017. – Ст. 285

8. Ru Wang. Waste printed circuit boards nonmetallic powder as replacement for sand in cement mortar / Ru Wang, Tengfei Zhang, Peiming Wang // Materiali Budowlane. – 2016. – nr 521. – p. 59-62

9. Полые полимерные микросферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aquasint.ru/micro.html (Дата обращения – 19.11.2017 г)

10. Мерзляков М.Ю. Применение тампонажных растворов с включением полых микросфер при креплении скважин в криолитозоне / М.Ю. Мерзляков, А.А. Яковлев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 13-17

11. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302с.

© Селезнев А.Д., Кузнецова Н.В., 2017.

УДК65.01:69:004 (075.8)

Семёнов В.С.
доктор технических наук, профессор,
Кыргызско-Российский Славянский университет,
г. Бишкек, Кыргызстан

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

SYSTEM ANALYSIS IN BUILDING DESIGN AND SCIENTIFIC RESEARCH

Аннотация. Обсуждаются методологические принципы управления строительными проектами, основывающиеся на методах и подходах системных исследований и проектного анализа.

Ключевые слова: проект, проектирование, система, методология, системные исследования, структура, компоненты.

Abstract. Discusses the methodological principles of management of construction projects based on methods and approaches to system research and design analysis.

Key words: project, design, system, methodology, systemresearch, structure, components.

1. О проекте

Понятие ПРОЕКТ (projectus) в переводе с латинского означает «план» или «замысел» чего-либо. В этом смысле ПРОЕКТИРОВАТЬ

значит делать предложения, намечать план каких-то действий. Если раньше целью строительного проектирования в узком, специфическом представлении являлась разработка проекта (здания, сооружения), то сегодня целью проектирования «в общем» является сам процесс создания чего-то нового, полезного обществу.

В литературе довольно широко обсуждается вопрос о том, является ли проектирование частью научного процесса или это самостоятельная дисциплина. Многие специалисты предлагают собственные определения сути процесса проектирования. Приведу только два из них [1-4]:

Проектирование – это:

- «использование научных принципов, технической информации и воображения для создания машины или системы, предназначенной для выполнения заданных функций с наибольшей экономической эффективностью» (Филден);

- «процесс, в котором научная и техническая информация используется для создания новой системы, нового устройства или процесса, приносящих обществу определенную пользу» (Хилл).

Несмотря на разнообразие формулировок, практически все специалисты говорят не о результатах проектирования, а о его составных частях, которые «не менее, если не более, разнообразны, чем составные части рецептов в поваренной книге» [2].

Основываясь на анализе цепочки событий, которая начинается спожеланий заказчика и включает в себя непосредственно проектирование, изготовление (производство), сбыт (потребление) и заканчивается влиянием нового материального объекта на окружающий мир, Д.К. Джонс предлагает считать, что цель проектирования – «положить начало изменениям в окружающей человека искусственной среде» [2].

В современном обществе процесс проектирования включает в себя научные исследования и опытно-конструкторские разработки, подготовку производства, снабжение, изготовление, сбыт и многое другое. Из этого видно, что в творческий процесс строительного проектирования вовлечены не только архитекторы и инженеры (проектировщики), но и ученые, экономисты, администраторы (менеджеры), заказчики (инвесторы), органы контроля и местного самоуправления и т.д. В этом процессе проектировщик должен не только предвидеть конечный результат осуществления своего проекта и пути для его реализации, но и учитывать изменения, которые этот проект привнесёт в окружающую среду.

Раскрытию методов и подходов проектного анализа и системных исследований (применительно к научным исследованиям и разработкам в строительстве) и посвящена предлагаемая статья.

2. Проектный анализ как концепция

Все многообразие подходов к определению понятия «система» (а их известно более сорока) можно разделить на следующие группы. Первую группу составляют определения системы как выбираемой исследователем любой совокупности переменных, свойств или сущностей. Вторую группу составляют определения системы, связывающие ее с целенаправленной деятельностью. Третья группа базируется на понимании системы как множества элементов, связанных между собой, т.е. систему можно рассматривать как множество, но сама по себе множеством она не является.

Четвертую группу составляют наиболее общие определения системы как совокупности элементов, находящихся во взаимодействии [6-8].

Дескриптивным (описательным) определением понятия «система» является представление его через понятия совокупности, взаимосвязи и

целого. В соответствии с этим определением, системой является совокупность объектов и процессов, называемых компонентами, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, которые образуют единое целое, обладающее свойствами, не присущими составляющим его компонентам, взятым в отдельности.

В определении ПРОЕКТ, о котором мы говорили выше, присутствуют все необходимые системообразующие факторы – есть функция, есть структура, есть цель и время действия, что позволяет рассматривать СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ как СИСТЕМУ [9].

Что же является функцией строительного проекта, что передается системе из внешней среды? Во-первых, это потребность общества в строительстве того или иного объекта. А во-вторых – финансовые и материальные ресурсы заказчика. При этом, вполне понятны цель и время действия проекта – возведение нового, неповторимого в своем роде, здания, сооружения в определенные сроки.

Ну и, конечно же, у любого строительного проекта есть своя структура – составляющие его системы и подсистемы (назовем их этапами или фазами), прямые и обратные связи (производственники-конструкторы; инженеры-ученые и т.д.); входы и выходы (влияние объекта на окружающую среду и обратно (рис. 1).

Как видно из представленной на рис. 1 структуры, весь жизненный цикл строительного проекта состоит из четырех последовательных и взаимосвязанных этапов. На первом формулируется сама идея проекта, определяются его задачи, объемы финансирования, способы реализации и сроки. По завершении этого этапа предстоит принять решение приступать или не приступать к проекту. Если решение положительно, заключается договор на проектирование или объявляется конкурс (тендер).

Следующим этапом жизненного цикла строительного проекта является этап разработки технической документации – этап инженерного проектирования. Это один из главных этапов, который включает в себя подэтапы вариантного проектирования, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и рабочего проектирования. В случае простых инженерных решений, подэтап научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ может отсутствовать.

В результате вариантного проектирования определяется основное конструктивное решение, которое будет положено в основу дальнейшей разработки. Представляется очевидным, что именно от этого подэтапа зависит экономический успех проекта в целом. Во многих случаях, стремление архитекторов и инженеров к новым, неизвестным ранее конструктивным решениям, приводит к необходимости проведения исследований их действительной работы при различных внешнихвоздействиях. Такие исследования призваны обеспечить необходимую прочность, жесткость и эксплуатационную надежностьпроектируемых систем. Кроме того, эти работы помогают выявить конструктивные недостатки выбранного решения и устранить их на стадии рабочего проектирования.

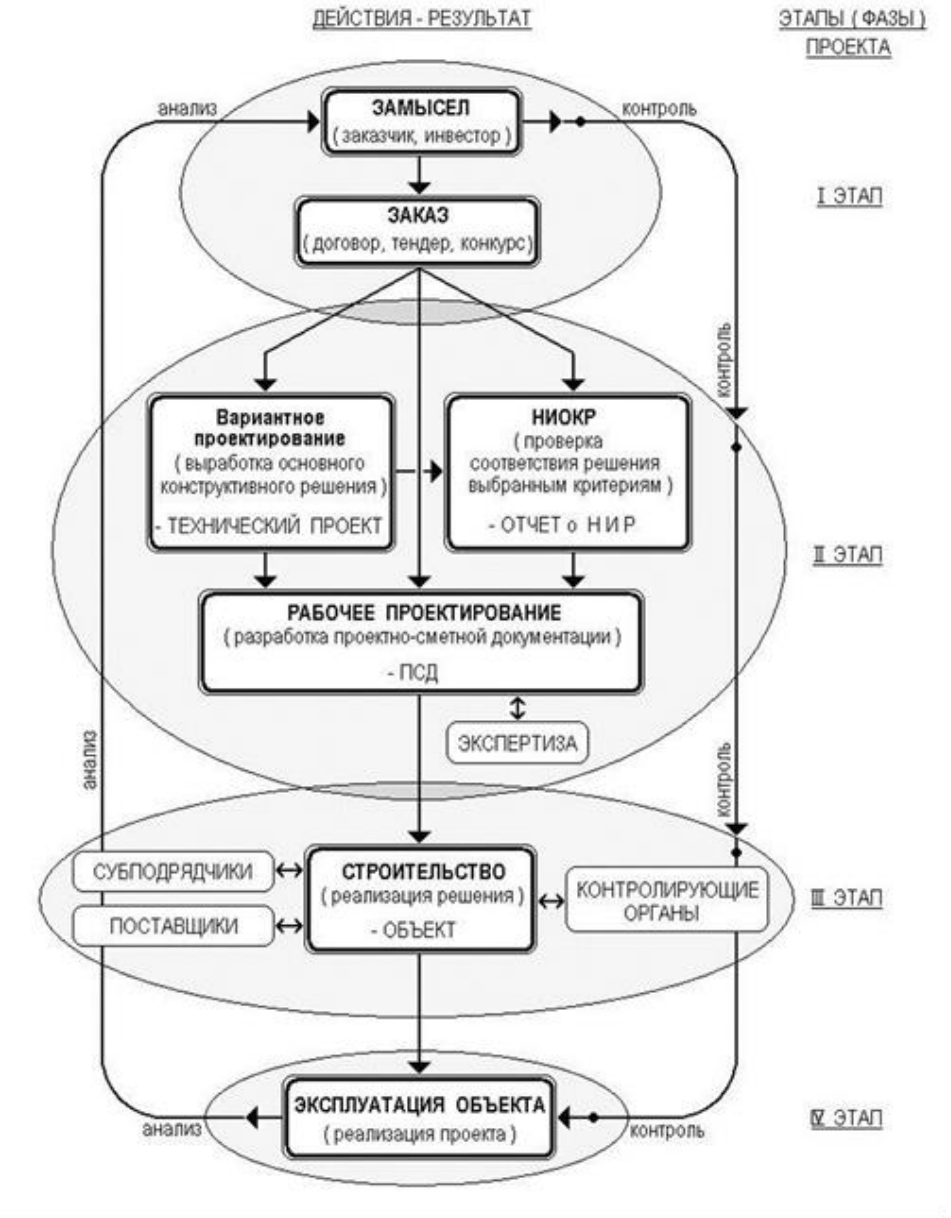


Рис. 1. Структура строительного проекта

После проведения комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ приступают к подэтапу рабочего проектирования. Как известно, результатом рабочего проектирования является комплект проектно-сметной документации и, в случае необходимости, технические условия и другая документация, необходимая для изготовления и монтажа разработанных конструкций.

Стрелками на схеме рис. 1 показаны связи отдельных этапов между собой. Например, уже на стадии вариантного проектирования инженеры-конструкторы тесно взаимодействуют с инженерами-производственниками для того, чтобы выбранный вариант конструктивного решения мог быть осуществлен наиболее простыми способами.

Одним из самых важных этапов строительного проекта является производство строительно-монтажных работ. Этот этап характеризуется большими финансовыми затратами и достаточно продолжительными сроками. На него приходится главный пик активности проекта, когда осуществляется основная часть запланированных мероприятий.

По завершении этого этапа конечные результаты практически готовы к передаче потребителю или заказчику.

Завершающим этапом проекта является приемка объекта заказчиком, и передача его в эксплуатацию. На этом этапе проводится анализ результатов и сопоставление их с целями, ради которых строительный проект осуществлялся.

Заключение

Проектная деятельность всегда направлена на достижение конкретной цели, она обязательно заканчивается результатом. И если конечный результат совпадает с целью (принятием проекта заказчиком, если мы рассматриваем только проектный этап, или строительством объекта, когда рассматривается весь строительный цикл), то деятельность (проект) может быть признана рациональной. Если же такое совпадение отсутствует, деятельность является нерациональной (первый принцип).

Проектирование всегда сопровождается множественностью целей. Она проявляется, в первую очередь, в том, что из множества целей

выбирается одна, в наибольшей степени соответствующая принципам эффективности. Множественность целей проектной деятельности проявляться в ее многокомпонентном составе, поскольку включает в себя архитектурное, конструкторское, финансовое (сметное), производственное и другие направления.

Для каждого из этих направлений характерны собственные цели, иногда взаимоисключающие (например, для архитекторов это, прежде всего, эстетические критерии, а для заказчика – стремление к росту прибыли и минимизации затрат). Компромисс между ними не всегда возможен, и задача оценки эффективности проектных решений в этих случаях решается с помощью методов многоцелевой оптимизации.

Множественность целей обуславливает второй принцип оценки эффективности проектной деятельности – допустимость использования нескольких критериев эффективности. Целевые установки заказчика составляют базу для стратегических решений, реализация которых обеспечивается тактическими и оперативными мероприятиями, которые закладываются в основу контроля полученных результатов.

Таким образом, используя принципы и подходы системного анализа можно эффективно управлять всеми этапами строительных проектов, включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Литература

1. Бэгьюли Ф. Управление проектом. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. 208 с.
2. Джонс Д.К. Методы проектирования. М.: Мир,1986. 326 с.

3. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений. М.: Мир, 1969. 438 с.

4. Хилл П. Наука и искусство проектирования. Методыпроектирования, научное обоснование решений / под ред. В.Ф. Венды. М.: Мир, 1973. 259 с.

5. Семёнов В.С. Эффективные металлические конструкции покрытий зданий в практике проектирования и строительства Кыргызстана. Бишкек: КГУСТА, 2004. 180 с.

6. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974. 279 с.

7. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. 272 с.

8. Ерохина Е.А. Теория экономического развития: системно-синергетический подход. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1999. 160 с.

9. Семёнов В.С. Методологические принципы управления проектами в строительстве. Системный подход. APRIORI. Серия: Естественные и технические науки [Электронный ресурс]. 2015. № 5. 19 с.

© Семёнов В.С., 2017

УДК 624.046.2

Сидоров В.Н.
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российскийуниверситет транспорта (МИИТ)»,
г.Москва, Россия

К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РЕОЛОГИЧЕСКИХПРОЯВЛЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

NUMERICAL MODELING OF RHEOLOGICAL MANIFESTATIONS OF BUILDING STRUCTURES

Аннотация. Рассматривается возможность применения вычислительной модели вязкоупругого материала для численного расчёта строительных конструкций и сооружений с учётом реологических фактров на примере проявлений ползучести в бетоне. Калибровка и верификация вычислительной модели материала выполняется на основе результатов экспериментальных исследований и рекомендаций действующих нормативных документов.

Ключевые слова: численный расчёт сооружений, верификация вычислительной модели, ползучесть, вязкоупругий материал.

Abstract. The possibility of applying a computational model of a viscoelastic material for the numerical calculation of building structures, taking into account rheological factors, is considered, on theexample of manifestations of creep in concrete. Calibration and verification of the computational model of the material is performed on the basis of the results of experimental studies and recommendations of the current regulatory documents.

Keywords: numerical calculation of structures, verification of the computational model, creep, viscoelastic material.

1. Введение

Наиболее резонансными катастрофами сооружений, произошедшими в последние десятилетия вследствие недолжного учёта в расчётном обосновании проектов реальных реологических проявлений строительных материалов, прежде всего железобетона,в течение продолжительного

периода эксплуатации строительных конструкций, пожалуй являются аварии железобетонного моста Корор с арочным пролётом 240.79 метров в 1996 году [1] и железобетонной оболочки покрытия спортивно-развлекательного комплекса «Трансвааль-парк» в 2004 году [2]. Вывод, сделанный автором работы [2] на основании результатов поверочного расчёта для выявления причин разрушения покрытия московского аквапарка: «*Оказалось, что за счет развивающейся во времени ползучести геометрия оболочки изменилась, она стала менее подъемистой и коэффициент запаса устойчивости снизился до недопустимой величины. Это не учел проект*» очевидно вполне можно отнести и к причинам аварии в своё время уникального по размерам весьма пологого арочного моста Корор, простоявшего 18 лет в Палау. Первоначальный прогиб арочного пролёта этого моста в центральном замке сразу после снятия с вспомогательных монтажных опор соответствовал «мгновенному» прогибу, полученному в результате расчётов моста при обосновании его проекта. Однако возросший со временем прогиб в том же его сечении, замеренный незадолго до разрушения, оказался уже существенно большим соответствующего прогиба, спрогнозированного с учётом реологических проявлений, и прежде всего ползучести бетона.

Таким образом, современная практика строительства ответственных и уникальных сооружений показывает, что выбор, точная калибровка и удовлетворительная верификация вычислительных моделей реологических проявлений строительных материалов по данным экспериментальных исследований, а также с учётом требований и рекомендаций действующих нормативных документов, остаётся актуальной и недостаточно исследованной задачей.

Кроме того помимо выбора адекватных реологических моделей материалов при численных расчётах сооружений существенным является выбор и самой расчётной методики. Так, результаты сравнительных численных расчётов показывают, что весьма существенно корректирует получаемую в результате картину напряжённо-деформированного состояния пологих арочных и оболочечных конструкций во времени с учётом ползучести материала их расчёт по деформированной схеме.

2. Численная реологическая модель материала

Для расчёта конструкций, работающих в течение длительного времени в упругой стадии разработан ряд линейных реологических моделей, основные из них известны, например, из работ [3 - 6]. Эти математические модели материалов, как правило, представляют собой интегральные операторы, ядра которых описывают показываемый в натурных испытаниях экспоненциальный характер изменения деформаций во времени. Такую же характерную закономерность изменения деформации ползучести во времени демонстрирует и модель вязкоупругого материала, известная как «модель Максвелла». Механическая интерпретация модели Максвелла может быть представлена комбинацией параллельно и попарно соединённых пружинок и демпферов, обладающих убывающими жесткостями. Причём жёсткости пружинок пропорциональны деформациям материала, а жёсткости демпферов – скоростям этих деформаций.

Модель Максвелла алгоритмически может быть смоделирована представлением «эффективного» (изменяющегося во времени) модуля упругости материала в виде математического ряда Прони[7]:

$$\boldsymbol{G}(t)=\frac{\boldsymbol{\sigma(t)}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}=\boldsymbol{G_\infty}+\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}}\boldsymbol{G_i e}^{\left(-\frac{\boldsymbol{t}}{\boldsymbol{\tau_i}}\right)}, \qquad (1)$$

где G_∞ величина долговременного модуля релаксации сдвига, определяемая в зависимости от мгновенного модуля упругости материала, $G_0 = G_\infty + \sum_{i=1}^{n} G_i$, – начальный модуль упругости сдвига (приt = 0),t – время, G_i и τ_i– параметры ряда Прони (i= 1,2,… n) назначаемые для определённого материала,n – количество попарно соединённых элементов (пружинок и демпферов), составляющих обобщенную модель Максвелла, а также число назначаемых членов ряда Прони. При этомτ_i–это время релаксации:

$$\boldsymbol{\tau_i = \frac{\eta_i}{G_i}}, \tag{2}$$

где η_i– коэффициенты вязкости материала.

В описываемой работе калибровка вычислительной вязкоупругой модели на основе ряда Прони выполнялась при численной оценке деформаций ползучести бетона в программной среде SIMULIA Abaqus [8] на основании результатов экспериментальных исследований бетонных образцов, представленных в работе [9]. Здесь, в программе SIMULIA Abaqus в качестве управляемых параметров ряда Прони принимались две безразмерных величины:

- модуль релаксации сдвига:

$$gr(t) = \frac{G(t)}{G_0} = 1 - \sum_{i=1}^{n} G_i \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)}\right), \tag{3}$$

где G_0 – мгновенный модуль упругости сдвига, который связан с мгновенным модулем упругости при растяжении-сжатии E_0 и коэффициентом Пуассонаν_0зависимостью: $G_0 = E_0/2(1+\nu_0)$;а также

-модуль объёмной релаксации:

$$kr(t) = \frac{K(t)}{K_0} = 1 - \sum_{i=1}^{n} K_i \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)}\right) \tag{4}$$

где: K_0 – коэффициент объёмной жесткости, который также может быть выражен через мгновенный модуль упругости E_0 и коэффициент Пуассона ν_0 формулой $K_0 = E_0/3(1-2\nu_0)$.

В (3) и (4) G_i и K_i – это параметры слагаемых ряда Прони, которые при калибровке модели назначаются для определенного материала.

Если нагрузка, приложенная к конструкции в некоторый момент t_0, далее не меняется, в расчётах удобно использовать так называемый эффективный модуль упругости:

$$E_{c,eff} = \frac{E_0}{1+\varphi(t,t_0)} \tag{5}$$

где $\varphi(t,t_0)$ – коэффициент ползучести.

Коэффициент ползучести $\varphi(t,t_0)$ имеет значение для конкретного возраста бетонаt ,при этом зависит и от времени приложения нагрузки t_0. Значение коэффициента ползучести регулируется нормативными документами, в настоящей работе при вычислении значений $\varphi(t,t_0)$ принимались во внимание требования норм [10].

При учёте в выражении (3) эффективного модуля упругости (5):

$$gr(t) = \frac{G(t)}{G_0} = \frac{\frac{E_0}{2(1+\nu_0)(1+\varphi(t,t_0))}}{\frac{E_0}{2(1+\nu_0)}} = \frac{1}{1+\varphi(t,t_0)}, \tag{6}$$

безразмерный модуль релаксации сдвига (3) может быть представлен упростившейся формулой:

$$gr(t) = \frac{G(t)}{G_0} = \frac{1}{1+\varphi(t,t_0)}. \tag{3а}$$

Аналогичное упрощение можно получить и для выражения модуля объемной релаксации (4):

$$kr(t) = \frac{K(t)}{K_0} = \frac{1}{1+\varphi(t,t_0)}. \tag{4а}$$

Для построения вычислительной вязкоупругой модели бетона в программной среде SIMULIA Abaqusвычислялись значения безразмерных модулей релаксации (3а) и (4а) для любого временного интервала *t*. Коэффициент ползучести$\varphi(t,t_0)$в этой работе вычислялся для выбранного типа бетона, формы и размеров бетонного элемента, а также условий его нагружения в соответствии с методикой стандарта [10]. Алгоритм вычисления $\varphi(t,t_0)$ по этой нормативной методике был запрограммирован в среде Mathcad.

3. Выводы о применимости численной модели ползучести

Значения деформации ползучести бетона, полученные численно с использованием вычислительной вязкоупругой модели, реализующей ряд Прони, сравнивались с аналогичными значениями, измеренными в лабораторных испытаниях бетонных образцов [9], а также с величинами деформации ползучести $\varepsilon_{cc}(t,t_0)$, рассчитанными для этих образцов в соответствии с методикой [10] по формуле:

$$\varepsilon_{cc}(t,t_0)=\frac{\sigma_c(t_0)}{E_{ci}}\varphi(t,t_0) \qquad (7)$$

где: t – текущий возраст бетона, $\varphi(t,t_0)$ – коэффициент ползучести,
E_{ci} – модуль упругости бетона в возрасте 28 дней.

Проведенные исследования вычислительной вязкоупругой модели показали, что параметры материала, представляемые рядом Прони, вполне устойчиво и успешно «поддаются» калибровке.Верификация модели на основании экспериментальных данных и рекомендаций нормативных документов даёт приемлемые результаты в сравнении с рядом других, аналогичным образом протестированных моделей ползучести и релаксации материалов [11]. Проведенное сравнение численных результатов с использованием описанной вычислительной модели,

результатов экспериментальных исследований и вычислений по методикам норм показывает следующее. При малых значенияхt_0, т.е. в случаях, когда бетон нагружен в первые дни своего затвердевания, и результаты экспериментов показывают в эти дни резкое возрастание деформаций ползучести, соответствующие значения деформаций ползучести, полученные как численно, так и полученные в соответствии с нормативной методикой [10], в первый месяц жизни конструкции «не успевают» набрать значения, наблюдаемые при проведении экспериментальных исследований [9]. Нопри возрастании возраста бетона в момент его нагруженияt_0до 28 днейзначения деформации ползучести бетона, получаемые численно, или вычисляемые, в соответствии с нормативными требованиями для любого дня эксплуатации конструкцииtуже вполне соответствуют наблюдаемым в эксперименте.

Литература

1. TangM.C. TheStoryoftheKororBridgeIABSE/ETH, Zürich, CH-8093 Zürich, Switzerland, 2014, 102 c.

2. Перельмутер А.В. Поверочный расчет обрушившегося покрытия СОК «Трансвааль-Парк» // Пространственные конструкции зданий и сооружений. Вып 11 — М:. 2008.— С. 100-108.

3. Илюшин А.А. Труды. Т.№3. Теория термовязкоупругости. Физматлит, 2007.

4. Арутюнян Н.Х., Зевин А.А. Расчет элементов строительных конструкций с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.

5. Харлаб В.Д. Принципиальные вопросы линейной теории ползучести (с привязкой к бетону), СПбГАСУ, СПб, 2014., 217 с.

6. Yu, Q., Bazant, Z.P., Wendner, R. Improved algorithm for efficient and

realistic creep analysis of large creep-sensitivie concrete structures. ACI Structural Journal 2012; 109(5): 665–675.

7. Schiessel H., Metzler R., Blumen A., Nonnenmacher T.F. Generalized viscoelastic models: their fractional equations with solutions, Journal of Physics A: Mathematical and General United Kingdom, 28, 1995, pp. 6567-6584.

8. SIMULIA Abaqus. Time domain vicoelasticity. 19.7.1 Analysis User's Manual, 6.14 edition, 2014.

9. Błyszko J. Porównawcza analiza pełzania twardniejącego betonu zwykłego oraz modyfikowanego zbrojeniem rozproszonym, ZUT, Szczecin, 2015 (польский).

10. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings EN 1992-1-1, 2004.

11. Sidorov V.N., Nowak K. Analiza pełzania betonu na przykładzie wybranego modelu reologicznego dostępnego w programie SIMULIA Abaqus. Przegląd Mechaniczny, T:2, 2017, ss. 39-44 (польский).

© Сидоров В.Н., 2017

УДК 691.3

Селяев В.П.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный университетим. Н.П. Огарёва
Куприяшкина Л.И.
кандидат технических наук, доцент,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный университетим. Н.П. Огарёва

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

THE PROSPECT OF USING ZEOLITE-CONTAINING ROCKS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Аннотация. Дан анализ цеолитсодержащих пород месторождений Республики Мордовия и Татарстан. Рассмотрена возможность использования цеолитов в производстве разнообразной пеностекольной продукции и в качестве недорого наполнителя для цементных бетонов и растворов.

Ключевые слова: цеолит, клиноптилолит, месторождение, структура, минералогический состав, теплопроводность, пористость, гранулометрия.

Abstract. The analysis of zeolite deposit field in the Republic of Mordovia and Tatarstan. The possibility of using zeolites for the production of various foam glass products and as an inexpensive filler for cement concrete and mortars.

Key words: zeolite, clinoptilolite, deposit, structure, mineralogical composition, thermal conductivity, porosity, grain size distribution.

Уникальные свойства природных цеолитов позволяют считать их одними из самых перспективных дисперсных материалов с широким спектром областей применения, в том числе ив строительной отрасли. Объем мировой добычи цеолитсодержащих пород в настоящее время превышает 30 млн. тонн в год и неуклонно растет. Это, кроме всего прочего, связано с относительно низкой стоимостью добычи и обработки ископаемого сырья. Китай, США и Япония являются лидерами по добыче и применению цеолитов. В России практическое значение имеют лишь

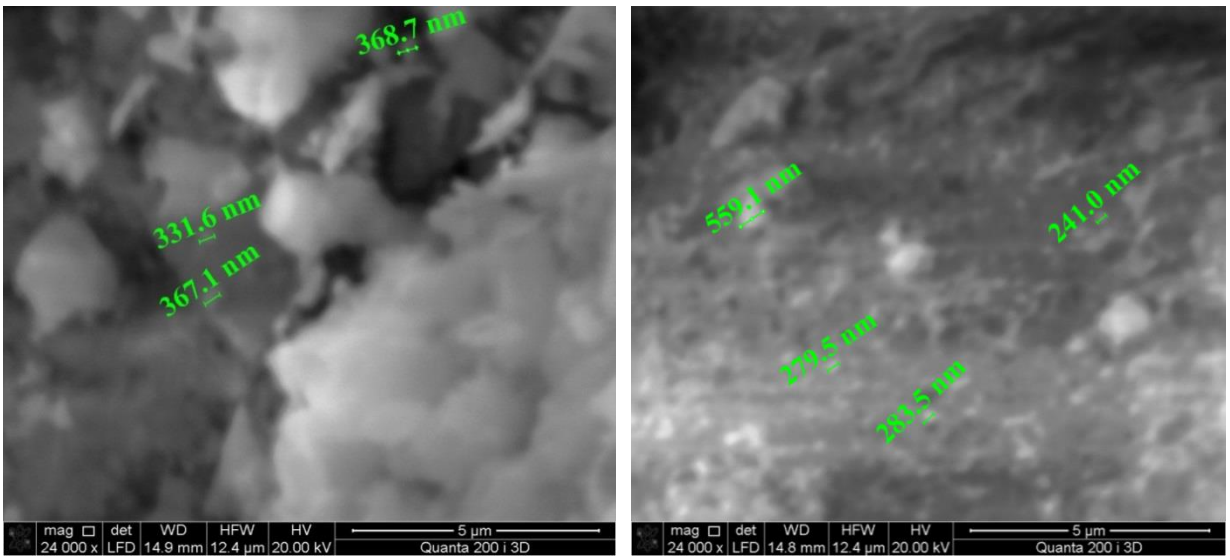
месторождения, связанные с осадочными и вулкано-осадочными отложениями, особенно диагенетического класса. Цеолиты представлены, в основном, клиноптилолитом, который широко распространен в осадочных породах центральных, южных и западных регионов Европейской части Российской Федерации, а также на восточном склоне Урала [1].

В данной работе представлены результаты исследований свойств цеолитсодержащих пород месторождений Республики Мордовия и Татарстана.

Особенности тонкой структуры поверхностичастиц цеолитсодержащих пород исследованы методом электронной микроскопии. Микроразмерные частицы ископаемых пород Атяшевского месторождения представляют собой рыхлые структурированные образования [2], покрытые сетью пустот либо пор в виде извилистых оврагоподобных систем. Линейные размеры отдельных открытых пор от~150–500 нм, до субмикрометровых величин(рис. 1а). Поры такого масштаба по классификации можно отнести к макропорам – в них возможна конденсация молекул воды, которая интенсивно удаляется из цеолитов при их прокаливании (цеолит – кипящий камень (греч.).

Характер поровой системы поверхности исследуемыхцеолитов хорошо виден на рис. 1б (цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения). Макропоры размеров200–500 нм покрывают значительную часть поверхности частицы. Присутствуют отдельные объекты масштаба150–700 нм, форма которых напоминает сферическую, диффузного вида с нечеткими, размытыми краями и их кластеры различной конфигурации с размерами от нескольких сотен нанометров до нескольких микрометров. В целом, частицы дисперсного материала цеолитов обоих месторожденийимеютсходное строение, большую

удельную поверхность, развитое поровое пространство. Ярко выраженная макропористость природных цеолитов определяет специфику их использования при адсорбционных процессах в этих системах, их теплофизические характеристики и теплоизоляционные свойства, а наличие входных «окон», пор и каналов, шероховатость поверхности объясняется каркасной структурой строения.



а) б)

Рис. 1. Микрофотографии поверхности дисперсных частиц цеолитсодержащих пород месторождений: а) Республики Мордовия;б) Татарстана.

Известно, что цеолитсодержащие породы различных месторождений различаются химическим, минералогическим составом, плотностью, показателями теплопроводности, температуропроводности, прочности, устойчивостью к высоким температурам и другими характеристиками. Анализ литературных данных по оксидному составу цеолитсодержащих пород России, стран СНГ и дальнего зарубежья показывает, что основную роль в подавляющем числе цеолитов играют:SiO_2 (44–80 %),Al_2O_3 (4– 13 %), CaO (8–18 %), Fe_2O_3 (1,5–4,3 %),K_2O ~ 2,6 %,Na_2O ~ 0,4 %.

Проведен элементный анализ исследуемых цеолитсодержащих пород (в пересчете на оксиды) методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии, позволяющего с высокой точностью определять процентное содержание большинства химических элементов и широко применяемого для контроля минерального состава, химической чистоты, динамики сорбционных процессов и процессов деградации различных дисперсных систем.

Таблица 1

Анализ исследуемых цеолитсодержащих пород

Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	TiO_2	P_2O_5	Na_2O
Атяшевское (Республика Мордовия)	70,6	11,2	8,3	4,3	3,3	1,3	0,7	0,2	-
Татарско-Шатрашанское	75,7	11,8	1,9	6,1	2,0	1,3	0,6	0,1	-

Цеолитсодержащие породы Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений по содержанию материала-стеклообразователя не уступают и даже превосходят многие цеолитовые ископаемые различных стран и регионов, что позволяет считать этот дисперсный материал пригодным для производства пеностекла, ячеистых материалов и зернисто-пористых наполнителей теплоизоляционных панелей (табл.1) [3].

При изучении структуры и свойств полидисперсных минеральных порошков, в состав которых входят частицы микро- и нанометровых размеров, особое значение приобретает информация об их поверхности, составу функциональных групп и простейших структурных единиц, взаимодействующих с ней. Наиболее богатую информацию о структуре поверхности частиц вещества дает метод ИК-спектроскопии.

ИК-спектры цеолитов Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений были получены на инфракрасном Фурье-спектрометре «Инфралюм ФТ-02»в диапазоне волновых чисел450 – 4000 $см^{-1}$.На рис. 2 показаны кривые поглощения исследуемых ископаемых пород.

В целом, индикатрисы рассеяния исследуемых цеолитов имеют сходный вид, характерный для природных цеолитов. Анализ их структуры и литературных данных позволило идентифицировать большинство полос поглощения ис большой долей вероятности соотнестиих происхождение с колебаниями определенных межатомных связей и структурных групп. Полосы поглощения в диапазоне значений волновых чисел400 – 1400 $см^{-1}$ соответствуют колебаниям алюмокремниевых тетраэдров каркаса цеолитовой структуры.Эти полосы поглощения авторы относят к двум типам колебаний: колебания, характеризующие первичные структурные единицы цеолитов – SiO_4 иAlO_4; колебания указанных тетраэдров по внешним связям. Область частот400–500 $см^{-1}$и950–1250 $см^{-1}$соответствует первому типу колебаний. Сильная полоса 400–500 $см^{-1}$может быть отнесена к деформационным колебаниямТ – O_4 ,гдеТ – катионыSi^{4+} иAl^{3+}, а максимальная по интенсивности полоса950–1250 $см^{-1}$- к валентным колебаниям Т – О.

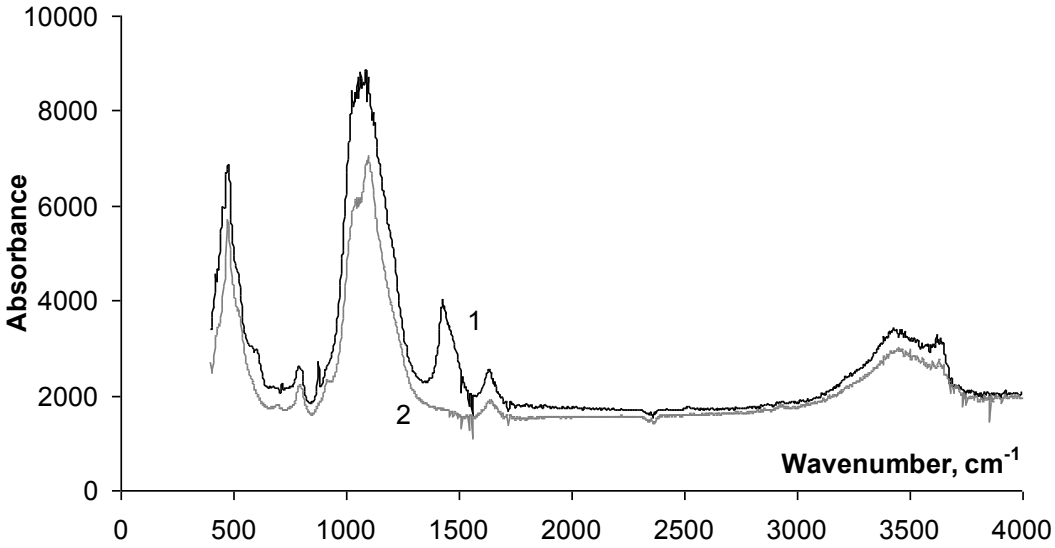


Рис. 2. Инфракрасные спектры цеолитсодержащих породАтяшевского (1)и Татарско-Шатрашанского (2)месторождений

Полоса в области волновых чисел500–650 $см^{-1}$ соответствуют второму типу колебаний и содержат информацию о характере связей между TO_4 – тетраэдрами, а также о строении вторичных структурных единиц. К валентным колебаниям, в которых участвуют тетраэдрыTO_4 можно отнести полосы поглощения 650–820 $см^{-1}$, причем положение полос зависит от соотношенияSi/Al в структуре цеолита. В обоих исследованных цеолитсодержащих породах четко проявляет себя полоса в районе790–800 $см^{-1}$. Ее можно отнести к валентным колебаниям типа$TO_4 – TO_4$.

В спектре поглощения цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения, на фоне широкой линии950–1250 $см^{-1}$ проявляет себя пик 1099 $см^{-1}$, который, вероятно, характеризует валентные колебания внутриTO_4 – тетраэдров. В цеолите Атяшевского месторождения такая линия поглощения отсутствует.

Полоса с максимумом при 1640 $см^{-1}$ характеризует деформационные колебания адсорбированных молекул воды. Валентные колебания таких молекул образуют широкую линию поглощения в диапазоне волновых

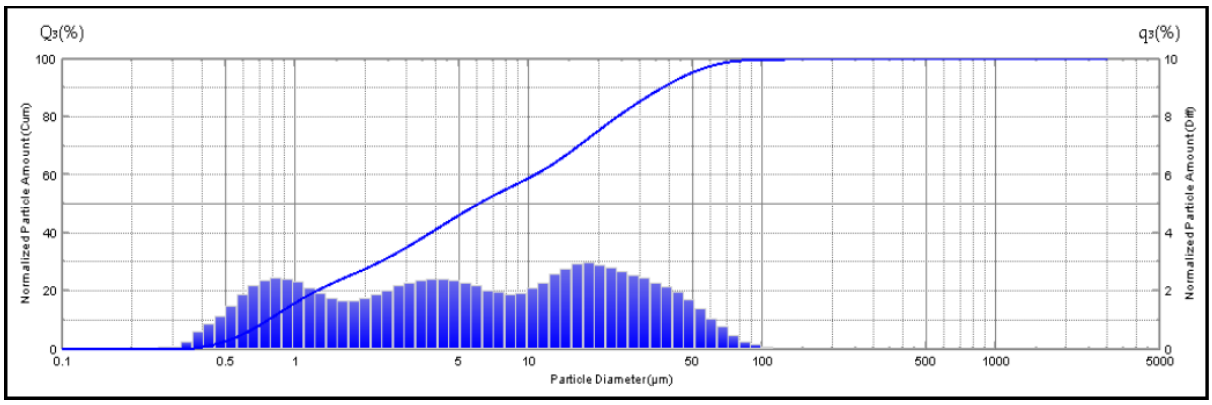
чисел 3100–3700 $см^{-1}$. В спектрах исследованных цеолитсодержащих пород можно обнаружить малоконтрастные полосы поглощения 3650–3680 $см^{-1}$, обусловленные колебаниямиОН-группБренстедовских кислотных центров.

Инфракрасные спектры цеолитов Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений имеют некоторые отличия. В первую очередь следует отметить наличие достаточно интенсивной полосы поглощения1380–1500 $см^{-1}$ в спектре породыАтяшевского месторождения. Такая полоса полностью отсутствует в спектре цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения. ИнтерпретацияИК-спектров в области волновых чисел ниже1500 $см^{-1}$ часто представляется нетривиальной задачей, в связи с тем, что эта область так называемых «отпечатков пальцев», в которую попадают линии поглощения многих веществ. В частности, диапазон1455–1470 $см^{-1}$ может быть обусловлен различного рода колебаниями группыCH_3 ,а полоса1380–1500 $см^{-1}$ относится к деформационным колебаниям группыCH_2 .Таким образом, наличие широкой, четкопроявляющей себя полосы1380–1500 $см^{-1}$, обязано присутствием в цеолитсодержащей породе Атяшевского месторождения органической составляющей ископаемой породы. После того, как данный образец был прокален в течение3 часов при температуре500°Суказанная полоса поглощения в ИК-спектре не проявилась, что подтверждает высказанное предположение.

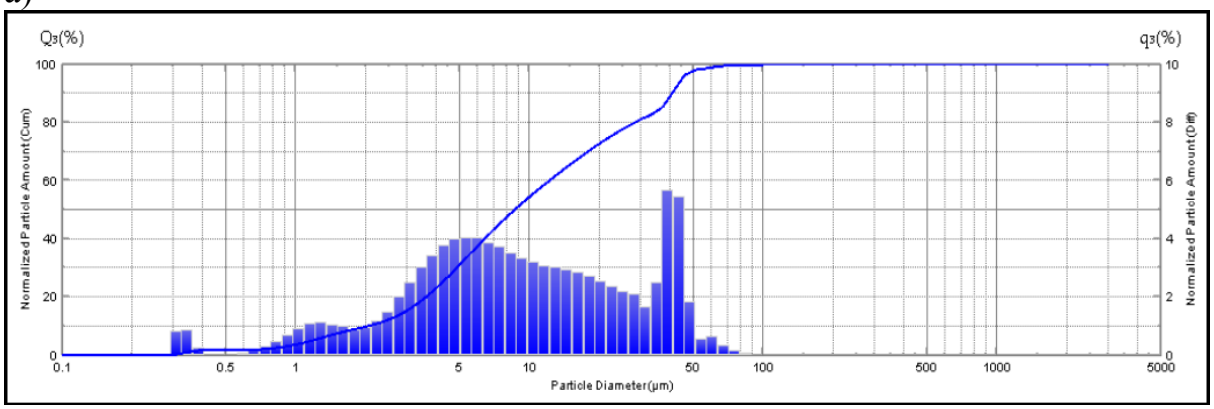
Цеолитсодержащие породы Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторожденийимеют сложный гранулометрический состав, рис.3. Линейные частиц природного цеолита Атяшевского месторождения (рис. 3а) образуют непрерывный ряд значений, укладывающихся в диапазон 0,250–125 мкм, причем распределение частиц по размерам имеет три четко выраженных максимума (три моды).

Первый из них приходится на область субмикрометровых размеров частиц – 0,875 мкм.

Второй – на область единиц микрометров:4,1–4,5 мкм, а третий наблюдается для частиц, имеющих масштаб десятков микрометров, а именно~19 мкм. Данные гранулометрического анализа позволяют определить относительное содержание тех или иных фракций исследуемого дисперсного материала: на диапазон крупности0,250–1 мкм приходится18 % всех частиц; размеры1–10 мкм имеют около41 % частиц; 10–100 мкм – 41 %. Таким образом82 % частиц цеолитсодержащей породы Атяшевского месторождения состоят из дисперсных частиц размеров1–100 мкм.



а)



б)

Рис. 3.Гранулометрический состав цеолитова)Атяшевского (Республика Мордовия); б)Татарско-Шатрашанскогоместорождений

Полученное распределение частиц цеолита по размерам согласуется с результатами исследования процесса роста кристаллов цеолитов в различных условиях. Онидают основания считать, что в конечных продуктах частицы цеолитов обычно в большей или меньшей степени полидисперсны, а нарушение монотонности их распределения по размерам объясняются результатом статистических отклонений, что и ведет к распределению числа кристаллов (частиц) по модам.

Более сложный характер распределения частиц по размерам имеет проба цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашанскогоместорождения, рис. 3 б. На гранулометрической гистограмме, условно, можно выделить пять максимумов в различных областях значений линейных размеров:300–560 нм;0,7–1,9 мкм;2–30 мкм;30–55 мкм;55–100 мкм. В цеолитсодержащей породе Татарско-Шатрашанскогоместорождения, в отличие от Атяшевского цеолита, наблюдается ультрадисперсная фракция частиц крупностью0,300–0,560 мкм. Подавляющее количество дисперсного материала имеет линейные размеры2–30 мкм. Обращает на себя внимание наличие резко выраженного несимметричного максимума, характеризующего распределение частиц с линейными размерами~30–55 мкм. В этот узкий интервал крупности попадают до 17 %всех частиц образца с характерными размерами около42 мкм. Анализ гистограмм гранулометрических измерений цеолитсодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанскогоместорождений показывает, что цеолит Атяшевского месторождения имеет заметно более однородный состав полидисперсной зернистой системы, а особенностью цеолита Татарско-Шатрашанскогоместорождения следует признать дисперсность гранулометрического состава с четко выраженным содержанием субмикрометровой фракции.

Проведенный рентгеноструктурный анализ цеолитсодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанскогоместорождений позволил установить сходство их минералогического состава и принадлежность к клиноптилолитовым залежам. В составе пород Татарско-Шатрашанскогоместорождения отмечается большее количество кристаллического кварца (песчаника), чем в отложениях Атемарского месторождения.

Результаты проведенных исследований цеолитсодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанскогоместорождений позволяют сделать ряд выводов:

- породообразующим минералом обоих цеолитовых залежей является клиноптилолит;

- содержание диоксида кремния в исследованных породах превышает 70 % и по этому показателю они заметно опережают многие месторождения Российской Федерации и других стран;

- цеолитсодержащие породы имеют сложный гранулометрический состав;

- в составе пород Татарско-Шатрашанскогоместорождения отмечается большее содержание песчаника, чем в отложениях Атяшевского месторождения;

- в исследованных природных цеолитах дегидратация и выгорание органических примесей обеспечивается прокаливанием при температурах 500–900 $^{\circ}$Св течение нескольких часов, после чего они могут использоваться как сорбенты («молекулярные сита);

- структурные неоднородности нанометрового уровня в цеолитах обоих месторождений представлены фрактальными кластерами, поровыми каналами и полостями клиноптилолитового кристаллического каркаса,

межкристаллитовым пространством, а также фрактальными поверхностями раздела твердое тело – поры.

В целом, цеолитсодержащие ископаемые породы Атяшевского и Татарско-Шатрашанскогоместорождений имеют сходные структурные характеристики, фазовый и минеральный состав. Высокое содержание стеклообразующих соединений позволяет использовать эти материалы в строительной индустрии в качестве исходного сырья для производства разнообразной пеностекольной продукции, обладающей низкой теплопроводностью. Высокая прочность и водо- паронепроницаемость, устойчивость к агрессивным средам, морозостойкость, и в связи с перечисленным – высокая долговечность, предполагают широкое использование данного сырья для получения недорого наполнителя для цементных бетонов и растворов [4].

Литература

1. Рабо Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах: пер с англ. – М. : Мир, 1980. т. 1. – 506 с.

2. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Болдырев А.А. Сухие строительные смеси Мордовии : учеб. пособие. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 144 с.

3. Гончаров Ю. И., Лесовик В. С. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики.Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2001. – 181с.

4. Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитсодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. № 7. – С. 32–38.

© Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., 2017

УДК 693.5: 678.7

Селяев В.П.
академик РААСН, доктор технических наук, профессор
Низина Т.А.
Советник РААСН, доктор технических наук, профессор
Низин Д.Р.
кандидат технических наук
Ланкина Ю.А.
кандидат технических наук, доцент
Чернов А.Н.
аспирант
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ В ТВЕРДЕЮЩЕЙ ПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЕ

PROGRAM COMPLEX FOR MODELING THE PROCESS OF THE CONSTRAINED SEDIMENTATION OF FILLER PARTICLES IN A HARDENING POLYMER SYSTEM

Аннотация. Изложены теоретические основы создания функционально-градиентных материалов на основе полимерных связующих. Разработан алгоритм и создан программный комплекс для моделирования стесненной седиментации полидисперсной суспензии в процессе твердения полимерных систем в зависимости от размера и плотности частиц наполнителя, степени наполнения и изменения вязкости связующего.

Ключевые слова: функционально-градиентные покрытия, программный комплекс, механика многоскоростных континуумов, моделирование, стесненная седиментация, наполнитель.

Abstract. Presented the theoretical basis for the creation of functionally gradient materials based on polymer binders. Were developed an algorithm and software package for modeling constrained sedimentation of polydisperse suspension in the process of curing of polymer systems, depending on the size and density of the filler particles, the degree of filling and binder viscosity.

Keywords: functionally graded coating, software package, mechanics of multirate continua, modeling, constrained sedimentation, filler.

В последние годы защитные покрытия на основе полимерных связующих претерпевают второе рождение. Значительно расширился ассортимент выпускаемых покрытий; к разрабатываемым составам предъявляются повышенные требования. При этом необходимо отметить, что разработка современных эффективных систем защиты материалов от старения и коррозии невозможна без создания нетрадиционных покрытий, обладающих особым набором свойств.

Опыт эксплуатации строительных конструкций с полимерными покрытиями показывает, что функциональная нагрузка на различные части защитных покрытий неодинакова [1 – 4]. Так, например, наружныеслои покрытия должны защищать материал от агрессивных воздействий окружающих факторов, а внутренние слои обеспечивать высокую прочность композита и его хорошую адгезию к бетону. К такому классу материалов относятся функционально-градиентные композиты (ФГК), изменение физико-механических характеристик которых по высоте поперечного сечения происходит по определенному закону [1, 2].

При разработке полимерных функционально-градиентных материалов (ФГМ), подвергающихся интенсивному действию климатических факторов, целесообразно сформировать такое

распределение свойств по сечению, при котором наружный слой будет защищать полимер от старения в процессе эксплуатации, а внутренние – обладать повышенными прочностными и адгезионными характеристиками. Среди множества методов и способов создания функционально-градиентных материалов [1 – 3] наиболее технологически простым и эффективным является получение ФГМ путем варьирования вязкости полимерного связующего, а также плотности и крупности наполнителей.

Известно, что неотвержденные полимерные системы представляют собой суспензии частиц наполнителя в связующем [2, 5 – 8]. Подобные системы принято описывать, используя теорию седиментации, основанную на формуле Стокса. Однако необходимо отметить, что это справедливо лишь для монодисперсных малонаполненных систем. При этом практически все наполненные композиции полидисперсны, что влияет на скорость осаждения частиц в зависимости от размера их фракции. Реальные скорости осаждения могут значительно отличатся от стоксовской скорости, особенно для высоконаполненных полидисперсных суспензий. Это связано с тем, что частицы, движущиеся с разными скоростями и на небольшом расстоянии друг от друга, могут взаимодействовать между собой. Поэтому при исследовании высоконаполненных полидисперсных полимерных систем целесообразно рассматривать процессы стесненной седиментации частиц наполнителя.

Исследование процессов стесненной седиментации является, несомненно, сложной задачей. Наиболее мощным инструментом анализа процесса седиментации в полидисперсной суспензии является механика многоскоростных континуумов. Многоскоростной континуум представляет собой совокупность n континуумов, каждый из которых

относится к своей составляющей смеси и заполняет один и тот же объем, занятый смесью [9]. Для каждого из этих составляющих континуумов в каждой точке определяются плотность ρ_i, скорость, v_i и другие параметры, относящиеся к своему континууму и своей составляющей смеси.

При рассмотрении процесса седиментации полидисперсной системы, содержащей неброуновские частицы, необходимо учитывать следующие допущения [10]:

– частицы каждой фракции движутся с установившейся в данном слое скоростью (силы инерции равны нулю);

– в начальный момент времени частицы всех фракций равномерно распределены по высоте (рис. 1, а);

– прямыми столкновениями частиц пренебрегают, и учитывают лишь межфазное взаимодействие частиц всех фракций со сплошной средой.

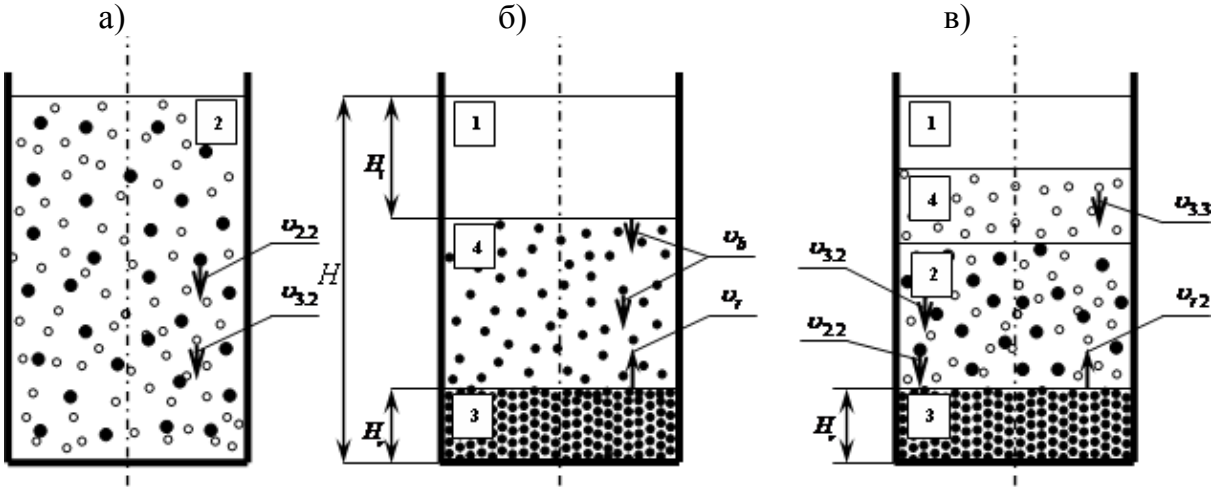


Рис. 1. Схема процесса седиментации моно- (*б*)иполидисперсной (*а*, *в*) суспензии (H_r – высота слоя осадка (3);H_l – высотаслояосветленнойжидкости (1); H – общая высота суспензии; $v_{i,j}$ – скорость осаждения i-х частиц в -й суспензии; 2 – слой бидисперсной суспензии; 4 – слой монодисперсной суспензии) [10]

Для определения распределения свойств по высоте поперечного сечениянеобходимо получить зависимости для скорости осаждения частиц

наполнителей различных фракций, учитывая изменение вязкости связующего в процессе отверждения.

В работе [10] показано, что при указанных выше допущениях седиментация полидисперсной суспензии описывается системой уравнений неразрывности для $n-1$ фракций:

$$\frac{\partial(\rho_i \cdot V_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_i \cdot V_i \cdot v_i) = 0, i = 1, \dots, n \tag{1}$$

где ρ_i – истинная плотность -й фракции, *кг/м*^{3}; V_i– объемная доля i-й фракции; v_i– абсолютная скорость движения частиц i-й фракции, *м/с*. Связующее в уравнении (1) описывается параметрами с индексом $i = 1$;характеристики системы при $i \geq 2$ соответствуют частицам наполнителя, причем меньшие номера фракций для определенности присваиваютсяболее крупным частицам.

В каждом -ом слое композитадолжно выполняться балансовое условие:

$$\sum_{i=j}^{n} V_{ri,j} = E_j \ , j = 2, \dots, n, \tag{2}$$

где $V_{ri,j}$ – объемная доля -й фракции частиц в j-ом слое системы;

E_j – общая объемная доля твердой фазы, зависящая от количества фракций и их средних размеров.

Кроме того, в любом j-ом слое суспензии, в котором самыми крупными являются частицы с j-м размером, справедливо соотношение:

$$V_{1,j} + \sum_{i=j}^{n} V_{ri,j} = 1 \ , j = 2, \dots, n, \tag{3}$$

где $V_{i,j}$ – объемная доля связующего в j -ом слое.

При определенном диапазоне частиц наполнителя происходит так называемая пофракционная сепарация, когда каждый слой осадка состоит практически только из частиц одной фракции, что обусловливает неравномерное распределение свойств по высоте поперечного сечения [10]. Крупные частицы, осаждаясь с очень большой скоростью, интенсивно вытесняют жидкость вверх, которая увлекает за собой мелкие частицы и приводит ких всплыванию [9].

В работе [10] рассмотрен процесс осаждения частиц наполнителя на примере наполненного эпоксидного клея. Однако в данном случае исследовалось осаждение частиц наполнителей в процессе хранения, т.е. в неотвержденной системе с постоянными вязкостью и температурой. В ходе отверждения наполненных полимерных систем процессы стесненной седиментации еще более усложняются [2, 7, 8].

Как известно, в процессе отверждения вязкость системы повышается, что оказывает существенное влияние на седиментацию наполненных полимерных структур. Кинетику нарастания динамической вязкости в процессе отверждения предлагается задавать с помощьюуравнения, коэффициенты которого могут быть определены по результатам экспериментальных исследований:

$$\eta = \eta_0 + v_1 \cdot T + A \cdot \exp\left(\frac{T - T_k}{T_3}\right), \quad (4)$$

гдеη_0 –начальная динамическая вязкость; v_1 – скорость на первоначальном этапе отверждения; T – текущее время отверждения; А, T_k, T_3 – параметры уравнения, характеризующие скорость набора вязкости на втором этапе отверждения.

Для наглядной реализации моделирования стесненной седиментации частиц наполнителей в процессе отверждения полимерной системы был

разработан алгоритм [2, 12 – 14] и создан программный комплекс, интерфейс которого приведен на рис. 2.

В программе реализовано выполнение следующих функций:

- моделирование стесненной седиментациичастиц наполнителей в процессе отверждения полидисперсных систем;
- возможность установки и изменения условий процесса седиментации путем задания исходных данных;
- возможность сохранения нескольких конфигураций с последующей загрузкой необходимой;
- возможность установки таймера для автоматического завершения процесса седиментации через заданный промежуток времени;
- расчет концентрации частиц в различных суспензиях либо после остановки таймера (автоматически), либо в любой момент времени при активации специальной функции;
- моделировано столкновение тел на основе методов импульса;
- возможность задания степени точности расчета;
- отображение результатов работы программы в виде графического изображения с сохранением в графическом формате bmp;
- сохранение расчета скоростей частиц в различных суспензиях через определенный промежуток времени в текстовый файл формата txt;
- сохранение результатов расчета концентраций частиц в суспензиях в текстовый файл с указанием координат и размеров частиц.

Программа включает в себя следующие блоки:

а) моделирование процесса стесненной седиментации:

1) загрузка исходных данных из инициализационного файла(файла конфигурации формата ini.)

2)генерация сцены на основе исходных данных;

3) задание точности расчета;

4) установка таймера (при необходимости);

б) обработка полученных результатов:

1) расчет скорости оседания частиц на основе метода многоскоростных континуумов;

2) поиск и решение контактов частиц (расчет импульсов);

3) расчет координат частиц методами аналитической геометрии;

4) возможностьпередачи выходных данных в MicrosoftWord и Excel, а также сохранения сцены в графическом формате bmp.

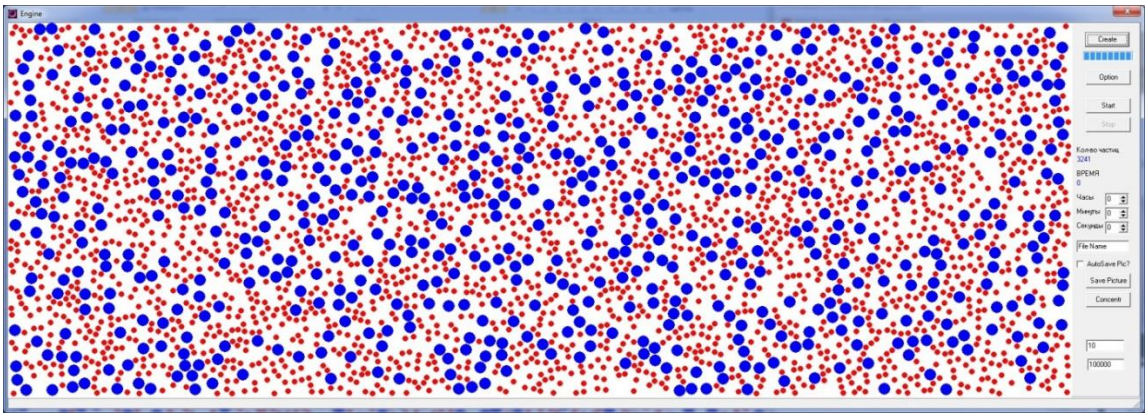


Рис. 2. Интерфейс программного комплекса для моделирования стесненной седиментации частиц наполнителя в процессе отверждения полимерной системы

Сопоставление результатов, полученных с помощью расчетных методови разработанного программного продукта, показало их высокую сходимость. В качестве модельных были выбраны наполнители с радиусом частиц $r_1 = 0.1$ мм и $r_2 = 0.05$ мм;параметры уравнения (4), используемые при моделировании: $\eta_o = 0{,}4$; $v_1 = 0{,}5$; A= 3; $T_k = 0{,}8$; $T_3 = 0{,}3$. Динамика распределения частиц наполнителя в процессе седиментации с учетом времени представлена на рисунке 3.

а) в начальный моментб) через 5 минутв) через 30 минутвремени

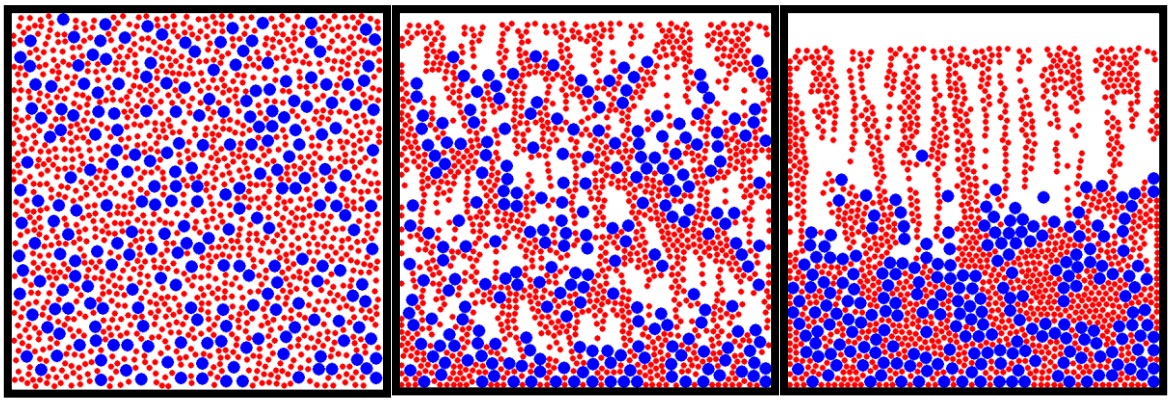
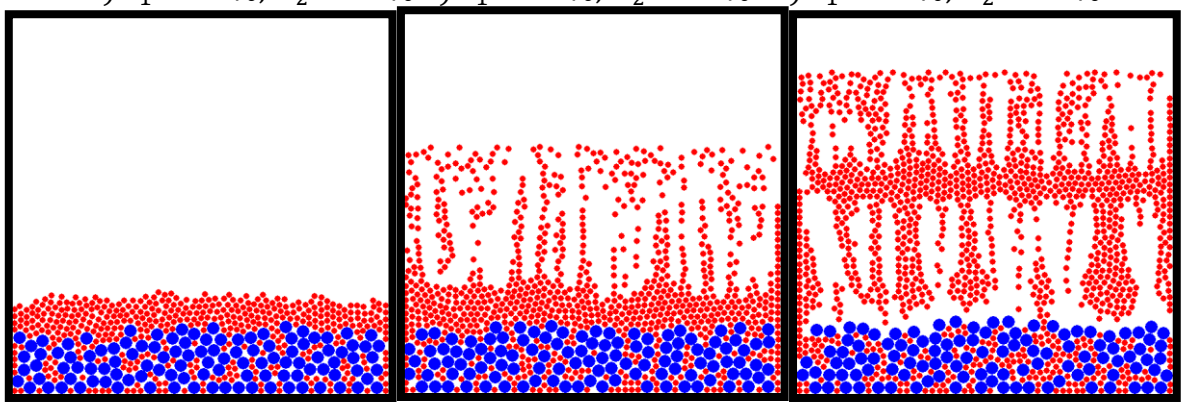


Рис. 3. Результаты моделирования распределения частиц наполнителей по высоте поперечного сечения полимерного композита в процессе отверждения (r_1=0,1 мм, r_2=0,05;$V_1 = 20\%$ и $V_2 = 30\%$)

Проведенный анализ результатов моделирования показал, что при увеличении доли мелкого наполнителя ($r_2 = 0.05$ мм) с 10 до 40%при фиксированном (10%) содержании крупного наполнителя ($r_1 = 0.1$ мм)наблюдается (рис. 4, а – в) увеличение толщины переходного слоя. Толщина слоя осадка, содержащего как крупные, так и мелкие частицы наполнителя, для этих составов практически не меняется.

а) $V_1 = 10\%;\ V_2 = 10\%$ б) $V_1 = 10\%;\ V_2 = 20\%$ в) $V_1 = 10\%;\ V_2 = 30\%$



г) $V_1 = 30\%;\ V_2 = 10\%$ д) $V_1 = 40\%;\ V_2 = 10\%$ е) $V_1 = 50\%;\ V_2 = 10\%$

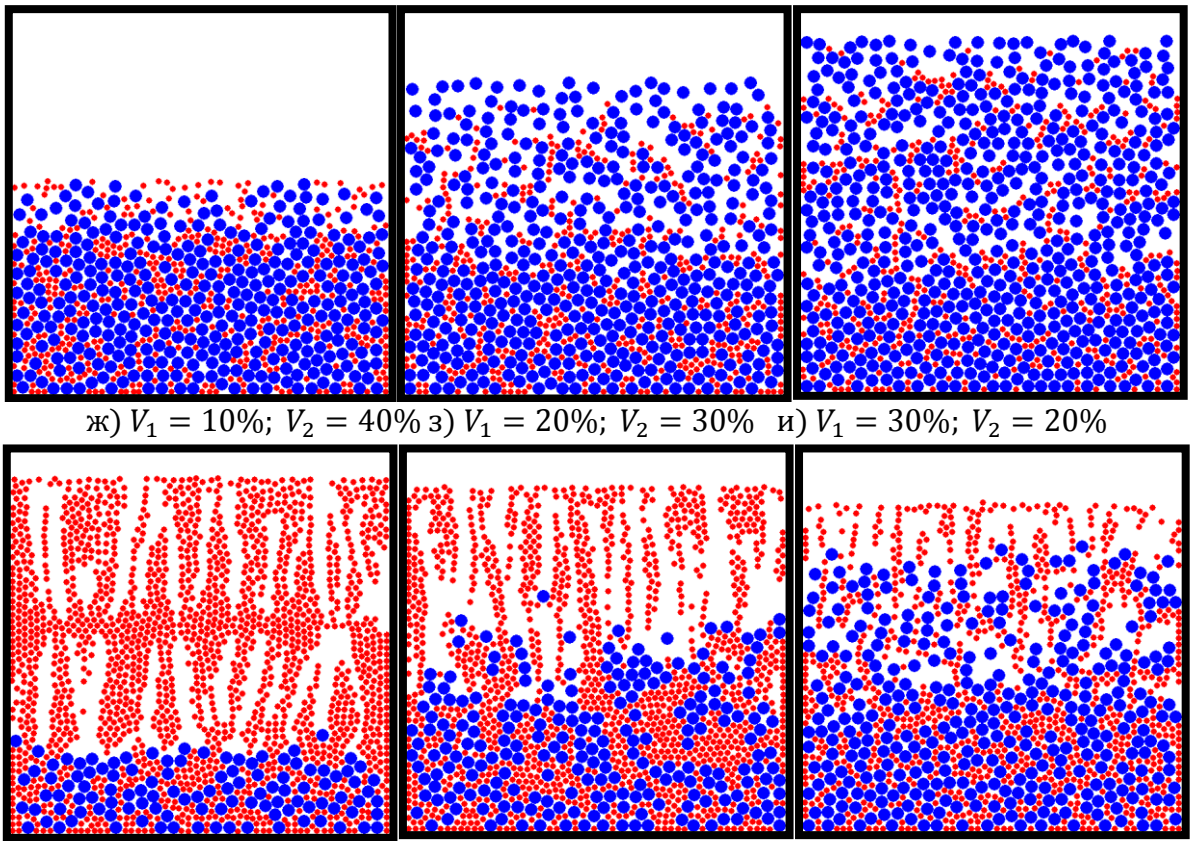


Рис. 4. Результаты моделирования распределения частиц наполнителей по высоте поперечного сечения отвержденных полимерных композитов (размеры частиц наполнителя – r_1=*0.1 мм,* r_2=*0.05 мм*)

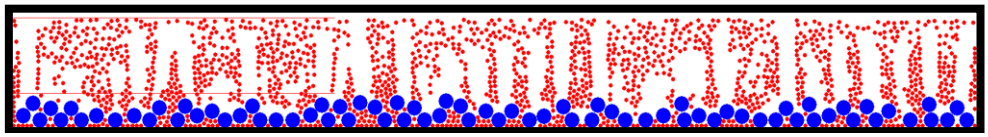
Повышение в составе наполнителей крупных частиц ($r_1 = 0.1$ мм) с 10 до 30% при постоянном содержании мелких частиц ($r_2 = 0.05$ мм; $V_2 = 10\%$) приводит к значительному увеличению максимально-наполненного слоя осадка (рис. 4, а, г) с последующим снижением его толщины в интервале от 30 до 50% (рис. 4, г – е). Толщина слоя, содержащего частицы наполнителя во взвешенном состоянии, для этих же соотношений наполнителей существенно возрастает.

Изменение соотношения крупного и мелкого наполнителей, особенно для высоконаполненных систем (например, при $V_1 + V_2 = 50\%$), позволяет значительно варьировать распределение частиц наполнителей, а, следовательно, и свойств по высоте поперечного сечения (рис. 4, д, ж – и).

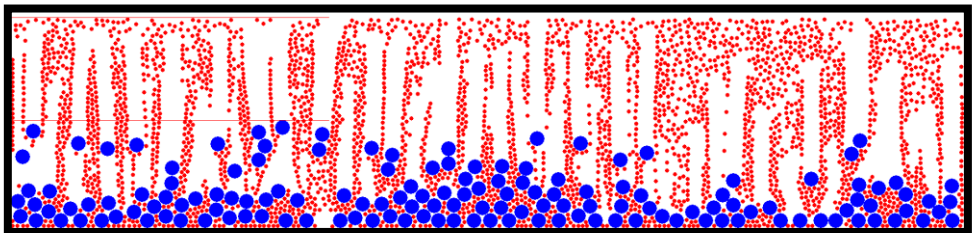
Проведенное моделирование показало, что процесс пофракционной сепарации наблюдается как в высоконаполненных, так и в малонаполненных композитах.

Моделирование процесса стесненной седиментации было также проведено на основе реальных экспериментальных данных. В качестве полимерного связующего использовалась композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной полиэтиленполиамином; в качестве наполнителя – комплексный наполнитель, содержащий (по массе) 70% мела и 30% маршалита. Объемная доля наполнителя составляла 75% от общего объема композита; толщина покрытий варьировалась от 1 до 4 мм. Используемые для моделирования размеры частиц наполнителей (соответственно, 0.04 и 0.14 мм для мела и маршалита) были выбраны на основе анализа кривых плотности распределения эквивалентных радиусов, определенных с помощью программного комплекса «Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам» [14]. Для описания процесса нарастания динамической вязкости эпоксидного связующего в процессе твердения использовались следующие значения параметров уравнения (4): $\eta_o = 13{,}72$; $v_1 = 0{,}001$; A= 4,285; $T_k = 0.79$; $T_3 = 1{,}095$, определенные по экспериментальным кривым. Результаты проведенного моделирования приведены на рис. 5.

а)



б)



в)

г)

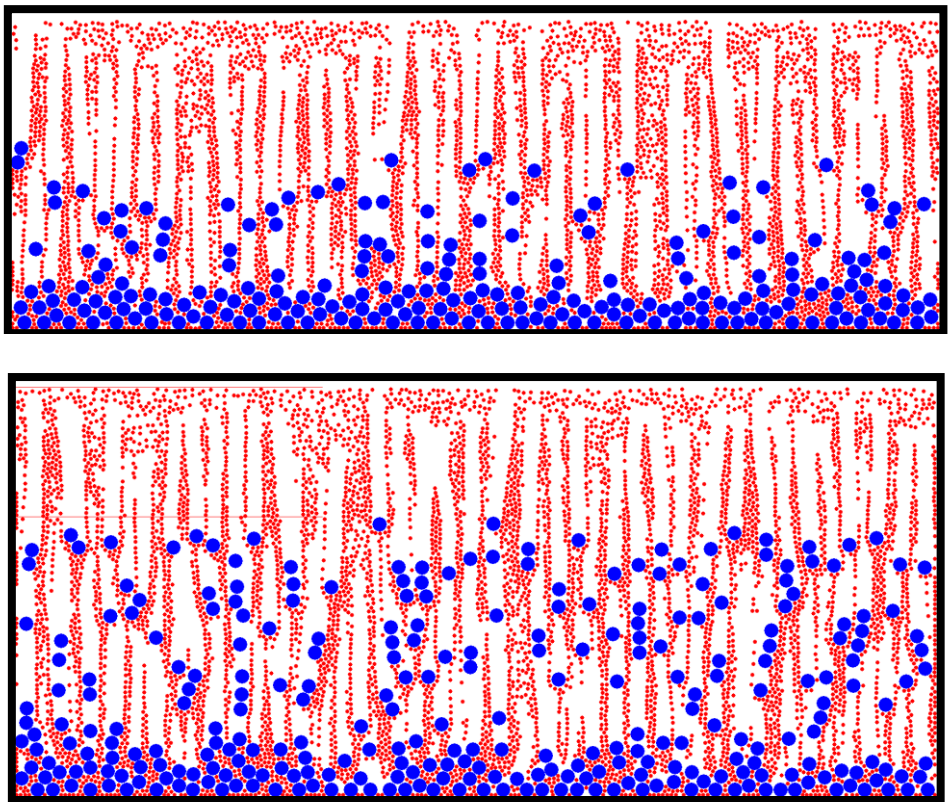


Рис. 5. Результаты моделирования распределения частиц наполнителейпо высоте поперечного сечения эпоксидного композита (степень наполнения 75%; вид наполнителя – 70% мела + 30% маршалита) через 1 час отверждения в зависимости от толщины покрытия:*а* – 1 мм; б – 2 мм; г – 3 мм; д – 4 мм

Разработанный программный продукт позволяет оценить распределение частиц наполнителя в процессе стесненной седиментации с учетом реальных параметров изменения динамической вязкости связующего в процессе отверждения, распределения частиц наполнителей по размерам, а также толщины наносимого покрытия. Предложенный подход позволяет подобрать оптимальные составы функционально-градиентных композитов с учетом необходимого распределения частиц, а, следовательно, и свойств по высоте поперечного сечения без проведения натурного эксперимента.

Литература

1. Селяев В.П., Карташов В.А., Клементьев В.А., Лазарев А.Л. Функционально-градиентные композиционные строительные материалы и конструкции. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 160 с.

2. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.

3. Селяев В.П., Низина Т.А., Ланкина Ю.А., Цыганов В.В. Функционально-градиентный материал для защитных покрытий // Известия ТулГУ. Серия: Строительные материалы, конструкции и сооружения. Вып. 7. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – С. 222-227.

4. Селяев В.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А., Цыганов В.В., Низина Т.А. Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций. – Саранск: Изд-во СВМО, 2010. – 224 с.

5. Селяев В.П., Иващенко Ю,Г., Низина Т.А. Полимербетоны: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с.

6. Селяев В.П., Низина Т.А., Ланкина Ю.А., Цыганов В.В. Моделирование распределения свойств полимерных композитов по сечению // Известия ТулГУ. Серия: Строительные материалы, конструкции и сооружения. Вып. 8. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 141-145.

7. Селяев В.П., Низина Т.А., Ланкина Ю.А. Теоретические основы создания функционально-градиентных материалов на основе полимерных связующих // Региональная архитектура и строительство. – 2007. – № 2. – С. 20-25.

8. Селяев В.П., Низина Т.А., Лазарев А.Л., Ланкина Ю.А., Цыганов В.В. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих // Известия ВУЗов. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 36 – 40.

9. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 1987. – 134 с.

10. Абиев Р.Ш. Исследование стесненной седиментации полидисперсной суспензии и влияния дисперсного состава наполнителя на качество наполненного эпоксидного клея // Пластические массы. – 2002. – № 4. – С. 31 – 36.

11. Селяев В.П., Низина Т.А., Ланкина Ю.А., Зимин А.Н., Низин Д.Р. Моделирование процесса стесненной седиментации частиц наполнителя в твердеющей полимерной системе // Вестник отделения строительных наук, Выпуск 16. Т. 2. – Москва, 2012. – С. 126 – 134.

12. Селяев В.П., Низина Т.А., Ланкина Ю.А., Зимин А.Н., Низин Д.Р. Программный комплекс для моделирования стесненной седиментации частиц наполнителей в процессе отверждения полимерных систем // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. – № 8. – С. 34 – 37.

13. Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Зимин А.Н. Анализ процесса стесненной седиментации частиц наполнителя в твердеющей полимерной системе // Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона». Саратов, 2012. – С.9 – 12.

14. Селяев В.П., Низина Т.А., Минеев В.А. Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007611001 от 6.03.2007 г. в Роспатенте по заявке №2007610002 от 11.01.2007 г.

© Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р.,
Ланкина Ю.А., Чернов А.Н., 2017

УДК539.3

Стародубцев В.В.
Российский университет транспорта,

Московский политехнический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАДЗЕМНОГО НЕФТЕПРОВОДА ПРИ ВНЕШНЕМ НЕСТАЦИОНАРНОМ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ МУСАЕВА В.К.

MODELING OF THE STRESSED STATE OF AN ABOVE-GROUND OIL PIPELINE WITH AN EXTERNAL NON-STATIONARY EXPLOSIVE EFFECT WITH THE HELP OF A MUSAEV V.K SET OF PROGRAMS

Аннотация. В работе приводится некоторая информация моделирования сосредоточенного вертикального взрывного воздействия на надземный нефтепровод с основанием в виде полуплоскости. Рассматривается волновая теория взрывной безопасности. Рассматривается один вариант взрывного воздействия. Решается система уравнений из 8016288 неизвестных. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Приводится постановка рассматриваемых задач.

Ключевые слова: моделирование безопасности, прочность, несущая способность, волновая теория взрывной безопасности, взрывное воздействие, надземный нефтепровод, треугольный импульс, безопасность в чрезвычайных ситуация, численный метод, алгоритм Мусаева В.К., комплекс программ.

Abstract. The paper provides some information centered vertical modeling of blast effects on above-ground pipeline with a base in the form of a half-plane. Considered the wave theory of explosive safety. Considered one variant of blast effects. Solve the system of equations of 8016288 unknown. Explosive impact is modeled as a triangular pulse. A formulation of the problems under consideration.

Key words: simulation of the safety, durability, load bearing capacity, the

wave theory of explosive safety, explosive impact, overhead pipeline, a triangular pulse, safety in an emergency, numerical method, algorithm Musayev V.K., complex programs.

В работе применяется математическое моделирование для определения напряженного состояния надземного нефтепровода с основанием в виде полуплоскости при внешних взрывных воздействиях.

На основе метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для решения линейных двумерных плоских задач, которые позволяют решатьсложные задачи при волновых воздействиях на сооружения.

В работах [1–19] приведена информация о моделировании напряженного состояния в объектах сложной формы при нестационарных взрывных воздействиях.

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: 1 кгс/см^2 ≈ 0,098 МПа; 1 кгс·с^2/см^4 ≈ 0,98·10^9 кг/м^3.

Рассмотрим задачу о воздействии сосредоточенной взрывной волны (рис. 2) на свободной поверхности упругой полуплоскости с надземным нефтепроводом (рис. 1). Взрывное воздействие (рис. 2) моделируется в виде треугольного импульса, которое приложено на расстоянии одного среднего диаметра от края трубы (рис. 1). В точке J перпендикулярно свободной поверхности KGJI приложено сосредоточенное нормальное напряжение σ_y (рис. 1), которое при $0 \le n \le 11\,(n = t/\Delta t)$ изменяется линейно от 0 до P, а при $11 \le n \le 21$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, σ_0 = - 0,098 МПа(σ_0 = -1 кгс/см^2)). Граничные условия для контура KLMI при $t > 0$

$u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура KLMI не доходят до исследуемых точек при $0 \le n \le 2000$. Внутреннийконтур трубы ABCD свободен от напряжений. Наружный контур EFGH трубы свободен от напряжений, кроме точки G, которая находится на контакте с упругой полуплоскостью. В точке G контакта трубы и основания приняты условия непрерывности перемещений. Контур KGJI свободен от нагрузок, кроме точки J, где приложено сосредоточенное упругое нормальное напряжение σ_y и точки G, которая находится на контакте с упругой полуплоскостью.

Для исследуемых материалов приняты следующие исходные данные. Для трубы приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y; \Delta t = 9{,}309 \cdot 10^{-7}$ с; $E = 2{,}06 \cdot 10^{5}$ МПа $(2{,}1 \cdot 10^{6}$ кгс/см$^2)$; $\nu = 0{,}3$; $\rho = 0{,}784 \cdot 10^{4}$ кг/м^3 $(0{,}8 \cdot 10^{-5}$ кгс·с^2/см$^4)$; $C_p = 5371$ м/с; $C_s = 3177$ м/с.

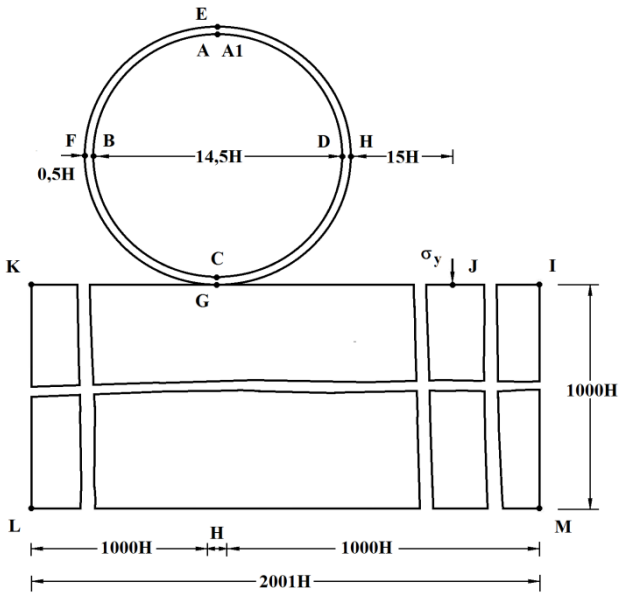


Рис. 1.Постановка задачи о воздействии сосредоточенной взрывной волны на надземный нефтепровод с основание в виде упругой полуплоскости (воздействие приложено на расстоянии одного среднего диаметра от края трубы)

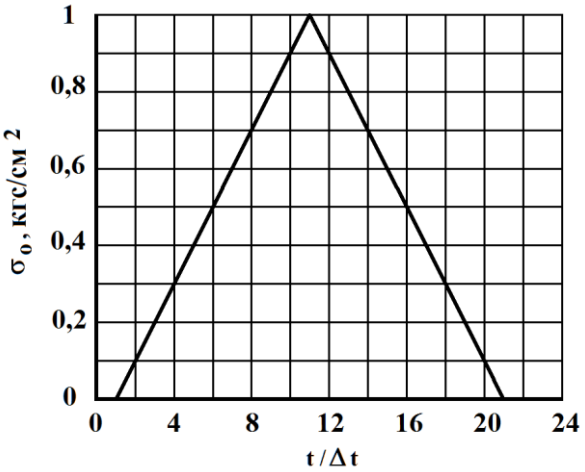


Рис. 2. Взрывное воздействие в виде треугольного импульса

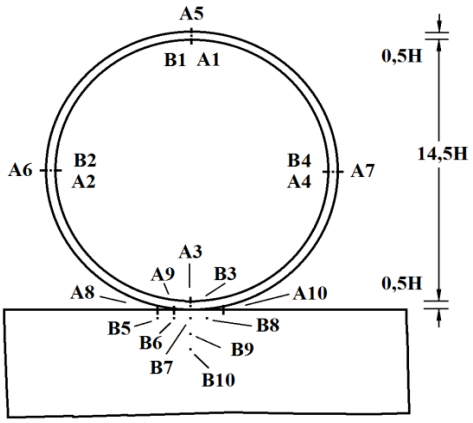


Рис. 3. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени

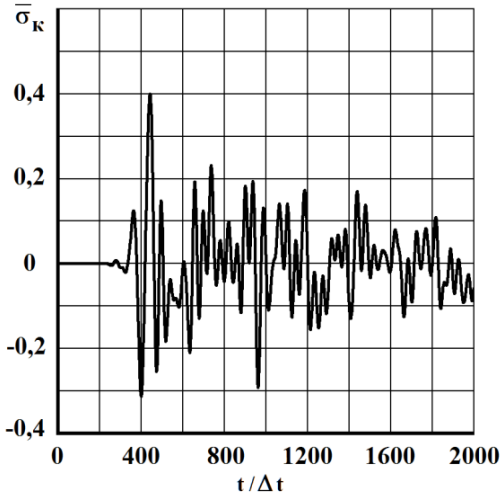


Рис. 4. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A1 (воздействие приложено на расстоянии одного среднего диаметра от края трубы)

Для основания приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$;

$\Delta t = 2{,}788 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3{,}09 \cdot 10^{4}$ МПа ($3{,}15 \cdot 10^{5}$ кгс/см^2); $\nu = 0{,}2$; $\rho = 0{,}25 \cdot 10^{4}$ кг/м^3 ($0{,}255 \cdot 10^{-5}$ кгс с^2/см^4); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с.

При расчетах принимается минимальный шаг по времени $\Delta t = 9{,}309 \cdot 10^{-7}$ с.

Внутренний диаметр трубы равен $14{,}5H$. Средний диаметр трубы равен $15H$. Наружный диаметр трубы равен $15{,}5H$. Толщина трубы равна $0{,}5H$. Исследуемая расчетная область имеет 2004072 узловых точек. Решается система уравнений из 8016288 неизвестных.

Результаты расчетов были получены в виде упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ ($\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) во времени n в точках $A1 - A10$ и в виде компонентов тензора напряжений во времени n в точках $B1 - B10$ (рис. 3), находящихся внадземном трубопроводе с основанием.

На рис. 4 в качестве примера приводится изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точках $A1$ (рис. 3).

Автор выражает благодарность научному руководителю Мусаеву В.К. за оказанную помощь и внимание к работе.

Литература

1. Мусаев В.К. Моделирование точечного взрывного воздействия на сооружение неглубокого заложения без полости с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 3–4. С. 173–183.

2. Мусаев В.К. Моделирование безопасности по несущей способности дымовых труб с основанием при взрыве атомной бомбы в Нагасаки // Международный журнал прикладных и фундаментальных

исследований. 2014. № 12. – С. 198–203.

3. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемой среде на поверхности полуплоскости при взрывном воздействии в объекте хранения опасных веществ // Успехи современного естествознания. 2015.№ 1–1. С. 84–87.

4. Шиянов С.М., Стародубцев В.В., Самойлов С.Н., Мусаев А.В., Рыбка В.С. Определение нестационарных волн напряжений в окружающей среде при взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ с полостью (соотношение ширины к высоте один к пяти) с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIII Международной конференции. М.: РГГУ, 2015. С. 407–410.

5. Мусаев В.К. Математическое моделирование безопасности окружающей среды при нестационарных упругих взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. С. 53–56.

6. Стародубцев В.В. Применение численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. для решения задачи о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на надземный нефтепровод с основанием в виде полуплоскости // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. МатериалыМеждународной научно-практической конференции. Выпуск XVIII. В 2 т. Том 2. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2016. С. 256–266.

7. Мусаев В.К. Моделирование взрывных нестационарных упругих волн напряжений в упругой полуплоскости с вертикальной прямоугольной полостью (соотношение ширины к высоте один к восьми) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.

2016. № 11–1. С. 44–48.

8. Мусаев В.К. Численное моделирование сосредоточенного нестационарного упругого взрывного воздействия на надземный нефтепровод с основанием в виде полуплоскости // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–1. С. 47–51.

9. Мусаев В.К. Численное моделирование нестационарных волн напряжений в упругой полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к четырем) при сосредоточенном взрывном воздействии // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 11–2.С. 192–196.

10. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в упругой полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к двенадцати) при сосредоточенном взрывном воздействии // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12–1.С. 139–142.

11. Стародубцев В.В. Моделирование безопасности сосредоточенного нестационарного упругого взрывного воздействия на надземный нефтепровод с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. М.: РГГУ, 2016.С. 251–254.

12. Мусаев В.К. Моделирование защиты окружающей среды при нестационарных упругих воздействиях в объекте хранения взрывчатых веществ // Двойные технологии. 2017. № 1. С. 68–72.

13. Мусаев В.К. Применение нестационарной волновой теории взрывной безопасности к моделированию волн напряжений в упругой полуплоскости с вертикальной прямоугольной полостью (соотношение

ширины к высоте один к восьми) // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 74–80.

14. Мусаев В.К. Моделирование безопасности по несущей способности дымовой трубы с основанием (полуплоскость) при взрыве атомной бомбы в Нагасаки (Япония) // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 2. С. 19–25.

15. Мусаев В.К. Численное моделирование нестационарных волн напряжений в упругой полуплоскости с прямоугольной полостью при сосредоточенном вертикальном взрывном воздействии // Строительнаямеханика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 6. С. 49–54.

16. Мусаев В.К.Оценка безопасности по несущей способности (напряженное состояние) дымовых труб с основанием при взрыве атомной бомбы в Нагасаки (Япония) // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017». М.: Московский политех, 2017. С. 240–246.

17. Мусаев В.К. Численное моделирование напряжений в упругой полуплоскости с вертикальной полостью (соотношение ширины к высоте один к двенадцати) с помощью нестационарной волновой теории взрывной безопасности // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017». М.: Московский политех, 2017.С. 252–257.

18. Стародубцев В.В. Моделирование безопасности надземного нефтепровода при сосредоточенном нестационарном взрывном воздействии с помощью численного метода, алгоритма и комплекса

программ Мусаева В.К. // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017». М.: Московский политех, 2017. С. 286–292.

19. Мусаев В.К. Численное моделирование безопасности окружающей среды с помощью полостей (соотношение ширины к высоте один к пяти) при нестационарных упругих взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ // Современные задачи инженерных наук: сборник научных трудов Симпозиума «Современные инженерные проблемы базовых отраслей промышленности» Международного научно-технического Форума «Первые международные Косыгинские чтения. М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017. С. 204–208.

© Стародубцев В.В., 2017.

УДК 656.13;625.72

Столяров В.В.
Доктор технических наук, профессор,
Саратовского государственного технического университета
имениГагарина Ю.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РИСКА В РАСЧЕТАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

THE APPLICATION OF RISK THEORY IN THE CALCULATION OF BUILDING STRUCTURES

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор отличительных особенностей математических моделей теории риска, созданных автором статьи относительно математических моделей, применяемых другими авторами для оценки риска вреда человеку от

продукции, выпускаемой отраслью.Показана историческая справка развития теории риска.

Ключевые слова: безопасность дорожных условий, прочность, устойчивость и безопасность сооружения, риск причинения вреда человеку (пользователю автомобильной дорогой) и окружающей среде. Методыдляоценкииснижениярискадодопустимогозначения.

Abstract. This paper presents an analytical review of the salient features of the mathematical models of risk theory, created by the author regarding the mathematical models used by other authors to assess the risk of harm to humans from this product. Shows the history of the development of the theory of risk.

Keywords: road conditions, durability, sustainability and safety of buildings, the risk of injury to person (user Highway) and the environment Wednesday,methods to assess and reduce the risk to an acceptable value.

Представленное в данной статье направление исследований соответствует требованиям Федерального закона России (Закона №184-ФЗ «О техническом регулировании» №184-ФЗ), который обязательно создаётся и исполняется во всех странах, вступивших во Всемирную торговую организацию [1]. Этот Закон требует выпускать безопасную продукцию, а оценивать безопасность и управлять безопасностью продукции данный Закон регламентирует (предписывает) только одним универсальным показателем для всех сфер хозяйственной деятельности – допустимой величиной риска причинения вреда пользователям, окружающей среде и имуществу любой формы собственности. Причём допустимая величина риска зависит от опасности продукции, выпускаемой отраслью (атомной энергетикой, космонавтикой, химическим

производством, транспортным строительством, тяжёлой, лёгкой и пищевой промышленностью и др.).

Это направление исследований зародилось на кафедре «Транспортное строительство» в 1982г., (задолго до появления требований закона «О техническом регулировании») и имеет значительные отличительныеособенности от исследований других авторов. Доначала 60-х годов прошлого столетия анализ безопасности промышленных объектов и на транспорте основывался только на статистических методах [2]. Например, к 1960г. по данным статистики было установлено, что одна катастрофа приходится в среднем на 1 млн. посадок самолётов. В этот период термин «анализ риска» отсутствовал, а понятие «надёжность» использовалось в аэрокосмической и военной промышленности, радиоэлектронных устройствах, энергетике, автоматике, приборостроении и машиностроении [2, 3]. В СССР первая переводная книга с английского по теории надёжности «Малогабаритная радиоаппаратура. (Вопросы конструирования, производства и эксплуатации)» была опубликована в 1954 году под редакцией В.И. Сифорова, а первая отечественная монография по статистическому анализу и контролю надёжности была опубликована в 1962 году [2]. Автор данной монографии Шор Я.Б. указывает на этот факт в предисловии к данной книге. В 1966 году Козлов Б.А. и Ушаков И.А. выпустили в Советском Союзе «Краткий справочник по расчёту надёжности», который в 1970 году был переведён на английский язык и издан в США. Названные авторы в 1975 году опубликовали переработанное и существенно расширенное издание этого справочника. В этом издании справочника авторы опубликовали весьма полезный для исторического анализа раздел «Аннотированный библиографический справочник книг по надёжности», охватывающий

книги по надёжности, вышедшие на русском языке (включая переводные книги) с 1954 по 1971 годы.

Анализ отказов с помощью «дерева отказов» был разработан Х.А. Уотсоном в 1961 – 1962 гг. при подготовке и написании отчёта по анализу системы управления запуском ракеты «Минитмен» по контракту с Военно-воздушными силами США. При этом Уотсон Х.А. применил в отчёте для анализа отказов Булеву алгебру. Первыми публикациями по надёжности, основанными на Булевой логике (алгебре) и работах Уотсона Х.А., были доклады, представленные в 1964 г. на симпозиуме по надёжности в университете штата Вашингтон. При этом следует отметить, что один из разделов теории надёжности, а именно «метод расчёта строительных конструкций по предельному состоянию» был разработан российскими учёными задолго до появления самого термина «теория надёжности» - в начале 30-х годов прошлого столетия [3].

Теория риска появилась значительно позже.

В 1977 году вышел первый отчёт по оценке риска «Анализ безопасности реактора WASH-1400», подготовленный Комиссией по атомной энергии США под руководством профессора Н. Расмуссена. В этом отчёте впервые появился термин риск как количественная величина опасности, определяемая на основе Булевой алгебры (Булевой логики). Профессор Н. Расмуссен и руководимая им группа исследователей проанализировали широкий спектр аварий, относящихся к атомной энергетике, численно классифицировали их в порядке вероятности появления, а затем оценили потенциальные последствия в отношении населения. Для этого профессор Н. Расмуссен и его группа, в указанном выше отчёте,использовали, разработанные Уотсоном Х.А. решения по анализу отказов с применением понятий «Дерево событий», «Дерево

отказов», и впервые выполнили количественную оценку риска с оценкой последствий для населения на основе Булевой логики. Эти методы включают такие исследования как: предварительный анализ опасностей, анализ видов отказов и возможных последствий, анализ методов оценки риска, основанных на понятиях «дерево событий» и «дерево отказов». Ярким представителем данного подхода к оценкам риска в настоящее время является контр-адмирал флота России профессор Рябинин И.А., который исследует деревья событий и деревья отказов с применением Булевой алгебры [4]. Как видно из данного исторического обзора публикаций по количественной оценке риска на основе суммирования законов распределения опасных параметров в период до 1980г. ни в одной из стран Мира не встречалось.

Параллельно с применением Булевой алгебры развивались и другие математические модели оценки риска.

В80-х годах для оценок риска в морской практике ленинградский учёный Абчук В.А. применил математический аппарат, основанный на анализе функций полезности [5].Используя данные функции и теорию вероятностей, он предложил математические модели количественной оценки риска применительно к проблемам морского судоходства.

В конце 80-х годов в Германии для принятия технических решений Мушек Э. и Мюллер П. использовали в оценках рискаанализ специальных функций, описывающих экстремумы. В разработанных методах имеются как качественные, так и количественные оценки риска. Перевод этой книги на русский язык был осуществлён в 1990г [6].

Существует ещё одно направление развития теории риска, возникшее в 80-х годах прошлого столетия, в котором под риском в технике, экономике и финансах стали понимать среднеквадратическое

отклонение исследуемого параметра (технического, экономического, финансового). Этот подход вполне объясним, так как с увеличением среднеквадратического отклонения увеличивается разброс параметра до значения, при котором параметр становится опасным (или недопустимо опасным). Это направление исследований следует считать то же количественной оценкой риска, так как среднеквадратическое отклонение – это уже количественная характеристика опасного параметра. Данный подход используют потому, что чем больше разброс принимаемой величины, тем она опаснее. В экономике и финансах яркими представителями этого направления являются лауреаты Нобелевской премии по экономике 2003г профессора Р. Энгл (США) и К. Гренджер (Великобритания) - авторы теории волатильности (первый) и анализа экономических временных рядов с общими трендами (второй). Понятие волатильность представляет собой среднеквадратическое отклонение (доходности инвестиций, доходности акций, изменения ВВП, потребительских цен, процентных ставок, биржевого курса и др.). Например, высокая доходность (от инвестиций или акций) при малой волатильности лучше, чем такая же высокая доходность (от инвестиций или акций) при большой волатильности. Другими словами надо вкладывать средства (инвестировать, покупать акции) в первом случае и отказываться от вложения средств (инвестировать, покупать акции) во втором случае.

И наконец, начиная с 1982 года, появились работы по оценке риска, основанные на суммировании (композиции) плотностей распределения физически определяемых или измеряемых величин, включая и наши кафедральные публикации [7 – 16].

Математические зависимости теории риска, полученные автором статьи на основе формулы свёртки, представляют собой теоретико-вероятностные модели сравнения между собой среднего значения (A) и среднеквадратического отклонения (σ_A) опасного параметра транспортного сооружения с такими же характеристиками данного параметра (A_{kp} и σ_{Akp}), находящегося в критическом состоянии, при реализации которого риск причинения вреда равен 50% (0,5). При суммировании (интегрировании по формуле свёртки) нормальных, логнормальных распределений и распределений Шарлье в описываемых исследованиях используется функция Лапласа, что приводит к появлению вероятности 0,5 в структуре расчётных формул теории риска. Для случая суммирования нормальных распределений, когда справедливо соотношение $A >> A_{kp}$ формула оценки риска имеет вид:

$$r = 0{,}5 - \Phi\left[\frac{A - A_{kp}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{KP}}^2}}\right], \qquad (1)$$

где $\Phi[u]$ - интегральная функция Лапласа.

Использование в расчётных формулах критического состояния (A_{kp}), при котором вероятность причинения вреда равна 0,5 делает такие формулы более обоснованными и наглядными по сравнению с формулами, в основе которых другие авторы [17, 18], начиная с середины 80-х годов, используют параметр, соответствующий предельному состоянию (A_{np}).

Действительно для любого нежелательного события значению вероятности 0,5 при реализации параметра A_{kp} соответствуют ситуации:

- когда удерживающие силы равны силам сдвигающим, или удерживающие моменты равны моментам сдвигающим;

- когда расстояние до препятствия на дороге равно длине остановочного пути автомобиля, или расстояние видимости на участке дороги равно длине остановочного пути автомобиля;

- когда силы, удерживающие транспортное средство на кривой в плане, при заданной скорости движения и соответствующем коэффициенте сцепления, равны силам сдвигающим;

- когда выгоды от реализуемого проекта равны затратам на его реализацию;

- когда сопротивление материала или грунта сдвигу равно критическому касательному напряжению, и другие равенства фактического и критического параметров, приводящие к вероятности 0,5.

Методы определения критических состояний, основанные на этих равенствах, многообразны (более 50 математических моделей и их алгоритмов разработаны автором) и представляют собой внутренний математический аппарат теории риска, представленный выше в виде заключительной формулы (1). Используя данный подход, по формулам теории риска получают вероятность причинения вреда (риск) пользователям продукцией, имеющей установленные значения параметра: при проектировании дорог это проектное ($A_{пр}$) и/или расчётное ($A_{расч}$) значение и допустимое среднеквадратическое отклонение ($\sigma_A^{доп}$); при строительстве и эксплуатации дорог – среднее значение ($A_{ср}$) и фактическое среднеквадратическое отклонение ($\sigma_A^{факт}$) перенесённого в натуру параметра. При превышении фактического риска над допустимым значением применяют инженерные решения, позволяющие управлять риском в соответствии с требованиями к безопасности продукции, изложенными в законе №184-ФЗ «О техническом регулировании»[1]. Этим

отличаются результаты исследований нашей научной школы от результатов исследований, других авторов, использующих вместо критических состояний предельные состояния, вероятность возникновения которых не установлена [17, 18]. Другими словами, в математических моделях, разработанных рядом зарубежных и российских авторов в середине 80-х годов, при выводе расчётных формул риска и надёжности проектируемого или существующего сооружения используют в формуле свёртки не критический параметр (соответствующий риску 0,5), а предельный параметр, соответствующий предельному состоянию сооружения и, как правило, неизвестному значению риска. В этом случае формулы теории риска получают суммированием закона распределения фактического параметра(A и σ_A) с законом распределения такого же параметра, но находящегося для данного объекта в предельном состоянии ($A_{ПРЕД}$ и $\sigma_{A_{ПРЕД}}$), при этом, как уже отмечалось, – риск реализации предельных параметров не известен. При суммировании нормальных распределений используют интегральную функцию нормального закона $F[u]$, которая приводит к следующей формуле для оценки риска:

$$r = 1 - F\left[\frac{A - A_{пред}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{ПРЕД}}^2}}\right], \qquad (2)$$

При использовании формулы (2) параметр $A_{ПРЕД}$ не определяют расчётом по математическим моделям (их даже не создают), а принимают по ГОСТ Р 54257-2010 без определения вероятности (риска) разрушения конструкции, попавшей в предельное состояние.

В ГОСТ Р 54257-2010 по оценке надёжности указывается, что предельное состояние строительного объекта – это состояние, при

превышении которого его эксплуатация ***недопустима, затруднена*** или ***нецелесообразна***. Можно без больших усилий показать, что каждому из этих состояний соответствуют разные значения риска потери прочности или устойчивости сооружения, которые могут находиться в пределах от 0,5 до 1, апри ***нецелесообразности*** использования сооруженияпредельный риск может оказаться и меньше 0,5. Так, по данным названного нормативного документа существует три группы предельного состояния:

- первая группа предельного состояния – это ***предел несущей способности*** (в этой группе риск потери прочности предельного состояния (обладающего параметрами $A_{пред}$ и $\sigma_{A_{ПРЕД}}$) ближе к единице, чем к 0,5);

- вторая группа предельного состояния, – это ***предел нормальной эксплуатации*** сооружения (в этом случае риск для предельного состояния (для закона распределения с параметрами $A_{пред}$ и $\sigma_{A_{ПРЕД}}$) ближе к 0,5, чем к единице, и может быть несколько меньше 0,5);

- третья группа – это ***предел особого состояния*** – возникает при особых воздействиях, сочетаниях нагрузок и ситуациях, при которых разрушение сооружения сопровождается катастрофическими последствиями (здесь риск потери прочности или устойчивости предельного состояния (для параметров) стремится к единице и наиболее удалён от 0,5).

Другими словами само предельное состояние в формуле (2) имеет плавающее или ***не установленное значение риска***, относительно которого определяется риск причинения вреда для сооружения с проектными (расчётными) или фактическими параметрами A и σ_A относительно параметров, опасность (риск) которых не известна $A_{пред}$ и $\sigma_{A_{ПРЕД}}$. Следовательно, установленный по формуле (2) риск может значительно

отличаться от действительного значения. В нашем подходе к оценкам риска этого ни когда не происходит, что выгодно отличает наши исследования и их результаты от исследований и результатов других отечественных и зарубежных авторов, разрабатывающих и применяющих теорию риска в различных областях деятельности.

Установленный по формуле (1) риск:

- стремится к нулю при параметре A значительно больше параметра A_{kp} (при $A >> A_{kp}$ и $\sigma_A \le \sigma_{A_{kp}}$);

- равен 50% при равенстве параметра A параметру A_{kp} (при $A = A_{kp}$);

- стремится к единице при параметре Aзначительно меньше параметра A_{kp} (при $A << A_{kp}$ и $\sigma_A \ge \sigma_{A_{kp}}$).

Получены формулы теории риска и для случая, когда справедливо обратное соотношение параметров $A << A_{kp}$. Например, это соотношение справедливо, когда напряжение в конструкции должно быть меньше критического напряжения, при котором риск разрушения равен 50%.

Кроме этого формулы теории риска получены для композиции разных законов распределения фактического и критического параметров: нормального и нормального; логнормального и логнормального; гамма распределения и гамма распределения; распределения Шарлье и распределения Шарлье и их взаимных композиций: нормального и логнормального; нормального и Шарлье; нормального и равномерного (равновероятного) распределений. Например, при оценке риска поломки ходовых частей автомобиля, движущегося по неровному покрытию с заданной (расчётной) скоростью, применимы скошенные влево распределения. Применение скошенных распределений вызвано тем, что мелкие по высоте неровности покрытия встречаются чаще, чем высокие

(крупные) неровности. Это приводит к интегрированию (композиции) логнормальных распределений. На скользких (обледенелых) покрытиях для определения риска скольжения автомобиля интегрировались нормальное распределение с равновероятным распределением (скольжение автомобиля на гололёде имеет равновероятное распределение относительно оси движения).

Перечислю основные риски, которыми преподаватели и сотрудники кафедры ТСТ умеют управлять (снижать до допустимых значений) в вопросах сохранения прочности и устойчивости конструкцийпри проектировании, строительстве и эксплуатации дорог:

- риск (темп) разрушения дорожной одежды и прогноз соответствующего ему фактического срока службы конструкции;

- риск нарушения сплошности (образования трещин) монолитных слоёв дорожной одежды при изгибе;

- риск возникновения сдвига в несвязных слоях земляного полотна и дорожной одежды;

- риск несвоевременного распада битумных эмульсий при строительстве дорожных одежд нежёсткого типа;

- риск потери прочности и устойчивости дорожной конструкции при строительстве дорог на слабом основании;

- риск обрушения откосов высоких насыпей и глубоких выемок земляного полотна при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог;

- риск потери устойчивости опор мостового перехода во время паводка или половодья и под действием ледовой нагрузки;

- риск разрушения дорожных конструкций в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов;

- риск образования пучин при промерзании дорожных конструкций;

- риск недостаточного уплотнения земляного полотна относительно требуемого уровня надёжности;

- риск разрушения дорожной конструкции при отсыпке земляного полотна из засолённых грунтов;

- риск потери устойчивости насыпи на косогоре;

- риск потери устойчивости слабого основания под телом земляного полотна;

- суммарный риск разрушения конструкций в зависимости от ошибок проектирования, качества строительства и содержания сооружения в период эксплуатации.

Литература

1. Федеральный Закон № 184-ФЗ. О техническом регулировании. – Введ. 2002–27–12. – М. : изд-во Омега-Л, 2009. – 56с.

2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности /Я.Б. Шор. М.: Госэнергоиздат, 1962. – 552 с.

3. Ермолаев Н.Н. Надёжность оснований сооружений /Н.Н. Ермолаев, В.В. Михеев. Л.: Стройиздат, 1976. – 152 с.

4. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] /И.А. Рябинин. –СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.

5. Абчук В.А. Теория риска в морской практике [Текст] /. В.А. Абчук. -Л.: Судостроение, 1983.-152с.

6. Мушик Э. Методы принятия технических решений. [Текст] /. Э. Мушик, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 206с.

7. Столяров В.В. Проектирование пересечений автомобильных дорог в разных уровнях с учётом закономерностей движения

транспортных потоков: дис. … канд. техн. наук /В.В. Столяров – Москва, 1984. – 148с.

8. Столяров В. В. Анализ риска реализации транспортных проектов по уровню окупаемости [Текст] / В.В. Столяров // Автомобильные дороги, №1-2. М.: 1995. С. 27-31.

9. Столяров В. В.Проектирование автомобильных дорог по условию обеспечения безопасности движения с использованием теории риска: дис. … докт. техн. наук /В.В. Столяров – Москва, 1995. –337с.

10. Столяров, В. В. Риск разрушения и срок службы конкретных конструкций дорожных одежд нежесткого типа [Текст] /В.В. Столяров // Обеспечение надежности дорожных конструкций и автомобильных дорог при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Санкт-Петербург: Академия тыла, 1993. – С. 21-22.

11. Столяров В.В. Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: монография /В.В. Столяров, А.П. Бажанов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.

12. Столяров, В. В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: монография в 2-х частях [Текст] /В. В. Столяров; Сарат. гос. техн. ун-т. - Саратов : СГТУ, 1994. Ч.1. – 184с.

13. Столяров, В. В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: монография в 2-х частях [Текст] /В. В. Столяров ; Сарат. гос. техн. ун-т. - Саратов : СГТУ, 1994. Ч. 2. - 232 с.

14. Кокодеева Н.Е. Методологические основы комплексной оценки надёжности автомобильных дорог в системе технического регулирования дорожного хозяйства:дис. … докт. техн. наук /Н.Е. Кокодеева – Санкт-Петербург, 2012. –340с.

15. Кокодеева, Н.Е. Принципы технического регулирования при проектировании дорожных одежд нежесткого типа с применением геоматериалов (на основе теории риска) [Текст] /Н. Е. Кокодеева // Строительные материалы, №1– 2011.- С. 25-28.

16. Щёголева Н.В. Риск потери информации как обобщённая характеристика водителя при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог: автореф. дис. … канд. техн. наук /Н.В. Щёголева - Волгоград –2006. – 24с.

17. Синицын, А.П. Расчет конструкции на основе теории риска. [Текст] / А.П. Синицын.– М.: Стройиздат, 1985.-304с.

18. Аугусти Г. Вероятностные методы в строительном проектировании. [Текст] /. Г.Аугусти, А.Баратта, Ф.Кашмати. – М.: Стройиздат, 1988.-584с.

© Столяров В.В., 2017

УДК 153.525:681.3

Субботин А.И.
профессор, кандидат технических наук
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск
Субботин В.А.
аспирант
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск
Субботин И.А.
магистрант
Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ ДОМОВ – ОШИБКИ И ПОСЛЕДСТВИЯ

DEFECTS IN RESIDENTIAL BUILDINGS DESIGN- ERRORS AND CONSEQUENCES

Аннотация. В статье приводятся результаты ПРОВОДИМЫХ обследований по выявлению наиболее распространённых ошибок, которые допускают застройщики при строительстве жилых домов, а также дается анализ причин их проявления.

Ключевые слова: обследование строительных конструкций, просадка грунта, деформации, кирпичная кладка, деформационные швы, железобетонный каркас, перекрытия, трещины, дефекты, обрушение.

Abstract. The article presents the results of the conducted surveys to identify the most common mistakes that developers allow in the construction of residential houses, as well as an analysis of the reasons for their manifestation.

Key words: inspection of building structures, subsidence, deformation, brickwork, expansion joints, reinforced concrete frame, overlapping, cracks, defects, collapse.

Современные методы строительства и передовые конструкционные материалы позволяют развивать в строительной отрасли новые инновационные технологии, снижающие себестоимость и сроки строительства. Сегодня наиболее массовым является монолитное домостроение. Монолитные бетонные и железобетонные конструкции находят все более широкое применение при строительстве гражданских зданий, особенно многоэтажных и высотных, поэтому большое разнообразие применяемых технологий возведения зданий в монолитном

домостроении и их совершенствование является нормой для строительной индустрии.

Не менее важно относиться и к качеству кирпичной кладки, несмотря на то, что современные технологии далеко шагнули в конструировании самонесущих стен с применением энергоэффективных решений. Наружная верста кирпичных самонесущих стен зачастую выполняется из декоративного облицовочного кирпича, создавая определенную цветовую гамму и индивидуальность фасаду здания.

Несмотря на известность существующих технологий строительства зданий с самонесущими стенами, при производстве каменных работ возникают проблемы, которые требуют особого подхода к их решению. Достаточно глубоко данные проблемы исследовались специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [1].

Ярким примером «забывчивости» давно «известного» является появление дефектов в облицовочном слое кирпичной кладки фасадов при строительстве зданий жилого квартала в микрорайоне «Октябрьский» в г. Новочеркасске Ростовской области (рис. 1).

Рис. 1. Общий вид обследуемых зданий жилого квартала в микрорайоне «Октябрьский» в г. Новочеркасске

При обследовании наружных поверхностей фасадов зданий были выявлены следующие характерные дефекты наружного декоративного слоя кирпичной кладки стен:

- отслоение декоративного слоя кирпичной кладки в уровне перекрытий этажей (с 1-го по 6-й этажи) (рис. 2);

- вертикальные и наклонные трещины на различных участках наружных кирпичных стен зданий шириной раскрытия от 0,5 мм до 3 мм (рис. 3).

Рис. 2. Разрушение материала кирпичной кладки стены фасада в уровне перекрытия

Рис. 3. Вертикальная трещина шириной раскрытия до 3 мм стены фасада. Разрушение материала кирпичной кладки

Согласно проектной документации по конструктивной схеме все здания запроектированы с монолитным железобетонным каркасом и самонесущими кирпичными стенами. Кладка наружных стен предусмотрена эффективной из наружного декоративного слоя толщиной 120 мм из облицовочного кирпича, слоя утеплителя и внутреннего слоя из легкобетонных блоков. Устойчивость стены обеспечивается работой внутреннего слоя. Наружный и внутренний слои кладки стены между собой крепятся гибкими связями, а опирание облицовочного слоя

осуществляется на стальной уголок, приваренный к закладным деталям на торцах монолитных железобетонных перекрытий.

При обследовании установлено, что причиной разрушения кирпича лицевого слоя в уровне перекрытий явилось отсутствие горизонтальных деформационных швов, которые должны были выполнены в соответствии с требованиями СП 15.13330.2012 [2] для компенсации разности вертикальных деформаций наружного и внутреннего слоев наружных стен, прогиба перекрытий каркаса здания (рис. 4).

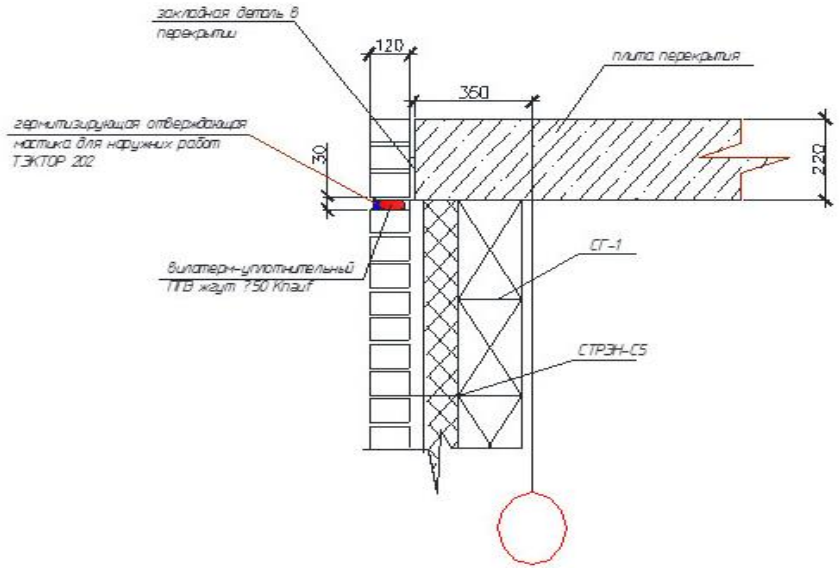


Рис. 4. Узел устройства горизонтальных деформационных швов в лицевом слое из кирпичной кладки

Согласно п. 9.83 [2] горизонтальные деформационные швы в наружных ненесущих стенах должны выполняться в уровне нижней грани междуэтажных плит перекрытий на всю толщину стены толщиной не менее 30 мм. Однако указаний по устройству горизонтальных швов проектом не было предусмотрено, и строители их не выполнили. Из-за того, что горизонтальные швы в кладке обследуемых зданий отсутствовали, нагрузка на кирпичную кладку этажа суммируется по мере его расположения относительно выше расположенных. По результатам

выполненных поверочных расчетов установлено, что кирпичная кладка нижних этажей зданий жилого комплекса находится в перегруженном состоянии, что и привело к разрушению материалов кирпичной кладки на локальных участках стен первых шести этажей (рис. 2, 3).

Также одной из причин разрушения кирпича лицевого слоя является несоответствие прочностных характеристик облицовочного кирпича ОАО «КЕРАМИН» заявленным эксплуатационным характеристикам. По результатам лабораторных испытаний отобранных образцов кирпича керамического лицевого пустотелого утолщенного КУЛПу-1,4НФ/150/1,2/50 ГОСТ 530/2007, проведенного в строительной лаборатории НИИ "Строительные технологии" ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, его марка по прочности при сжатии соответствует марке М100 по ГОСТ 530-2012, что соответствует проектным решениям, однако в процессе испытания кирпича на прочность при сжатии при нагрузке 2,0 МПа наблюдалось разрушение ангобированного слоя и его отслаивание при сохранении целостности основного тела кирпича. Это свидетельствует о резком отличии прочностных свойств черепка собственно кирпича и его лицевого слоя (ангоба) из-за отличия технологических свойств используемых масс (спекаемости) (рис. 5).

Рис. 5. Лабораторные испытания прочности облицовочного кирпича. Разрушение облицовочного слоя при нагрузке 2,0 МПа

Что касается образования и раскрытия вертикальных и наклонных трещин в лицевом слое из кирпичной кладки, тут имеет место отсутствие вертикальных деформационных швов для компенсации температурно-влажностных деформаций, усугубленное отсутствием горизонтальных деформационных швов. Согласно СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*» в лицевом слое из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий должны быть предусмотрены вертикальные деформационные швы. Устройство вертикальных швов также не было предусмотрено проектными решениями.

Однако ошибки присущи не только многоэтажному строительству, в частном домостроении их гораздо больше из-за отсутствия жестких требований к наличию проектной документации и контроля за технологией ведения кладочных и бетонных работ.

Характерным примером является нарушение технологии устройства монолитного железобетонного безбалочного перекрытия при строительстве частных домов с кирпичными несущими стенами. Конструкция монолитного безбалочного перекрытия достаточно проста в исполнении, но сложна в конструировании. Вследствие неправильного армирования монолитное перекрытие провисает, в нем появляются хаотично располагающиеся трещины (рис. 6), а в облицовочном слое кирпичной кладки в уровне плиты начинают появляться горизонтальные трещины отрыва (рис. 7) вследствие того, что кирпичную кладку зачастую используют как опалубку для монолитной плиты перекрытия, которая прогнувшись, своим торцом отрывает кирпичную кладку, приклеившуюся при бетонировании (рис. 8).

Рис. 6. Хаотично расположенные трещины в монолитном железобетонном безбалочном перекрытии частного жилого дома

Рис. 7. Горизонтальные трещины отрыва в наружной кирпичной стене частного жилого дома

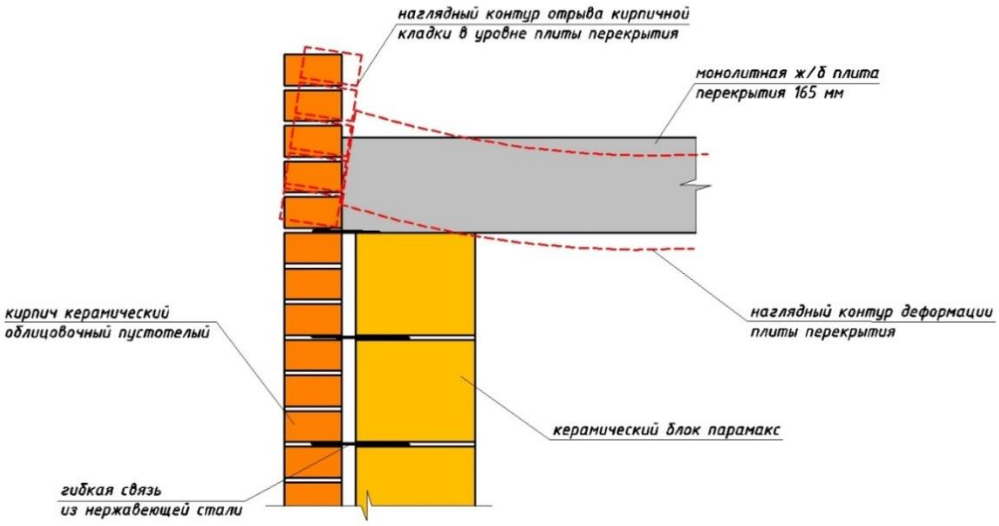


Рис. 8. Деформация плиты перекрытия первого этажа вместе с частью кирпичной кладки наружной версты

Литература

1. М.К. Ищук Российский опыт возведения наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки. Технологии строительства. Выпуск 2 (64). М. 2009 г.

2. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*».

© Субботин А.И., Субботин В.А., Субботин И.А., 2017

УДК 539;691

Талпашева Д.Р.
студент
Артамонова Е.Н.
доктор технических наук, профессор,
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

О ПРИНЦИПАХ ВРЕМЕННЫХ ЭТАПОВ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

ON THE PRINCIPLES OF THE TIME STEPS OF THE DURABILITY

OF VISCOELASTIC MATERIALS

Аннотация. Обсуждаются подходы к оценкепрочностных свойств вязкоупругих материалов с учетомвременных факторов долговечности,т.е. конечного времени эксплуатации элементов подвоздействием напряжений, меньших предела прочности.

Ключевые слова: вязкоупругие свойства, длительная прочность, ползучесть, долговечность

Abstract. Approaches to the evaluation of the strength properties of viscoelastic materials are considered, taking into account the temporal factors of durability, i.e. the finite time of operation of the elements under the influence of stresses, less than the strength limit.

Keywords: viscoelastic properties, long-term strength, creep, durability

Для оценки прочностной надежности строительных конструкций комплексной характеристикой их материалов является долговечность (способность в течение всего времени эксплуатации сохранять проектные качества при воздействии внешних и внутренних факторов среды). Но с течением времени происходит падение прочности материалов [1, с.24] в условиях воздействия комплекса факторов, реально воздействующих на конструкцию (проблема длительной прочности), и определение закономерностей изменения численных значений свойств физических систем, исходя из общих принципов, является одной из главных проблем механики поврежденной среды. Особенностью расчета долговечности конструкционных материалов является учет параметра времени t, т.е. долговечность элемента под воздействием окружающей среды (время до разрушения t_p)—функция t. Построение математических выражений для

данной временной функции способствует осуществлению цели строительных технологов — увеличению долговечности конструкции и, соответственно, следовать основным принципам изменения во времени длительной прочности, т.е. способности конструкционного материала сохранять в период всего времени эксплуатации на допустимом уровне его структурные параметры, сложившиеся в предэксплуатационный (технологический) период. В действительности полная деформация элемента при действии внешних сил, формируется в течение всего эксплуатационного промежутка времени, и таким образом, все материалы обладают свойством вязкоупругого (наследственного) старения, т.е. физико-механические характеристики со временем меняются, поэтому необходим учет временных процессов, протекающих в элементах конструкций в период эксплуатации для совершенствования методов их расчета. Наиболее универсальными соотношениями, определяющими поведение материала с учётом зависимости от истории нагружения и процесса разрушения, т.е. реального реологического поведения материалов и процесса структурных превращений являются интегральные уравнения вязкоупругости [2, с. 57].

Анализ результатов экспериментов с применением новых подходов (лазерная интерферометрия) позволило исследовать кинетику деформаций на микроскопическом уровне и получить ряд новых представлений [3, с. 221]. Так, температурная зависимость процессов деформирования и разрушения характеризуется одним и тем же значением энергии активации, но различным для различных вязкоупругих полимеров. Эта же энергия активации характерна и для процессов релаксации в эластомере, наблюдаемых на спектрах времен релаксации. Данная закомерность, объясняющая механизмы процессов деформации и разрушения материалов

одними и теми же процессами перестройки и разрушения надмолекулярных структур, позволяет сформулировать общую математическую теорию деформационной релаксации и разрушения полимеров со временем, т.к., процесс разрушения полимерных композитов (и других) материалов носит не критический характер, а протекает во времени из-за нарастающего разрыва межмолекулярных связей, активируемым воздействием внешних сил и среды, и накопления подобных разрывов со временем.

В данной работе рассматривается модель для вязкоупругой поврежденной среды (с учетомее обобщенных критериев предельного напряженно-деформированного состояния) состоящая из трёх взаимосвязанных компонентов: уравнений, определяющих вязкоупругое поведение материала с учётом зависимости от процесса накопления повреждений во времени; уравнений кинетики накопления повреждений ω(t) (деградации), критерия условия прочности повреждённого материала. Определяющие соотношения представлены уравнениями состояния вязкоупругой средынаследственного типа в виде интегральных уравнений Вольтера II-рода. Уравнения кинетики накопления повреждений ω(t) построены исходя из положения, что деградация физико-механических свойств ω(t) – процесс, зависящий от истории изменения напряженно-деформированного состояния во времени. Результаты исследований по расчету длительной прочности элементов из нелинейных вязкоупругих материалов в соответствии с предложенной моделью, приведенные в работах авторов [7, с.100-101], [8, с.33-35], позволяют подтвердитьвыводы о том, что во всем временном периоде долговечности материалов условно можно выделить три временных интервала: 1. На первом этапе эксплуатации элементов наблюдается упрочнение структуры; 2. Второй

этап характеризуется их практической стабильностью; 3. А вот третий - деградацией, т. е. накоплением повреждений во времени вплоть до критического $t_{p.}$

Подобные выводы приводят к новым *принципам*расчета конструкционных элементов — учету временного фактора, т.е. конечного времени эксплуатации объекта при действии напряжения, меньшего предела прочности. Таким образом, расчет элементов рациональнее вести обратным путем: подвергая их структурной модификации различными методами продлить продолжительность каждого из трех составляющих и взаимосвязанных временных этапов долговечности, особенно первых двух (упрочнения и стабильности), добиваясь также удлинения времени третьего этапа деградационных процессов.

Литература

1. Morozov N., Petrov Y. Dynamics of fracture. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verla, 2000. 120 p.

2. Е. В. Ломакин, Т. А. Белякова, Ю. П. Зезин. Нелинейное вязкоупругое поведение наполненных эластомерных материалов //Изв. Сарат. ун-та. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2008. Т.8. С.56-65.

3. S. ThomasS., etc. (eds.) Characterization of polymer blends. Miscibility, Morphology and Interfaces. Weinheim: Wiley-VCH, 2015, 994 p.

4. Пальмов В.А. Фундаментальные законы природы в нелинейной термомеханике деформируемых тел. СПб: Изд-воСПбГПУ, 2008. 143 с.

5. Christensen R.M. Mechanics of Composite Materials. New York: Dover Publications, 2012. 384 p.

6. А.А. Аскадский, М.Н. ПоповаСтруктура и свойства полимерных строительных материалов. Москва: МГСУ, 2013. 203 с.
7. Artamonova E.N. Relations inn online arviscoelasticity// Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции, 31 августа 2016 г. Москва: ИПТуголуковА.В. 2016. С.99-101.
8. Artamonova E., Shatokhina S. Relations in viscoelasticity//Peer-reviewed materials digest (collective monograph) published following the results of the CXXX International Research and Practice Conference and II stage of the Championship in Technical sciences, Architecture and Construction (London, September 13 – September 19, 2016). London: International Academy of Science and Higher Education.2016.P. 32-35.

© Талпашева Д.Р., Артамонова Е.Н., 2017.

УДК 624.016
УДК 539.3: 624.042

Трещев А.А.,
доктор технических наук, профессор,
Тульский государственный университет, РФ
Цветкова А.Б.
магистрант,
Тульский государственный университет, РФ

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ ПЛАСТИН С УЧЕТОМ КИНЕТИКИ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

ELASTOPLASTIC TRANSVERSE BENDING OF PLATES TAKING INTO ACCOUNT THE KINETICS OF THE AGGRESSIVE MEDIUM

Аннотация. С использованием гипотез Кирхгофа исследован поперечный изгиб тонких прямоугольных пластин из титановых сплавов,

подверженных насыщению активным водородом. В рамках классического подхода учтены упругие свойства материалов, а изменение их пластических характеристик в процессе насыщения водородом рассмотрены по образу теории наведенной чувствительности к виду напряженного состояния.

Ключевые слова: пластичность, насыщение водородом, пластина, изгиб, изменение пределов текучести.

Abstract. Using the Kirchhoff hypotheses investigated the transverse bending of thin rectangular plates of titanium alloys exposed to saturation of the active hydrogen. In the classical approach considered the elastic properties of materials, and a change in their plastic characteristics in the process of saturation with hydrogen is considered by way of the theory of induced sensitivity to mean stress state.

Key words: plasticity, saturated with hydrogen, plate bending, the change in the yield stress.

Абсолютно все конструкции зданий и сооружений, детали машин и аппаратов эксплуатируются не в изолированных пространствах, наполненных вакуумом или инертными газами, а в средах, которые зачастую проявляют физико-химическую агрессию по отношению к материалам этих конструкций. Такие среды обычно называют агрессивными или активными, так как они могут проникать во внутрь кристаллической решетки конструкционных материалов и менять их прочностные и жесткостные характеристики. Это обстоятельство приводит к тому, что срок безаварийной эксплуатации конструкций значительно снижается и разрушение может произойти при значительно меньших нагрузках [1]. Еще серьезнее обстоит дело с конструкциями

высокоточных вооружений, так как изменение физико-механических свойств их материалов в процессе применения может привести к серьезным трагедиям. Конечно, кинетика механических параметров конструкционных материалов зависит от конкретной пары «СРЕДА – МАТЕРИАЛ». В частности, широкое распространение в настоящее время получили конструкции из титановых сплавов, которые подвергаются агрессии со стороны активного водорода, который постепенно меняет их пределы текучести и прочности. Причем это влияние преимущественно проявляется при таких напряженных состояниях, где в той или иной мере присутствует растяжение [2]. Данное обстоятельство объясняется тем, что титановые сплавы в естественном состоянии не обладают зависимостью механических характеристик от вида напряженного состояния, а в процессе проникновения водорода в кристаллическую решетку приобретают таковую, которая развивается преимущественно в области пластических деформаций. Эту изменчивость принято называть наведенной разносопротивляемостью. Установлено, что водородная среда так меняет характерные пределы текучести титановых сплавов, что применение к ним классических условий пластичности Губера-Мизеса-Генки или Треска-Сен-Венана становится некорректным [3, 4]. Подобная ситуация проявляется при деформировании тонких пластин и оболочек.

В данной работе предложена модель упругопластического деформирования тонких пластин из материалов, проявляющих свойства наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния в процессе насыщения активным водородом только за пределами упругости. Для примера рассмотрен расчет квадратной пластины, изготовленной из титанового сплава ВТ14 и загруженной равномерно распределенной нагрузкой при свободном опирании по всему контуру.

Учитывая, при решении данной задачи классические условия пластичности не работают, в основу разрабатываемой модели был положен критерий пластичности предложенный и апробированный в работах [3, 4]:

$$F(\sigma_{ij}, C) = \tau \cdot f(\xi, C) = k_\tau(C), \qquad (1)$$

где C – степень концентрации водорода в структуре сплава по объему, это функция, зависящая от времени и положения в пространстве $C = C(x, y, z, t)$; $f(\xi, C)$ – функция, определяющая зависимость свойств сплава от вида напряженного состояния и степени концентрации водорода в его структуре; $k_\tau(C) = \sqrt{2/3}\tau_s(C)$; $\tau_s(C)$ – предел текучести, определенный из опытов на чистый сдвиг, так, что $f(0, C) = 1$ и $f(\xi, 0) = 1$

По результатам обработки экспериментальных данных о пределах текучести исследуемого сплава при сложных видах напряженного состояния [4], функция влияния $f(\xi, C)$ принята в виде [3]:

$$f(\xi, C) = b_1(C) + b_2(C) \cdot e^{b_3(C)\xi}, \qquad (2)$$

где $b_1(C)$, $b_2(C)$, $b_3(C)$ – функциональные параметры, определяющие изменения свойств материалов под влиянием кинетики водорода [3, 4].

Обработка экспериментальных данных для титанового сплава ВТ14 производилась из опытов по определению пределов текучести при плоском напряженном состоянии, приведенных и в работе [2]. Задача поперечного изгиба пластин решалась в рамках теории малых упругопластических деформаций. Для решения рассматриваемой задачи были предложены дополнительные гипотезы: а) применялись классические подходы технической теории изгиба пластин Кирхгофа–Лява; б) считалось, что диаграммы деформирования сплава обладают площадкой текучести и к нему можно применить концепцию идеально

упругопластического материала; в) поперечное нагружение пластины при активной деформации принималось пропорциональным.

В процессе нагружения пластины с ростом нагрузки проявляются три характерных стадии деформирования пластины: а) первая стадия возникновения и развития упругих деформаций; б) вторая стадия упругопластического деформирования с появлением односторонней пластичности; в) третья стадия упругопластического деформирования с возникновением двусторонней пластичности.

Независимо от физико-механических свойств сплава остаются справедливыми классические дифференциальные уравнения равновесия пластин [5]:

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial x_1}+\frac{\partial M_{12}}{\partial x_2}-Q_1=0;\ \frac{\partial M_{12}}{\partial x_1}+\frac{\partial M_{22}}{\partial x_2}-Q_2=0;\ \frac{\partial Q_1}{\partial x_1}+\frac{\partial Q_2}{\partial x_2}-q=0. \qquad (3)$$

Для первой стадии деформирования геометрические зависимости принимаем в виде:

$$e_{11}=z\cdot\mu_1;\ e_{22}=z\cdot\mu_2;\ e_{12}=z\cdot\mu_{12}, \qquad (4)$$

где $\mu_1=-\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}$; $\mu_2=-\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}$; $\mu_{12}=-\frac{\partial^2 w}{\partial x_1\ \partial x_2}$; e_{ij} – компоненты относительной деформации пластины; w – перемещения пластины в ортогональном направлении к срединной поверхности (прогибы); z – координата, измеряемая в направлении прогибов пластины.

Уравнения связи усилий в поперечных сечениях пластины с прогибами для первой стадии имеют вид [5]

$$M_{11}=-D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}\right);\ M_{22}=-D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}\right);\ M_{12}=-D\,(1-\nu)\frac{\partial^2 w}{\partial x_1\,\partial x_2};$$

$$Q_1=-D\,\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}+\nu\,\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}\right);\ Q_2=-D\,\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}+\nu\,\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}\right), \qquad (5)$$

где $D=\frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$, E – модуль упругости титанового сплава, а ν – его коэффициент Пуассона, h – толщина пластины.

Из совместного рассмотрения зависимостей (3) – (5) для первой стадии вытекает известное разрешающее уравнение [5]:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x_1^4}+\frac{\partial^4 w}{\partial x_2^4}+2\frac{\partial^4 w}{\partial x_1^2\,\partial x_2^2}=\frac{q}{D}. \qquad (6)$$

По мере роста нагрузки, с появление второй стадии деформирования пластины развивается односторонняя пластичность. При этом в обязательном порядке возникает смещение нейтральных поверхностей пластины от срединной. В результате изогнутая серединная поверхность претерпевает деформации растяжения, сжатия или сдвига, а связи деформаций с перемещениями в сечениях пластины принимают следующую форму

$$e_{11}=\varepsilon_{11}-z\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}\;;e_{22}=\varepsilon_{22}-z\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2};e_{12}=\varepsilon_{12}-z\frac{\partial^2 w}{\partial x_1\partial x_2}. \qquad (7)$$

где $\varepsilon_{11},\varepsilon_{22},\varepsilon_{12}$ – деформации в серединной поверхности пластины.

Уравнения связи напряжений с перемещениями в первой стадии с учетом зависимостей (7) представляются в виде

$$\sigma_{ij}=k_{ij}(r_{ij}-z\cdot\Delta_{ij}),\ (i,j=1,2), \qquad (8)$$

где $k_{11}=k_{22}=E/(1-\nu^2)$; $k_{12}=E/(1+\nu)$; (по индексам не суммировать)

$$r_{11}=\varepsilon_{11}+\nu\cdot\varepsilon_{22};\quad r_{22}=\varepsilon_{22}+\nu\cdot\varepsilon_{11};\quad r_{12}=\varepsilon_{12};$$

$$\Delta_{11}=\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2};\Delta_{22}=\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2};\Delta_{12}=\frac{\partial^2 w}{\partial x_1\partial x_2}.$$

Координаты нейтральных поверхностей c_{ij} (расстояния от срединной до нейтральных поверхностей) определятся из условий:

при $z = c_{ij}$, $\sigma_{ij} = 0 \Rightarrow c_{ij} = r_{ij} / \Delta_{ij}$, (9)

а координаты начала зон пластичности a_{ij} (расстояния от срединной плоскости до зон пластических деформаций):

при $z = a_{ij}$, $\sigma_{ij} = A_{ij} \Rightarrow a_{ij} = \left(k_{ij} \cdot r_{ij} - A_{ij}\right) / \left(k_{ij} \cdot \Delta_{ij}\right)$, (10)

где $A_{ij} = \Phi_{ij}(F)$.

Параметры r_{ij} вычисляются исходя из гипотезы малых прогибов об отсутствии в срединной поверхности усилий $N_{ij} = 0$:

$$N_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} dz = \int_{-h/2}^{a_{ij}} \sigma_{ij} dz + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} dz = 0 \Rightarrow \; P_1 \cdot r_{11}^2 + V_1 \cdot r_{11} + U_1 = 0;$$

$$P_2 \cdot r_{22}^2 + V_2 \cdot r_{22} + U_2 = 0; \; P_3 \cdot r_{12}^2 + V_3 \cdot r_{12} + U_3 = 0. \quad (11)$$

Множители P_k, V_k, U_k определяются через ранее вычисленные параметры. Очевидно, что для второй стадии деформирования пластины имеем

$$M_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} z dz = \int_{-h/2}^{a_{ij}} \sigma_{ij} z dz + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} z dz \Rightarrow M_{ij} = C_{ij} + D_{ij} \cdot \Delta_{ij}. \quad (12)$$

где $C_{ij} = (h^2/4 - a_{ij}{}^2) \cdot (k_{ij} \cdot r_{ij} - A_{ij}{}^2)/2; D_{ij} = -k_{ij} \cdot \left(a_{ij}^3 + h^3/8\right)/3.$

Используя зависимости (12) с учетом представлений (3), (7), (8) получим разрешающее дифференциальное уравнение для упругопластической стадии работы пластины при развитии односторонней пластичности (стадия 2)

$$D_{11} \frac{\partial^2}{\partial x_1{}^2} \Delta_{11} + D_{22} \frac{\partial^2}{\partial x_2{}^2} \Delta_{22} + 2 D_{12} \frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} \Delta_{12} = q. \quad (13)$$

С ростом нагрузки и развитием пластических деформаций по толщине пластины, в отдельных ее зонах могут возникнуть пластические деформации в противоположных волокнах, а пластина перейдет во 3-ю

стадию - упругопластического деформирования с двусторонней пластичностью. В третьей стадии уравнения (7) – (10) остаются справедливыми.

Положение точек начала развития второй зоны пластичности b_{ij} (расстояния от срединной поверхности до второй области пластических деформаций), определяется из условий:

$$\text{при } z = b_{ij}\ , \sigma_{ij} = B_{ij} \Rightarrow b_{ij} = \frac{k_{ij} \cdot r_{ij} - B_{ij}}{k_{ij} \cdot \Delta_{ij}}. \qquad (14)$$

По аналогии со второй стадией деформирования пластины имеем уравнения для параметров r_{ij}

$$N_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{ij} dz = \int_{b_{ij}}^{a_{ij}} \sigma_{ij} dz + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} dz + \int_{-h/2}^{b_{ij}} B_{ij}\, dz = 0 \Rightarrow r_{11} = \frac{A_{11} + B_{11}}{2k_{11}} - \frac{A_{11} + B_{11}}{A_{11} - B_{11}} \cdot \frac{h}{2} \Delta_{11};$$

$$r_{22} = \frac{A_{22} + B_{22}}{2k_{22}} - \frac{A_{22} + B_{22}}{A_{22} - B_{22}} \cdot \frac{h}{2} \Delta_{22},\ r_{12} = \frac{A_{12} + B_{12}}{2k_{12}} - \frac{A_{12} + B_{12}}{A_{12} - B_{12}} \cdot h \cdot \Delta_{12}. \qquad (15)$$

Зависимости моментов от перемещений в этой стадии имеют вид

$$M_{ij} = \int_{-h/2}^{b_{ij}} B_{ij} z dz + \int_{b_{ij}}^{a_{ij}} \sigma_{ij} z dz + \int_{a_{ij}}^{h/2} A_{ij} z dz \Rightarrow M_{ij} = R_{ij} + F_{ij} \cdot \Delta_{ij}. \qquad (16)$$

Используя зависимости (16), (3), (7), (8) получим разрешающее дифференциальное уравнение изгиба пластины для третьей стадии деформирования пластины с развитием двусторонней пластичности

$$F_{11} \frac{\partial^2}{\partial x_1^{\,2}} \Delta_{11} + F_{22} \frac{\partial^2}{\partial x_2^{\,2}} \Delta_{22} + 2F_{12} \frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} \Delta_{12} = q, \qquad (17)$$

где $F_{ij} = -k_{ij}(a_{ij}^{\,3} - b_{ij}^{\,3})/3.$

На каждой из трех стадий деформирования пластины к разрешающим уравнениям необходимо добавить граничные условия. Так при свободном опирании пластины по контуру имеем:

$$w = 0; \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} = 0. \qquad (18)$$

Комплект уравнений (6), (13), (17) и (18) представляет собой замкнутую математическую модель деформирования пластин на всех стадиях работы материала вплоть до образования пластических шарниров (до разрушения).

Для решения уравнений (13), (17) используем МКР второго порядка точности в сочетании с процедурой переменных параметров упругости по мере роста нагрузки. Для конкретной задачи примем толщину квадратной пластины равной 0,08 м, а размеры ее в плане – 1×1 м. План пластины представим сеткой 20×20 ячеек. С учетом различных условий эксплуатации рассмотрим задачу в двух вариантах: 1) деформирование пластины, насквозь насыщенной водородом; 2) деформирование пластины с учетом временного параметра, то есть в процессе диффузии водорода в ее тело.

Деформирование пластины насквозь насыщенной водородом. Вначале исследовалось деформирование пластины без влияния водородной среды ($C = 0$ %), а затем – пластины, насыщенной водородом на всю толщину с учетом различных концентраций водорода ($C > 0$). Для удобства было введены безразмерные величины моментов и прогибов с учетом параметров:

$$M_S = k_\tau(C) \cdot W \text{ и } w_S = 100 \cdot D/(M_S \cdot l^2),$$

где D – цилиндрическая жесткость, $W = h^2/6$ – упругий момент сопротивления изгибу; l – длина пластины.

В результате решения задачи обнаружено, что предельная нагрузка, определяемая образованием пластических шарниров при исходном

состоянии пластины (при отсутствии водорода), больше чем аналогичная нагрузка при концентрации $C = 0{,}12\,\%$ на 32% (рис. 1). При упругом деформировании зависимость максимальных прогибов от интенсивности поперечной нагрузки при отсутствии водорода и при его наличии независимо от его концентрации совпадают. Однако при развитии пластических деформаций аналогичные зависимости, полученные при расчете пластины в исходном состоянии и при полностью насыщенной водородом существенно различаются и с ростом нагрузки эта разница увеличивается.

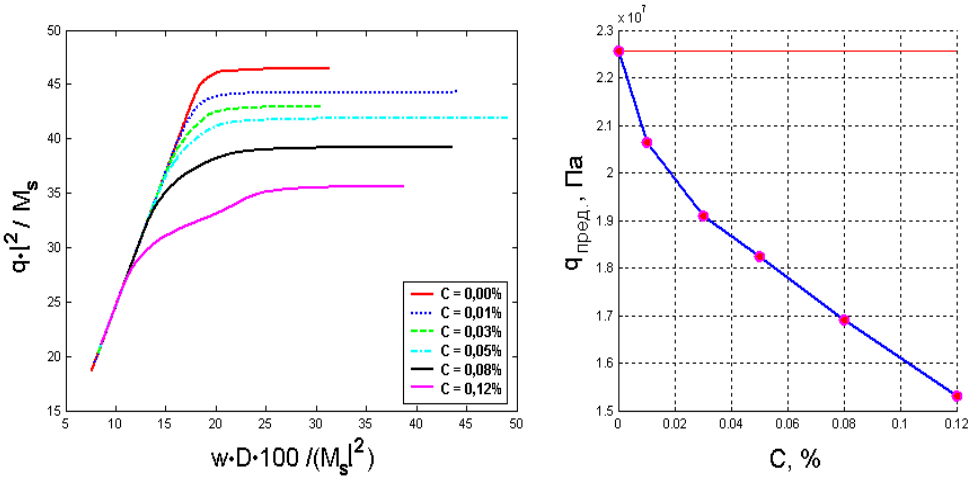


Рис. 1. Зависимость прогибов в центре пластины от интенсивности поперечной нагрузки и предельные нагрузки при разном уровне насыщения водородом

Деформирование пластины в процессе насыщения водородом с учетом временного фактора. В этом варианте задачи представляет особый практический интерес. Изначально принималось исходное состояние материала пластины с нулевой концентрацией водорода, а затем на определенном этапе нагружения (в основном, когда начинают развиваться пластические деформации) подводится водородосодержащая среда на поверхности пластины с концентрацией водорода $C = 0{,}05\,\%$, рост

нагрузки останавливается и конструкции выдерживается в таком состоянии продолжительное время (меняется временной параметр – число Фурье). Уровень насыщения водородом материала пластины в конкретной точке в текущий момент времени определяется из второго закона Фика в одномерной форме:

$$C_{,t} = D_0 C_{,ZZ}\,, \tag{19}$$

где $D_0 = const$ – коэффициент диффузии водорода в структуру титанового сплава.

Кинетическое уравнение (19) в случае двусторонней диффузии имеет известный вид:

$$C(z,\,t) = C_\infty - \frac{4C_\infty}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{2n+1}\cos\left[\frac{(2n+1)\pi z}{h}\right]e^{-F_o\pi^2(2n+1)^2}\,, \tag{20}$$

где C_∞ – равновесная концентрация водорода на поверхности, $F_0 = D_0 t / h^2$ – число Фурье.

Рис. 2 показывает, что функция прогибов с увеличением глубины проникновения водорода в структуру пластины меняет кривизну и градиент ее увеличивается, приобретая тенденцию к резкому возрастанию (при образовании пластического шарнира). Как следует из рис. 2 разрушение пластины под воздействием насыщения водорода может произойти через некоторое время даже при нагрузках, которые вызывают лишь появление пластических деформаций в отдельных ее точках при отсутствии водородосодержащей среды. В частности данный эффект обнаруживается для пластины из титанового сплава ВТ14 при числе Фурье $F_0 = 0{,}0038$.

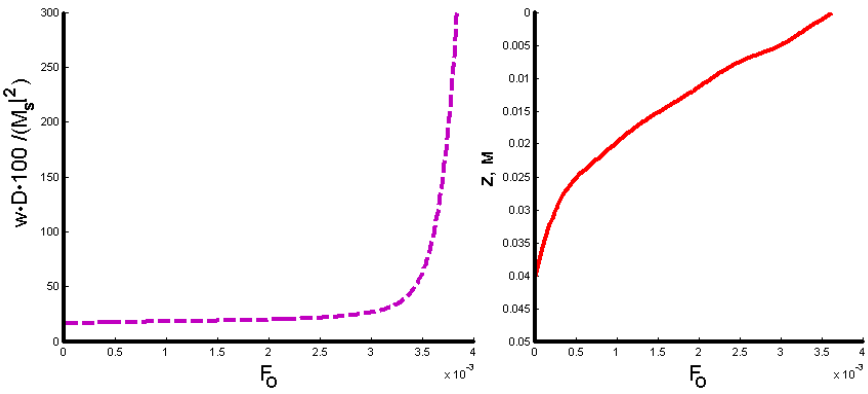


Рис. 2. Изменение прогибов в центре пластины и глубины проникновения среды в пластину во времени

Полученные решения подтверждают тот факт, что к данным материалам, находящимся в активной водородной среде, недопустимо применение классических подходов. К тому же, исследование развития пластичности по поверхности и по толщине пластины выявило качественно новую картину, не укладывающуюся в рамки классической теории изгиба пластин.

Литература

1. Овчинников И.Г., Модель взаимодействия нагруженных элементов конструкций с водородосодержащей средой и ее приложения / И.Г.Овчинников, А.Б.Рассада // Прикладные проблемы прочности и устойчивости деформируемых систем в агрессивных средах. – Саратов: СПИ. – 1989. – С. 12–16.

2. Гервиц Т.Я. Влияние газонасыщения на статическую прочность титановых сплавов // ФХММ. – 1981. – № 2. – С. 45–48.

3. Трещев А.А., К теории пластичности материалов, чувствительных к наводороживанию / А.А.Трещев, П.А.Полтавец // Проблемы машиностроения и автоматизации. Международный журнал. – 2006. – № 2. – С. 60–67.

4. Полтавец П.А., К теории пластичности материалов, подверженных

водородному охрупчиванию / П.А. Полтавец, А.А. Трещев // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – №1 (565). – С. 18–23.

5. Тимошенко С.П., Войновский–Кригер С.Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966. – 635 с.

6. Трещев А.А., Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А.Трещев. М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. – 328 с.

© Трещев А.А., Цветкова А.Б., 2017

УДК 614.841

Хасанов И. Р.
доктор технических наук, главный научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт
противопожарной обороны МЧС России,
г. Балашиха, Российская Федерация

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE RESISTANCE OF WOODEN STRUCTURES IN FIRES

Аннотация. Рассмотрены примеры современного строительства многоэтажных деревянных зданий. Основные нормативные требования к деревянным домам связаны с этажностью, пределами огнестойкости несущих конструкций и применением материалов из дерева в отделке и фасадах. Представлены результаты экспериментальных огневых испытаний деревянных конструкций на огнестойкость. Показано, что деревянные конструкции имеют пределы огнестойкости, достаточные для использования в строительстве многоэтажных зданий различного

функционального назначения.Определены основные направления исследований в области пожарной безопасности зданий, включающих деревянные конструкции.

Ключевые слова: пожарная безопасность; деревянные конструкции; многоэтажные здания; огнестойкость строительных конструкций; скорость обугливания.

Abstract. Examples of modern construction of multi-storey wooden buildings. Basic regulatory requirements for wooden houses are associated with the number of floors, the fire resistance rating of load-bearing structures and the use of wooden materials, finishes and facades. The results of experimental fire tests of wooden constructions for fire resistance. It is shown that wooden structures have a fire-resistance sufficient for use in the construction of multi-storey buildings of different functional purpose. Defines the main directions of research in the field of fire safety of buildings, including wooden structures.

Keywords: fire safety; regulatory requirements;wooden structures; high-rise residential buildings; fire resistance of constructions;charring rate.

Внедрение в строительство новых деревокомпозитных материалов и технологий с использованием конструктивных элементов и модулей заводского изготовления значительно повысило интерес к многоэтажным зданиям с деревянными конструкциями. Вместе с тем деревянные строительные конструкции могут способствовать возникновению и распространению пожара в здании или сооружении [1].

В связи с этим рассмотрение особенностей пожарной опасности деревянных зданий и сооружений, а также анализ нормативных требований в области пожарной безопасности многоэтажных зданий с

деревянными конструкциями представляется актуальной и важной задачей.

Если в прошлом веке строительство многоэтажных домов с использованием деревянных конструкций носило, как правило, экспериментальный характер, то в последние годы наблюдается реализация типовых проектов с применением таких конструкций во многих европейских и североамериканских государствах.

Так, в шведском г. Векшё в 2008–2009 гг. был простроен комплекс «Лимнологен», состоящий из четырех восьмиэтажных зданий [2]. Нижний этаж зданий выполнен из бетона, а шесть верхних этажей — из перекрестно-клееных панелей CLT (Cross Laminated Timber).

Еще одним примером деревянного строительства может служить ~~В~~ девятиэтажный жилой дом~~е~~ «Мюррей Гров» (г. Лондон), состоящий из 29 квартир разного типа — коммерческих апартаментов и социального жилья [1]. Как и большинство современных многоэтажных деревянных зданий, лондонский «Мюррей Гров» построен по сборно-панельной технологии из перекрестно-клееных деревянных панелей.

Для предотвращения распространения огня по фасаду деревянного здания предлагаются различные подходы. К пассивным методам защиты относится огнестойкая пропитка древесины, а также применение над оконными проемами негорючих материалов (минеральная вата, штукатурка), которые препятствуют распространению огню на верхние этажи. К активным методам защиты фасадов деревянного здания относится применение водяных систем пожаротушения.

Современные элементы деревянных сооружений могут обеспечить не только пожарную безопасность в многоэтажных домах, но и звукоизоляцию. Например, двухслойная деревянная стена, защищенная с

двух сторон листами гипсокартона, представляет собой надежную противопожарную перегородку между двумя секциями, обладающую звукоизолирующими свойствами.

Основными закономерностями, которые необходимы при расчете пределов огнестойкости деревянных конструкций, являются: температура начала обугливания древесины (270°С), которая достигается на поверхности древесины через 4 мин после начала стандартного теплового воздействия пожара; условная скорость обугливания (скорость перемещения фронта обугливания), включающая влияние угловых закруглений (для древесины хвойных пород — 0,7 мм/мин) [3].

Скорость обугливания при одностороннем обугливании принимается постоянной во времени [4]. Расчетное значение глубины обугливания определяется по следующей формуле:

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 t,$$

где $d_{\text{char},0}$ — расчетное значение глубины обугливания при одностороннем обугливании; β_0 — расчетное значение скорости одностороннего обугливания при стандартном воздействии пожара; t — продолжительность воздействия пожара.

Условная скорость обугливания учитывает влияние угловых закруглений и трещин. Расчетное значение условной глубины обугливания определяется по формуле:

$$d_{\text{char},n} = \beta_n t,$$

где $d_{\text{char},n}$ — расчетное значение условной глубины обугливания, включая влияние угловых закруглений; β_n — расчетное значение условной скорости обугливания, учитывающей влияние угловых закруглений и трещин.

Расчетные значения скорости обугливания при стандартном воздействии пожара для некоторых деревянных конструкций даны в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения скорости обугливанияβ_n и β_0

Материал	β_0, мм/мин	β_n, мм/мин
Клееная древесина хвойных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290$ кг/м^3	0,65	0,7
Цельная древесина хвойных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290$ кг/м^3	0,65	0,8
Цельная древесина или клееная древесина лиственных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 290$ кг/м^3	0,65	0,7
Цельная древесина или клееная древесина лиственных пород с нормативной плотностью $\rho \geq 450$ кг/м^3	0,50	0,55
Брус из клееного шпона с нормативной плотностью $\rho \geq 480$ кг/м^3	0,65	0,7
Деревянные панели	0,9	–
Клееная фанера	1,0	–
Древесные плиты, кроме клееной фанеры	0,9	–

Представленные в таблице 1 значения скоростей обугливания для некоторых материалов относятся, как правило, к огневому воздействию в условиях стандартных испытаний. В зависимости от влажности, состава, а также конструктивных особенностей деревянной конструкции их значения могут отличаться от табличных.

В целях установления предела огнестойкости деревянных конструкций и оценки глубины обугливания в условиях стандартных огневых испытаний в ФГБУ ВНИИПО МЧС России проведена серия испытаний. Испытания образцов деревянных конструкций, изготовленных из клееного бруса, размерами 2300×1300×250 мм проводились под

действием постоянной равномерно распределенной нагрузки 70,56 кН/м. После окончания огневых испытаний было зафиксировано обугливание конструкции на глубину до 40 мм. Средняя скорость обугливания составила 0,69 мм/мин, что соответствует данным, представленным в таблице 1.

Для конструкции внутренней несущей стены предельными состояниями при испытании на огнестойкость являются: потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (предельная вертикальная деформация для данного фрагмента конструкции внутренней несущей стены составляет 23,0 мм); потеря целостности (E); потеря теплоизолирующей способности (I).

За время проведения испытаний опытных образцов зафиксированы следующие характерные особенности их поведения. На 5–7-й минуте испытаний зафиксировано начало термического разложения клееного бруса опытных образцов, характеризующегося интенсивным дымообразованием; на 22–24-й минуте – обугливание поверхностного слоя древесины на глубину 5–7 мм: на 63–65-й минуте— достижение предельного состояния по потере целостности (E) конструкции в результате прогорания стыковых соединений стенового бруса и проникновения на необогреваемую поверхность продуктов горения и пламени. Вертикальная деформация 1-го и 2-го опытных образцов составляла соответственно 7,8 и 7,3 мм. Средняя температура (в контролируемых точках) на необогреваемой поверхности образцов на момент окончания огневого воздействия не превышала 29 °C. Предел огнестойкости фрагмента внутренней несущей стены, изготовленной из клееного бруса, REI 60.

Проведенные огневые испытания различных деревянных конструкций показали, что они имеют пределы огнестойкости, достаточные для использования в строительстве многоэтажных зданий различного функционального назначения.

Вместе с тем вопросы, связанные с использованием деревянных конструкций в современном домостроении, требуют дальнейших исследований. Так, важными направлениями исследований в области пожарной безопасности зданий из деревянных конструкций являются:

- разработка требований и развитие нормативной базы в области пожарной безопасности многоэтажных деревянных зданий;

- проведение огневых испытаний по оценке огнестойкости деревянных конструкций с использованием новых деревокомпозитных материалов и технологий;

- в целях моделирования развития пожаров и оценки пожарно-технических характеристик деревянных конструкций проведение комплексных натурных огневых испытаний деревянных зданий и сооружений;

- в целях обеспечения требуемых параметров пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций разработка и обоснование типовых технических решений, включая различные способы огнезащиты;

- создание и развитие базы данных по пожарно-техническим характеристикам деревянных конструкций на основе экспериментальных исследований.

Литература

1. Гилетич А. Н., Хасанов И. Р., Макеев А. А. Пожарная безопасность многоэтажных зданий из деревянных конструкций// Пожарная безопасность. 2014. № 2. С. 116–125.

2. Serrano E. Limnologen — Experiences from an 8-storey Timber Building. // Proc. Forum Holzbau Garmisch 09. Available at: http://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf09_Serrano.pdf.

3. СП64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Минрегион, 2011. 88 с.

4. EN 1995-1-1. Eurocode 5 – Design of timber structures, Part 1-2. General – Structural fire design. CEN, Brussels, 2004. 69 p.

© Хасанов И.Р., 2017

УДК 624.014

Хасанов Р. Р.
Студент группы СТЗС-41
Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ
Ращепкина С.А.
Кандидат технических наук, доцент, профессор РАЕ
Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

СОВРЕМЕННЫЕ СТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

MODERN STEEL TANKS FOR OIL AND OIL PRODUCTS

Аннотация. Приведен краткий обзор различных типов стальных резервуаров для нефти, нефтепродуктов и других жидких веществ энергетической промышленности. Приводятся крупноразмерные модели, подготовленные для глобальных экспериментальных исследований прогрессивных мультицилиндрических емкостей.

Ключевые слова: резервуары, стальные, обзор, анализ, конструкция, эффект, модели.

Abstract. Provides a brief overview of the different types of steel storage tanks for petroleum, petroleum products and other liquids energy industry.

Given the large size of this model, prepared for the global experimental studies of the progressive multicylindrical tanks.

Keywords: tanks, steel, review, analysis, design, effect, model.

Нефть и газ в настоящее время во всем мире – основные виды энергетических ресурсов, на долю которых приходится около 70 % всех видов используемых ресурсов. Важными и актуальными задачами являются вопросы, связанные со всей технологической цепочкой – от разведки месторождений до использования нефти и газа в промышленности. Преобладающее использование нефти и газа предопределило приоритетность всех вопросов, связанных с добычей, переработкой и хранением.

Строительство резервуаров расширяется как путем создания новых, более экономичных резервуаров, так и путем увеличения их вместимости. Современные нефтебазы представляют собой сложный инженерно-технический комплекс, включающий здания и сооружения, трубопроводы, резервуары, насосные станции и специальное оборудование, предназначенное для приема, хранения и реализации нефтепродуктов.

Стальные резервуары в зависимости от формы и технологического назначения подразделяются на вертикальные цилиндрические, каплевидные, сложной формы. В свою очередь вертикальные цилиндрические резервуары подразделяются на емкости низкого давления (так называемые «атмосферные»), с понтонами и с плавающими крышами.

Резервуары «атмосферного» типа характеризуются тем, что внутреннее давление в газовом пространстве их близко к атмосферному и составляет 2 кПа. К ним относятся резервуары с коническим и сферическим щитовым покрытием. Резервуары «атмосферного» типа

применяются в основном для хранения нефтепродуктов мало испаряющихся (керосина, дизельного топлива). Однако в тех случаях, когда в этих резервуарах хранят легкоиспаряющиеся нефтепродукты, например бензин с высокой упругостью паров, то их оборудуют специальными устройствами – газовой обвязкой либо отражательной изоляцией. Наиболее эффективно хранить легкоиспаряющиеся нефтепродукты в резервуарах с плавающими крышами и понтонами, или в резервуарах высокого давления – вертикальные со сфероцилиндрической кровлей и каплевидные с давлением до 70 кПа.Каплевидные резервуары применяют для хранения легкоиспаряющихся нефтепродуктов с высокой упругостью паров, когда нецелесообразно использовать для этой цели обычные вертикальные резервуары, рассчитанные на давление 2 кПа. Оболочке резервуара придают очертание капли жидкости, свободно лежащей на смачиваемой плоскости и находящейся под действием сил поверхностного натяжения. Благодаря такой форме резервуара создаются условия, при которых все элементы поверхности корпуса под действием давления жидкости растягиваются примерно с одинаковой силой, испытывая одни и те же напряжения, что обеспечивает минимальный расход стали на изготовление резервуара.

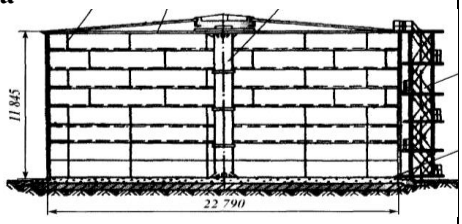
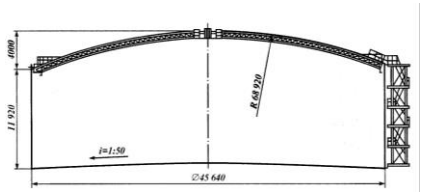
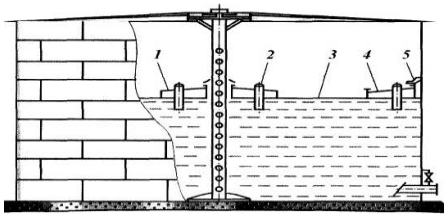
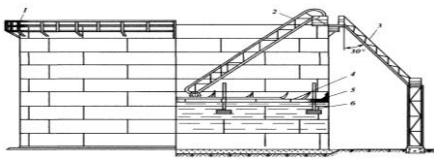
Типовые стальные резервуары сооружают сварные с применением индустриальных методов монтажа и использованием готовых рулонных заготовок, которые выполняют из плоских стальных полотнищ, свариваемых автоматической сваркой и сворачиваемых для транспортировки в габаритные рулоны, которые затем при монтаже разворачивают до проектной кривизны. Высокая эффективность этого индустриального рулонного метода по сравнению с полистовой сборкой

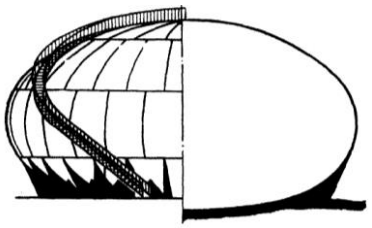
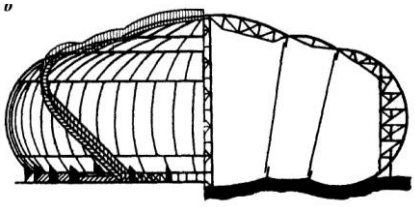
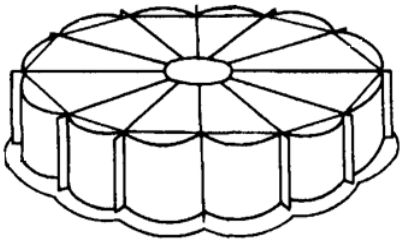
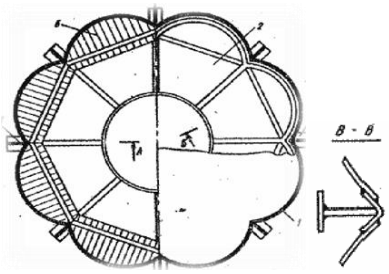
конструкций на месте монтажа создала условия для его широкого применения в резервуаростроении.

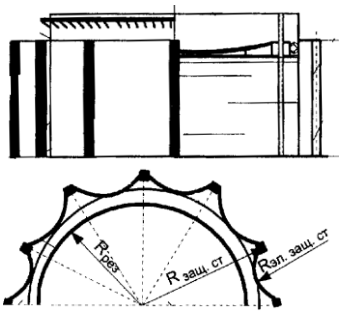
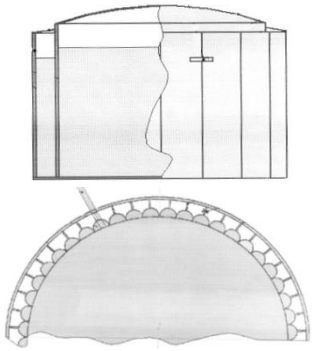
Основные размеры резервуаров – диаметр и высота – для данного объема резервуара могут быть различными. Существуют размеры этих параметров, при которых расходы по металлу будут наиболее рациональными. На расход металла и экономичность резервуара влияют и другие факторы. Это повышенная площадь зеркала жидкости сопряжена с высоким объемом испарения легкоиспаряющихся жидкостей, с увеличением площади застройки резервуаров. Однако при меньшей площади резервуара, а, следовательно, и большей его высоте усложняются монтажные работы. Все это учитывается расчетами при определении оптимальных размеров резервуаров. Обзор различных типов конструкций стальных резервуаров представлен в табл. 1.

Таблица 1

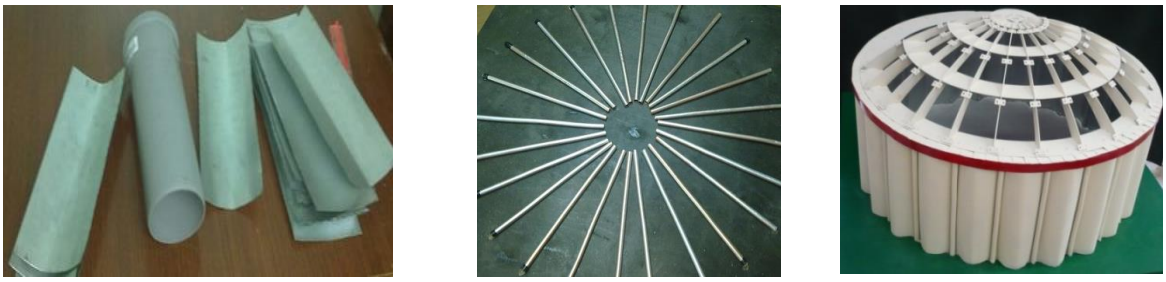
Типы стальных резервуаров и краткое описание

Тип	Конструкция	Краткое описание
Резервуар с щитовым коническим покрытием.	**а** 	Резервуар низкого давления объемом 100…5000м^3. Покрытие монтируется из готовых щитов, выполненных из листовой стали толщиной 2,5 мм. Пояса корпуса резервуара имеют толщину 4…10 мм (снизу вверх). В центре резервуаров устанавливают центральную стойку, на которую опираются щиты покрытия [1].
Резервуар со сферическим покрытием	**б** 	Объем: 10000…20000 м^3. Щиты покрытия по контуру опираются на кольцо жесткости, установленное на корпусе резервуара. Толщина листов стенки резервуара 6…14 мм. Толщина листов покрытия - 3 мм. Для снижения затрат на подогревательные устройства осуществляют теплоизоляцию наружных поверхностей резервуаров [1].
Резервуар с конической кровлей и понтоном	**в** 	Предназначены для резервуаров со щитовым покрытием с целью снижения потерь хранящихся в них легкоиспаряющихся нефти и нефтепродуктов. Понтон, плавающий на поверхности жидкости, уменьшает площадь испарения по сравнению с обычным резервуаром, благодаря чему резко снижаются потери от испарения (в 4-5 раз). Понтон представляет собой диск с поплавками, обеспечивающими его плавучесть. [1].
Резервуар с плавающей крышей	**г** 	Объем: 100…50000м^3. Известны отдельные резервуары, объемом до 160000 м^3.Эти резервуары не имеют стационарного покрытия, а роль крыши у них выполняет диск из стальных листов, плавающий на поверхности жидкости. Резервуары с плавающей крышей рекомендуются преимущественно для строительства в районах с малой снеговой нагрузкой [1].

Гладкий каплевидный резервуар	**Д** 	Объем 5000…6000м3 с внутренним давлением 75 кПа. Благодаря каплевидной форме резервуара создаются условия, при которых все элементы поверхности корпуса под действием давления жидкости растягиваются примерно с одинаковой силой, испытывая одни и те же напряжения, что обеспечивает минимальный расход стали на изготовление резервуара [1].
1	2	3
Многоторовый каплевидный резервуар	**Е** 	Объем: 5000…20000м^3 на внутреннее давление до 0,37 МПа. Резервуары, корпус которых образуется пересечением нескольких оболочек двойной кривизны, из которых они образованы, называют многокупольными, или многоторовыми резервуарами [1].
Мультицилиндрический резервуар с с двутавровыми стойками и плавающей крышей	**Ж** 	Эффективное использование метода рулонирования для резервуаров низкого давления большого объема (до 200 тыс.м^3) может быть достигнуто при строительстве цилиндрических резервуаров со стенкой состоящей из отдельных цилиндрических панелей небольшого радиуса (до 15…20м), поэтому толщина листа может быть принята до 16…18мм. Стык рулонов выполняется через жесткий элемент - контрфорс, который передает внутреннее боковое давление на фундамент, а вверху - на кольцевую обвязку [1].
Мультицилиндрический резервуар с тавровыми стойками	**з** 	Резервуар состоит из вертикальных цилиндрических панелей и плавающей крыши. В местах сопряжения панелей установлены тавровые контрфорсы, опирающиеся на фундамент. Верхние части контрфорсов связаны между собой фермами-затяжками. Плавающая крыша резервуара состоит из стальной мембраны и коробов, обеспечивающих ее жесткость и непотопляемость [2].

Вертикальный резервуар с защитной стенкой	**и** 	Стальной резервуар имеет стенку, днище и кровлю, а также днище и стенку защитного резервуара, которая собрана из отдельных криволинейных обечаек, кривизна которых противоположна кривизне стенки основного резервуара. Обечайки герметично соединены между собой с помощью стоек, а стенка защитного резервуара укреплена стальными полосами из высокопрочной стали [3].
Вертикальный стальной резервуар с защитной стенкой	**к** 	Вертикальный стальной резервуар имеет защитную стенку, которая собрана из отдельных криволинейных обечаек и каждая обечайка имеет крышу и представляет собой стальной полый полуцилиндр, привариваемый к основному резервуару. Стенка защитного резервуара укреплена стальными полосами, которые прикреплены между каждыми соседними обечайками с равным шагом. [4].

На основе анализа различных конструктивных решений было принято оптимальное решение – мультицилиндрический резервуар (табл. 1, ж). Для исследования напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках и воздействиях и была изготовлена модель из стального листа с размерами: H=350мм, D=830мм (рис.1). Результаты экспериментальных исследований будут представлены в дальнейших работах.



а Б В

Рис. 1. Изготовление модели мультицилиндрического резервуара:
а – панели; б – стойки, в –модель в сборе

Выводы. Анализ различных конструктивных решений резервуаров показалследующее.

Сооружение мультицилиндрических резервуаров большого объема возможно, при этом достигается высокая экономическая эффективность.

Кроме того мультицилиндрические резервуары как показала практика строительства имеют следующие преимущества: экономия металла; высокая технологичность монтажа; сокращение трудоемкости; удобство транспортировки.

Исследование мультицилиндрического резервуара на модели из стального листа позволит выявить его ресурс несущей способности ижизненностойкость.

Литература

1. Металлические конструкции. Под ред. Ю.И. Кудишина. М.: Издательский центр Академия, 2007 – 688с.

2. Резервуар для хранения нефтепродуктов. Пат. №631391.

3. Вертикальный резервуар. Пат. №59673.

4. Вертикальный стальной резервуар. Пат. №2455439.

© Хасанов Р. Р., Ращепкина С. А., 2017.

УДК 624.04

Чэнь Тао
Аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия
Овчинников И. И.
кандидат технических наук, доцент, Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ МОСТА ПРИ ДЕЙСТВИИ КАРБОНИЗАЦИИ И ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ

FORECASTING THE BEHAVIOR OF THE REINFORCED CONCRETE PLATE OF THE BRIDGE UNDER CARBONIZATION AND CHLORIDE ATTACK

Аннотация. Рассматривается задача прогнозирования поведения армированной плиты проезжей части моста, на которую в процессе эксплуатации действует агрессивная среда, вызывающая и карбонизацию, и хлоридную коррозию, совместное действие которых значительно сокращает срок службы плиты. Приведены уравнения цилиндрического изгиба плиты, рассмотрена методика его решения и проведен численный анализ для определенных параметров плиты и агрессивной среды. Показаны эффекты, к которым приводится совместный учет и карбонизации и хлоридной коррозии.

Ключевые слова: карбонизация, хлоридная коррозия, железобетон, плита проезжей части моста, моделирование.

Abstract. The problem of forecasting the behavior of a reinforced slab of the carriageway of a bridge, which is subject to an aggressive environment during its operation, causes both carbonation and chloride corrosion, the joint action of which significantly reduces the service life of the plate. Equations of cylindrical bending of a plate are given, the technique of its solution is considered and numerical analysis for certain parameters of a plate and an aggressive medium is carried out. Effects are shown, to which a joint record is taken of both carbonation and chloride corrosion.

Key words: carbonization, chloride corrosion, reinforced concrete, slab of the carriageway of the bridge, modeling.

Введение

Железобетонные конструкции мостовых сооружений в процессе эксплуатации подвергаются воздействию углекислого газа, содержащегося в атмосфере и хлоридов, содержащихся в противогололедных материалах. В результате совестного действия этих факторов на нагруженную плиту проезжей части в ней развиваются коррозионные процессы, приводящие к деструкции бетона и коррозии арматуры. Представляет значительный интерес задача прогнозирования поведения изгибаемых плоских армированных элементов, подвергающихся совместному действию и нагрузки и коррозионных факторов.

Уравнения цилиндрического изгиба плиты проезжей части с учетом действия агрессивных условий эксплуатации

Плиту проезжей части моста можно моделировать железобетонной пластиной, протяженной в одном направлении, и короткой в другом, причем полагаем, что нагрузка, характер опирания пластины, а также воздействие хлоридсодержащей среды и карбонизации в длинном направлении не изменяются. В этом случае плита проезжей части испытывает цилиндрический изгиб, и уравнение ее деформирования имеет вид [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x^2}\left(D_{11}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) = q(x) \qquad (1)$$

где $D_{11} = \left[f_{11}\left(J_1^b + J_{x1}^a\right) + \left(J_2^b + J_{x2}^a\right) + f_{21} I_1^b \right],$ (2)

Величины f_{11} и f_{21} представляют собой выражения

$$f_{11} = \frac{I_0^b I_1^b - \left(J_0^b + J_{y0}^a\right)\left(J_1^b + J_{x1}^a\right)}{\left(J_0^b + J_{x0}^a\right)\left(J_0^b + J_{y0}^a\right) - \left(I_0^b\right)^2}; \qquad (3)$$

$$f_{21}=\frac{I_0^b\left(J_1^b+J_{x1}^a\right)-\left(J_0^b+J_{x0}^a\right)I_1^b}{\left(J_0^b+J_{x0}^a\right)\left(J_0^b+J_{y0}^a\right)-\left(I_0^b\right)^2}.$$

в которых жесткости определяются формулами

$$J_k^b=\int_{-\frac{h}{2}}^{z_0}\alpha_j z^k\partial z+\int_{z_0}^{\frac{h}{2}}\alpha_i z^k\partial z,\ I_k^b=\int_{-\frac{h}{2}}^{z_0}\alpha_j\nu_j z^k\partial z+\int_{z_0}^{\frac{h}{2}}\alpha_i\nu_i z^k\partial z,\ к=0,1,2 \qquad (4)$$

$$J_{xk}^a=E_a\left(\lambda_x z_{\lambda_x}^k+\eta_x z_{\eta_x}^k\right),\ J_{yk}^a=E_a\left(\lambda_y z_{\lambda_y}^k+\eta_y z_{\eta_y}^k\right) \qquad к=0,1,2 \qquad (5)$$

$$z_0=-\left(\varepsilon_x+\varepsilon_y\right)/\chi_x=-\left(f_{11}+f_{21}\right) \qquad (6)$$

$$\alpha_j=\frac{\Psi_j}{1-\nu_j^2},\ \alpha_i=\frac{\Psi_i}{1-\nu_i^2},\ \beta_j=\frac{\Psi_j}{2\left(1+\nu_j\right)},\ \beta_i=\frac{\Psi_i}{2\left(1+\nu_i\right)} \qquad (7)$$

$$\Psi_j=E_j(C)=E_{j0}-k_{jE}\cdot\frac{C\left(x,y,z,t\right)}{C_\infty}, \qquad (8)$$

где E_a и E_{j0}– соответственно модули упругости арматуры и бетона (*j=1-растяжение, j=2 сжатие*) в исходном состоянии; κ_{jE}– учитывают воздействие хлоридов на бетон; ν_j– коэффициент Пуассона; $C(x, y, z, t)$ – локальная концентрация хлоридсодержащей среды; C_∞ - предельная равновесная концентрация хлоридов в точке; η_x, η_y– толщины слоев металла, эквивалентных коррозирующей арматурев верхней зоне плиты в направлениях x, y;λ_x,λ_y– толщины слоев металла, эквивалентных арматурев нижнейзоне плиты в направлениях x, y; z_{η_x}, z_{η_y} $z_{\lambda_x}, z_{\lambda_y}$ – ординаты центров тяжести этих слоев металла,; $q(x)$– интенсивность распределенной нагрузки; $\chi_x=-\partial^2W/\partial x^2$.

Жесткость D_{11}и функции (3) – (5) для цилиндрического изгиба являются функциями продольной координаты *x*.

Если на поверхности плиты хлоридсодержащая среда имеет одинаковую концентрацию, то закон ее распределения по толщине плиты:

$$C=\begin{cases} 0; & при \quad -\dfrac{h}{2}\le z\le \dfrac{h}{2}-L, \\ C_0\left(1+\dfrac{z}{L(t)}-\dfrac{h}{2L(t)}\right); & при \quad \dfrac{h}{2}-L\le z\le \dfrac{h}{2}. \end{cases} \tag{9}$$

Получим выражение для D_{11} для этого случая.

$$J_k^b=\int\limits_{-\frac{h}{2}}^{z_0}\frac{E_{j0}-k_{jE}\,C/C_\infty(z,t)}{1-\nu_j^2}z^k\partial z+\int\limits_{z_0}^{\frac{h}{2}}\frac{E_{i0}-k_{iE}\,C/C_\infty(z,t)}{1-\nu_i^2}z^k\partial z=\frac{E_{j0}}{1-\nu_j^2}\int\limits_{-\frac{h}{2}}^{z_0}z^k\partial z-$$
$$-\frac{k_{jE}}{1-\nu_j^2}\int\limits_{-\frac{h}{2}}^{z_0}C/C_\infty(z,t)z^k\partial z+\frac{E_{i0}}{1-\nu_i^2}\int\limits_{z_0}^{\frac{h}{2}}z^k\partial z+\frac{k_{iE}}{1-\nu_i^2}\int\limits_{z_0}^{\frac{h}{2}}C/C_\infty(z,t)z^k\partial z. \tag{10}$$

С учетом (9), проинтегрируем (10):

$$J_k^b=\frac{E_{j0}}{1-\nu_j^2}\left[\frac{z_0^{k+1}-(-h/2)^{k+1}}{k+1}\right]-\frac{k_{jE}\,C_0/C_\infty}{1-\nu_j^2}\left[1-\frac{h}{2L}\frac{(h/2-L)^{k+1}-(h/2)^{k+1}}{k+1}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{L}\frac{(h/2-L)^{k+2}-(-h/2)^{k+2}}{k+2}\right]+\frac{E_{i0}}{1-\nu_i^2}\left[\frac{(h/2)^{k+1}-z_0^{k+1}}{k+1}\right]-\frac{k_{iE}\,C_0/C_\infty}{1-\nu_i^2}\times \tag{11}$$
$$\times\left[1-\frac{h}{2L}\frac{(h/2)^{k+1}-z_0^{k+1}}{k+1}+\frac{1}{L}\frac{(h/2)^{k+2}-z_0^{k+1}}{k+2}\right].$$

Аналогично для I_k^b:

$$I_k^b=\frac{E_{j0}\nu_j}{1-\nu_j^2}\left[\frac{z_0^{k+1}-(-h/2)^{k+1}}{k+1}\right]-\frac{k_{jE}\,C_0/C_\infty\,\nu_j}{1-\nu_j^2}\left[1-\frac{h}{2L}\frac{(h/2-L)^{k+1}-(h/2)^{k+1}}{k+1}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{L}\frac{(h/2-L)^{k+2}-(-h/2)^{k+2}}{k+2}\right]+\frac{E_{i0}\nu_i}{1-\nu_i^2}\left[\frac{(h/2)^{k+1}-z_0^{k+1}}{k+1}\right]-\frac{k_{iE}\,C_0/C_\infty\,\nu_i}{1-\nu_i^2}\times \tag{12}$$
$$\times\left[1-\frac{h}{2L}\frac{(h/2)^{k+1}-z_0^{k+1}}{k+1}+\frac{1}{L}\frac{(h/2)^{k+2}-z_0^{k+1}}{k+2}\right].$$

В случае сжатия нижней части плиты *j=1, i=2,* а в случае растяжения *j=2, i=1,*; *к=0,1,2.* Так как J_k^b и I_k^b, $J_{x0}^a, J_{x1}^a, J_{x2}^a, J_{y0}^a$ являются функциями времени *t*, то иD_{11} не зависит от координаты x, и уравнение(1) будет:

$$D_{11}\frac{d^4W}{dx^4} = q(x), \tag{13}$$

Решение этого уравнения при q = const:

$$W(x) = \frac{px^4}{24D_{11}} + \frac{C_1x^3}{6} + \frac{C_2x^2}{2} + C_3x + C_4\,. \tag{14}$$

При этом коррозионный износ арматурных стержней моделируется функцией

$$\delta = \begin{cases} 0, & t \le t_{inc}; \\ \dfrac{\delta_0\left(t - t_{inc}\right)}{\left(t - t_{inc}\right) + T}, & t > t_{inc}, \end{cases} \tag{15}$$

где δ_0, T– коэффициенты; t_{inc}– стадия инкубационного периода, за который достигается критическая концентрация хлоридов на поверхности арматуры. Карбонизация приводит к снижению критической концентрациихлоридов в 2 раза, и к сокращению инкубационного периода.

Методология расчета железобетонной плиты проезжей части

Расчет железобетонной плиты проезжей части с учетом хлоридной коррозии и карбонизации проводится в 3 стадии [2]: стадия приложения нагрузки (1), стадия контакта плиты с средой,вызывающей карбонизацию и хлоридную коррозию (2) и 3 стадию работы нагруженной плиты в агрессивной среде. Для решения область плита по толщине и ширине покрывается сеткой узлов, в которых находятся необходимые расчетные параметры.

На 1 стадии решаетсяуравнение (13) при значениях параметров, соответствующих исходному состоянию без агрессивной среды, а по

найденному решению вычисляются напряжения и деформации в точках плиты. На 2 стадии формируются граничные условия концентрационного поля хлоридов и устанавливаются значения характеристик бетона в граничных точках, в которых происходит измененииекоэффициентов в формулах [3]:

$$\sigma_x^b = \frac{\Psi_j}{1-\nu_j^2}\left(e_x + \nu_j e_y\right); \quad \sigma_y^b = \frac{\Psi_j}{1-\nu_j^2}\left(e_y + \nu_j e_x\right); \quad \tau_{xy}^b = \frac{\Psi_j}{2\left(1+\nu_j\right)} e_{xy}.$$

Так как упругие характеристики бетона изменяются при изменении концентрации хлоридов

$$\Psi_j = E_j(C) = E_{j0} - k_{jE} \cdot \frac{C\left(x,y,z,t\right)}{C_\infty},$$

То напряжения в зонах у поверхности плиты, контактирующей с хлоридами, резко изменяются. Поэтому применялась методология смягчения градиента характеристик бетона, то есть принималось не мгновенное а постепенное (за некоторое время) установление концентрации хлоридов и углекислого газа на поверхности плиты и на каждом шаге применялась методика первой стадии. Продолжительность стадии смягчения градиента принималась равнойсуткам. На 3 стадии использовалась шаговая методология решения задачи, причем шаг по времени определялсяиз условия малого изменения наиболее чувствительных параметров задачи, а уравнение (1) на каждом шаге решалось при новых выражениях жесткости D_{11}, зависящих от положения фронтов карбонизации и хлоридов. В точках сетки, покрывающей плиту, определялись действующие и предельные напряжения в бетоне и арматуре. Считалось, что плита разрушается при выполнении условия равенства напряжений в любой точке бетона предельному значению или напряжения в любом стержне арматуры предела текучести.

Результаты расчета железобетонной плиты проезжей части

С помощью программы, реализующей приведенную выше методику расчетного анализа, проводилось моделирование поведения плиты при действии агрессивной среды на обе поверхности плиты, находящейся в условиях цилиндрического изгиба. Параметры для расчета: толщина плиты 0,25 м, азащитного слоя 0,03 м; диаметр арматуры 0,010 м. На плиту действовал изгибающий момент6667 Н·м. На рис.1 приведена эпюра нормальных напряженийпо высоте бетонного сечения в начальный момент времени, а на рис. 2 при наступлении предельного состояния.

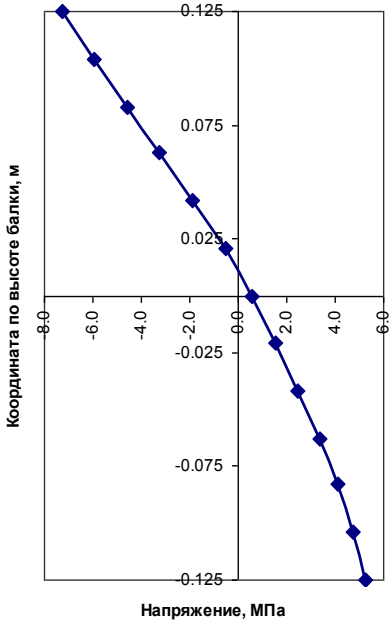


Рис. 1.

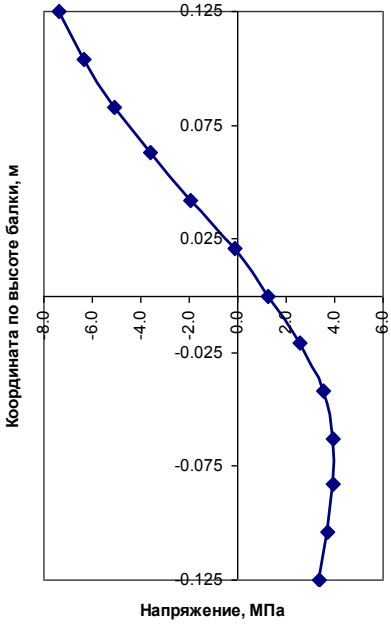


Рис. 2.

В таблице приведена t_{inc} - величина инкубационного периода для плиты и время до разрушения $t_{пред}$ (трактуемого как наступление предельного состояния плиты)

Таблица

Случай воздействия агрессивной среды	Критическая концентрация хлоридов, % от веса цемента	t_{inc}, сут.	$t_{пред}$, сут.
Только хлоридная коррозия	0,4	1194	12751
карбонизация ихлоридная коррозия	0,2	997	12554

Анализ приведенных данных свидетельствует, что при одновременном действии и карбонизации и хлоридов продолжительностьинкубационного периода сокращается на 20% и разрушение плиты проезжей части происходит раньше.

Литература

1.Овчинников И.И., Наумова Г.А. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами. Волгогр. гос. архит. - строит. ун-т. Волгоград. Изд - во ВолгГАСУ. 2007. 272 с.

2.Овчинников И.И. Расчет напряженно-деформированного состояния и поврежденности армированной пластины в хлоридсодержащей среде // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009, №3. С.3-9.

3.Овчинников И.И, Чэнь Тао, Овчинников И.Г. Модель деформирования железобетонных конструкций в условиях совместного воздействия карбонизации и хлоридной коррозии// СБОРНИК Тезисов докладов международной научно - технической конференции «Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)» . - Казань: КГАСУ, 2016. - 92 с.с.61.

© Чэнь Тао, Овчинников И. И.2017

УДК 539.42

Черных В.К.
старший преподаватель,
Саратовский филиал Самарского государственного университета путей сообщений

КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ТРУБОПРОВОДОВ, ЕГО ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

CORROSIVE WEAR OF PIPELINES, ITS CAUSES AND CONSEQUENCES

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы причины коррозионного износа металлических конструкций трубопроводов. Освещены некоторые известные аварии, вызванные коррозионным износом, сделаны выводы по предотвращению их в будущем.

Ключевые слова:коррозионный износ, трубопровод, нефтепровод, металл, агрессивная среда, мониторинг, антикоррозионная защита.

Abstract. The article considers and analyzes the causes of corrosion of metal structures pipelines. Highlight some known crash caused by corrosion wear, the findings to prevent them in the future.

Keywords: corrosion, pipeline, metal, aggressive environment, monitoring, corrosion protection.

В России и мире значительное число металлических трубопроводов в той или иной степени защищаются от коррозии. Тем не менее, защита производится несвоевременно, некачественно и срок её службы не всегда продолжительный. В связи с этим, конструкции трубопроводов подвержены коррозионному износу. Причем, коррозионные разрушения трубопроводов могут происходить:

- в грунте;
- в атмосфере, на поверхности земли;
- в зонах переменного увлажнения;
- внутри промышленных зданий, в том числе со специфической атмосферой, содержащей агрессивные компоненты и т.д.

В конечном счете, механизмы коррозии, в зависимости от вида сред, могут быть разные, но с феноменологической точки зрения, все они приводят к двум видам воздействия:

1) изменение геометрии конструкции (размеры и формы);

2) изменение механических характеристик материала.

Трубопроводы – самый быстрый способ доставки жидкостей и газообразных веществ. Коррозия трубопроводов может быть как химической, обусловленной контактом металла с химически активными компонентами без возникновения и прохождения по трубопроводу электрического тока; так и электрохимической, которая характеризуется растворением и разрушением металла при взаимодействии с окружающей средой, сопровождающимся возникновением и прохождением электрического тока. Помимо указанных видов коррозионного разрушения, трубопроводы вдобавок подвержены биокоррозии, на долю которой приходится значительное разрушение трубопроводов.

Подвержена коррозии может быть как внешняя сторона стенки трубопровода, так и внутренняя. На коррозию внешней стороны стенки обычно влияют следующие факторы:

- температура среды;
- агрессивность среды (солевой состав, щелочность, состав почвы и т.д.);
- состав и состояние защитного покрытия (если оно имеется);

- наличие блуждающих токов;
- напряжения в металле.

Наиболее активное воздействие происходит в особенных точках конструкций, таких как сварные швы, изгибы, места изменения толщины металла и места деформаций.

Коррозия трубопроводов с внутренней стороны стенки может быть обусловлена влиянием следующих факторов:

- составом транспортируемой продукции (её обводненностью, наличием газов, углекислоты);
- наличием взвешенных частиц (например, песок или уже имеющиеся продукты коррозии);
- осадками солей железа и кальция на стенках;
- неоднородностью металла, а также наличием на нем щелей (например, при плохом проваре сварных швов) и др.

Отечественные трубопроводы для транспортировки воды, нефти, газа и др. веществ являются самыми протяженными в мире, уступая лишь США. Тем не менее, техническое состояние их оставляет желать лучшего. По некоторым данным, износ отечественных трубопроводов составляет 50-70%. Данная ситуация, помимо явного экономического и экологического ущерба, в свою очередь приводит и к человеческим потерям.

Европейские эксперты выделяют три наиболее важные причины возникновения аварийных ситуаций [1]:

- внешние воздействия на трубопроводы (36%);
- коррозионные процессы (29%);
- механические повреждения (24%).

Согласно данным [2], основные причины аварий на магистральных трубопроводах это:

- внешние воздействия – 34,3 %,
- брак при строительстве – 23,2 %,
- наружная коррозия – 22,5 %,
- брак при изготовлении труб и оборудования на заводах – 14,1 %,
- ошибочные действия персонала – 3 %.

Из различных источников видно, что на долю коррозии приходится около четверти аварий трубопроводов, что составляет немалую цифру. Рассмотрим некоторые из них.

В августе 1994 года на нефтепроводе Возей -Головные сооружения АО «Коминефть» (Усинский район Республики Коми) произошла крупная авария. В результате аварии на грунт и ближайшие водотоки вылилось около 14 тонн нефти [3].

Рис. 1. Последствия прорыва нефтепровода в респ. Коми в 1994 году. *(Источник http://images.esosedi.ru)*

С 1975 года, когда трубопровод был только запущен, коррозионная защита не осуществлялась в должном объеме, а также не проводились необходимые ремонтные работы. В 1988 году произошла первая разгерметизация трубопровода, после чего было принято решение периодически закачивать в него ингибиторы коррозии, а также установить

катодные станции электрохимзащиты. Эти мероприятия выполнялись частной компанией, и должного надзора за ними не было. Тем не менее, за два года до аварии, в 1992 году, было проведено обследование данного трубопровода, которое выявило значительные коррозионные повреждения. Было принято решение, что на особо коррозионных участках, необходимо снизить давление с 25 кг/см^2 до 7,5 кг/см^2. Но данные мероприятия не принесли результата и аварии было не избежать.

Рис. 2. Прорыв трубопровода в респ. Коми. *(Источник: http://gnti.ru)*

По версии международной организации «Гринпис», причиной аварии могло послужить и то, что по проектным документам трубопроводы рассчитаны на перекачку нефтепродуктов с низкой коррозионной активностью. Несмотря на это, по ним транспортировалась коррозионно-активная жидкость, что создало дополнительную агрессивную среду. В свою очередь, коррозионные процессы ускорили развитие таких факторов, как низкие температуры и механические напряжения в трубопроводе.

В 2006 году на участке нефтепровода «Дружба» (эксплуатируется с 1964 года) из-за коррозионного износа металлических труб произошла авария, вследствие которой было загрязнено почти 10 км^2 местности. Утечка нефти составила около 48 м^3 [3].

Еще одна из крупнейших в мире аварий нефтепроводов, связанная с коррозией металла, произошла в 1998 году в Нигерии, на нефтепроводе компании ExxonMobil. В результате аварии, в Атлантический океан попало 14 тысяч тонн нефти. На протяжении 200км побережья вода была покрыта черной нефтяной пленкой.

Вышеперечисленные аварии - лишь малая доля от общего числа, произошедших по причине коррозионного износа металла. Коррозия металлоконструкций труб вызвана, прежде всего, низким качеством заводского изготовления труб (различные дефекты, микротрещины, расслоения металла, заусенцы, риски и т.д.); цикловым и программным нагружением металла, остаточных напряжений в металле, гидроударов, ну и конечно наличием агрессивных компонентов как во внешней среду, так и в транспортируемой жидкости [1].

Для предотвращения аварий трубопроводов в будущем, необходимо осуществлять качественную и долгосрочную антикоррозионную защиту, а также проводить качественный и своевременный мониторинг металлоконструкций труб.

Литература

1. Мокроусов В. И. К вопросу об авариях магистральных нефтепроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. М.: Научное издательство "Институт стратегических исследований". №11-1. 2015. С. 175-180.

2. Государственный доклад «О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр РФ в 2006 г.»

3. ЗАО "КОРМАКО" URL: http://www.cormaco.ru (дата обращения: 25.11.2017).

© Черных В.К., 2017

УДК 539.4:624.07

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Сурнин Д.А.
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

РАСЧЕТ СТЕРЖНЯ КРУГОВОГО ОЧЕРТАНИЯ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ПРАВОЙ ОПОРЫ

CALCULATION OF A ROD OF CIRCULAR OUTLINE WITH A RADIAL DISPLACEMENT OF THE RIGHT SUPPORT

Аннотация.Рассмотрен стержень кругового очертания, правая опора которого получила смещение в радиальном направлении. При решении дифференциальных зависимостей для кругового стержня было использовано операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа. Решения получены в общем виде.

Ключевые слова: стержень, опора, перемещение, граничные условия, дифференциальные зависимости, преобразование, усилия, момент.

Abstract. Considered a core circular shape, the right bearing which is received the offset in the radial direction. In solving differential dependency for the circular rod were used the operational calculus associated with the Laplace transform. Solutions have been obtained in a General form.

Keywords: rod, support, movement, boundary conditions, differential relation, transformation, effort, moment.

Рассмотрим стержень кругового очертания с жесткими закреплениями по концам, правая опора стержня получила радиальное перемещение Δw (рисунок 1).

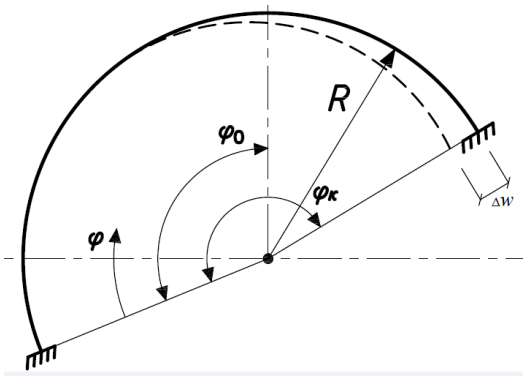


Рисунок 1

Граничныеусловия при рассматриваемом способе опирания стержняимеют вид:при $\varphi = 0$:

$$u = \upsilon = w = \vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_k = 0\,. \qquad (1)$$

при $\varphi = \varphi_k$

$$u = \upsilon = \vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_k = 0\,; \quad w(\varphi_k) = \Delta w\,. \qquad (2)$$

При решении дифференциальных зависимостей, приведенных в работе [1], использовано операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа [2]. Ввиду громоздкости все операции не приводятся

Окончательно решение имеет вид:

$$\upsilon(\varphi) = \Delta w\left[\varphi\zeta_1 + \zeta_2\sin\varphi + \frac{1}{2}\zeta_3\varphi\cos\varphi - \left(1 - \cos\varphi - \frac{1}{2}\varphi\sin\varphi\right)\zeta_4\right], \qquad (3)$$

где

$$\zeta_1 = \frac{1-\cos\varphi_k}{2\left[1-\cos\varphi_k - \frac{1}{4}\varphi_k\left(\varphi_k + \sin\varphi_k\right)\right]};$$

$$\zeta_2 = \frac{1}{\left(\varphi_k - \sin\varphi_k\right)\left[1-\cos\varphi_k - \frac{1}{4}\varphi_k\left(\varphi_k + \sin\varphi_k\right)\right]} \times$$

$$\times\left(-\frac{1}{2}\varphi_k + \sin\varphi_k - \sin\varphi_k\cos\varphi_k - \frac{1}{4}\varphi_k^2\sin\varphi_k + \frac{1}{2}\varphi_k\cos\varphi_k\right);$$

$$\zeta_3 = \frac{1}{\left(\varphi_k - \sin\varphi_k\right)\left[1-\cos\varphi_k - \frac{1}{4}\varphi_k\left(\varphi_k + \sin\varphi_k\right)\right]} \times$$

$$\times\left(-\sin\varphi_k + \sin\varphi_k\cos\varphi_k + \frac{1}{2}\varphi_k^2\sin\varphi_k\right);$$

$$\zeta_4 = \frac{1}{\left(\varphi_k - \sin\varphi_k\right)\left[1-\cos\varphi_k - \frac{1}{4}\varphi_k\left(\varphi_k + \sin\varphi_k\right)\right]} \times$$

$$\times\left(\sin^2\varphi_k - \frac{1}{2}\varphi_k\sin\varphi_k - \frac{1}{2}\varphi_k^2\cos\varphi_k\right).$$

Выражения для перемещения $w(\varphi)$, момента и усилий:

$$w(\varphi) = \Delta w\left[\zeta_1 + \zeta_2\cos\varphi + \frac{1}{2}\zeta_3\left(\cos\varphi - \varphi\sin\varphi\right) - \frac{1}{2}\left(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi\right)\zeta_4\right];$$

$$\frac{dw}{d\varphi} = \Delta w\left[-\zeta_2\sin\varphi - \frac{1}{2}\zeta_3\left(2\sin\varphi + \varphi\cos\varphi\right) - \frac{1}{2}\zeta_4\varphi\sin\varphi\right]; \qquad (4)$$

$$\vartheta_1(\varphi) = \frac{1}{R}\Delta w\left[\varphi\zeta_1 - \zeta_3\sin\varphi - \left(1-\cos\varphi\right)\zeta_4\right];$$

$$M_1(\varphi) = -\frac{E I_1}{R^2}\Delta w\left[\zeta_1 - \zeta_3\cos\varphi - \zeta_4\sin\varphi\right];$$

$$Q_1(\varphi) = \frac{E I_1}{R^3}\Delta w\left[\zeta_3\sin\varphi - \zeta_4\cos\varphi\right];$$

$$N(\varphi) = \frac{E I_1}{R^3}\Delta w\left[\zeta_3\cos\varphi + \zeta_4\sin\varphi\right].$$

Решения (3), (4) получены в общем виде. Они позволяют определить перемещения, угол поворота, усилия и момент при смещении в радиальном направлении правой опоры при любом центральном угле.

Так положив в выражениях (3), (4) $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ *и* $\varphi_k = \pi$, можно получить решения для полукруглого стержня(рисунок 2) :

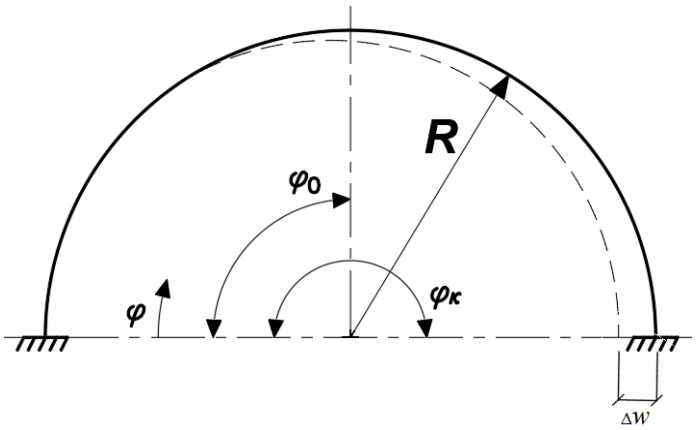


Рисунок 2

$$\upsilon(\varphi) = \Delta w\left[\zeta_5(\varphi - \sin\varphi) - \left(1 - \cos\varphi - \frac{1}{2}\varphi\sin\varphi\right)\zeta_6\right];$$

$$w(\varphi) = \Delta w\left[\zeta_5(1 - \cos\varphi) - \frac{1}{2}(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi)\zeta_6\right]; \qquad (5)$$

$$\vartheta_1(\varphi) = \frac{1}{R}\Delta w\left[\varphi\zeta_5 - (1 - \cos\varphi)\zeta_6\right];$$

$$M_1(\varphi) = -\frac{E I_1}{R^2}\Delta w\left(\zeta_5 - \zeta_6 \sin\varphi\right);$$

$$Q_1(\varphi) = -\frac{E I_1}{R^3}\Delta w\,\zeta_6 \cos\varphi;$$

$$N(\varphi) = \frac{E I_1}{R^3}\Delta w\,\zeta_6 \sin\varphi.$$

где

$$\zeta_5 = \frac{4}{8-\pi^2}; \quad \zeta_6 = \frac{2\pi}{8-\pi^2}.$$

При $\varphi = 0$:

$$M_1(0) = \frac{E I_1}{R^2}\Delta w\frac{4}{\pi^2 - 8}; \quad Q_1(0) = \frac{E I_1}{R^3}\Delta w\frac{2\pi}{\pi^2 - 8}; \quad N(0) = 0. \qquad (6)$$

При $\varphi = \pi$:

$$w(\pi) = \Delta w; M_1(\pi) = \frac{E I_1}{R^2}\Delta w\frac{4}{\pi^2 - 8}; \quad Q_1(\pi) = -\frac{E I_1}{R^3}\Delta w\frac{2\pi}{\pi^2 - 8}; \quad N(\pi) = 0 \qquad (7)$$

Положив в выражениях (3), (4) $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi_k = \frac{1}{2}\pi$, можно получить решения для стержня(рисунок 3) :

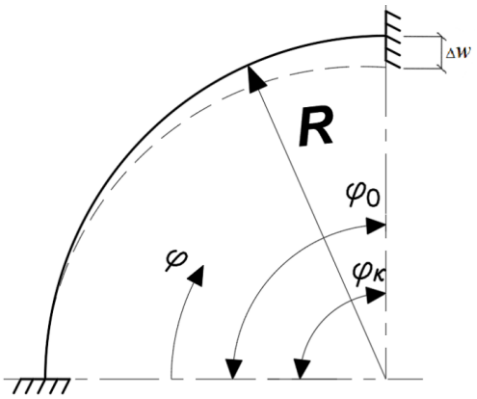


Рисунок 3

$$\upsilon(\varphi)=\Delta w\left[\varphi\zeta_7+\zeta_8\sin\varphi+\zeta_9\varphi\cos\varphi+\left(1-\cos\varphi-\frac{1}{2}\varphi\sin\varphi\right)\zeta_{10}\right];$$

$$w(\varphi)=\Delta w\left[\zeta_7+\zeta_8\cos\varphi+\frac{1}{2}\zeta_9(\cos\varphi-\varphi\sin\varphi)-\frac{1}{2}(\sin\varphi-\varphi\cos\varphi)\zeta_{10}\right];$$

$$\vartheta_1(\varphi)=\frac{1}{R}\Delta w\left[\varphi\zeta_7-\zeta_9\sin\varphi-(1-\cos\varphi)\zeta_{10}\right]; \qquad (8)$$

$$M_1(\varphi)=-\frac{EI_1}{R^2}\Delta w\left[\zeta_7-\zeta_9\cos\varphi-\zeta_{10}\sin\varphi\right];$$

$$Q_1(\varphi)=\frac{EI_1}{R^3}\Delta w\left(\zeta_9\sin\varphi-\zeta_{10}\cos\varphi\right);$$

$$N(\varphi)=\frac{EI_1}{R^3}\Delta w\left(\zeta_9\cos\varphi+\zeta_{10}\sin\varphi\right),$$

где

$$\zeta_7=\frac{8}{16-\pi^2-2\pi};$$

$$\zeta_8=\frac{2(16-\pi^2-4\pi)}{(\pi-2)(16-\pi^2-2\pi)};$$

$$\zeta_9=\frac{4(\pi^2-8)}{(\pi-2)(16-\pi^2-2\pi)};$$

$$\zeta_{10}=\frac{8(4-\pi)}{(\pi-2)(16-\pi^2-2\pi)}.$$

При $\varphi=0$:

$$M_1(0)=-\frac{EI_1}{R^2}\Delta w\frac{4(2\pi+4-\pi^2)}{(\pi-2)(16-\pi^2-2\pi)};\quad Q_1(0)=-\frac{EI_1}{R^3}\zeta_{10}\Delta w;\quad . \qquad (9)$$

$$N(0)=\frac{EI_1}{R^3}\zeta_9\Delta w..$$

При $\varphi = \frac{\pi}{2}$:

$$M_1\left(\frac{\pi}{2}\right) = -\frac{E I_1}{R^2}\Delta w \frac{16\,(\pi - 3)}{(\pi - 2)(16 - \pi^2 - 2\pi)}; \quad Q_1\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{E I_1}{R^3}\zeta_9\,\Delta w; \quad . \qquad (10)$$

$$N\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{E I_1}{R^3}\zeta_{10}\Delta w.$$

Для инженеров-проектировщиков, научных работников, аспирантов и студентов.

Литература

1. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник. Т.1.М.: Машиностроение, 1968. 831 с.

2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольц.– М.: Наука, 1968. – 416 с.

© Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Сурнин Д.А., 2017.

УДК: 624.612.45.042.3.046

Шамшина К.В.
аспирантка кафедры «Строительные конструкции»
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

КОРРОЗИОННЫЕПРОДОЛЬНЫЕ ТРЕЩИНЫ В ЗАЩИТНОМ СЛОЕ БЕТОНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЁСТКОСТЬ ОБЫЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

CORROSION LONGITUDINAL CRACKS IN THE PROTECTIVE LAYER OF CONCRETE AND THEIR EFFECT ON THE STRENGTH AND RIGIDITY OF CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Аннотация. По данным длительных натурных и кратковременных лабораторных экспериментальных исследований обычных железобетонных элементов получены геометрические зависимости изменения жёсткости и прочности на сжатие от ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с определением их количественных значений.

Ключевые слова: центральное ивнецентренное сжатие, коррозия арматуры, жёсткость, прочность на сжатие, железобетонные конструкции, коррозионные продольные трещины, долговечность.

Abstract. According to the short-term and long-term natural laboratory of experimental studies of plain concrete elements received geometrical the variation of hardness and compressive strength from the widths of longitudinal corrosion cracks in the protective layer of concrete measurement of their quantitative values.

Keywords: central and eccentric compression, corrosion, stiffness, compressive strength, reinforced concrete structures, corrosion of longitudinal cracks, durability.

Нормативный срок по долговечности железобетонных конструкций мостов различного назначения в России принимается не менее 80 лет, однако, средний срок службы значительной части заменяемых железобетонных пролётных строений составляет 35-45 лет [1].

Коррозия арматуры в результате карбонизации бетона и воздействия на неё хлорид – ионов приводит к многократному увеличению продуктов коррозии стали в объёме и появлению в защитном слое бетона коррозионных продольных трещин, способствующих нарушениюсцепления бетонас арматурой [2, 3, 4].

По данным натурного обследования шестидесяти трёхавтодорожных балочных железобетонных мостов в Саратовской областиустановлено, что накоррозионные продольные трещины в бетоне и разрушение защитного слоя бетона в результате коррозии арматуры приходится соответственно 12,7% и 57,1% от общего количества повреждений [1, 5].

Коррозионные продольные трещины в защитном слое бетона в изгибаемых железобетонных элементах из тяжёлого бетонабез предварительного напряжения нарушают сцепление с арматурой не менее 70% от первоначального значения и снижают несущую способность нормальных сечений до 30% [4].

Однако, в нормативных документах по расчёту и защите железобетонных конструкций от коррозии возникновение и наличие коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона не учитываются при определении их остаточных деформативных и несущих свойств [6].

Программа длительного натурного и кратковременного экспериментального исследования предусматривала изучение влияниягеометрических параметров коррозионных продольных трещин на изменение кратковременной прочности одиннадцати центрально сжатых железобетонных элементов, три из которых являлись контрольными, а также кратковременной жёсткости и прочности семи внецентренно сжатых железобетонных образцов, два из которых принимались контрольными.

По геометрическим размерам и механическим характеристикам состовляющих композитных материалов опытные железобетонные конструкции характеризуются как прямые модели железобетонных колонн. В верхней и нижней частях они имеют односторонние консоли длиной 12 см. Общая длина образцов и размеры их поперечного сечения в центральной части соответственно составляют 100 см и 12 х 10 см с толщиной защитного слоя бетона 15 мм, с армированием объемным арматурным каркасом с несущей арматурой 4ϕ 8мм класса А400 и распределительной - ϕ 5 мм класса B_p- 1. Бетон изготовленна портландцементе марки 400 и гранитном щебне фракции 5 -10 мм с водоцементным отношениемВ/Ц = 0,45.Для нейтрализации щелочи поровой влаги бетона и активизации коррозионного процесса на арматуре в бетонную смесь во времяизготовления образцов вводились хлорид – ионы в виде добавки 5% NaCl от массы цемента.

Опытные железобетонные конструкции в процессе длительного натурного испытания два раза в сутки увлажнялись водопроводной водой. По отношению к коррозии арматуры данные условия характеризуются как сильноагрессивные [7].

Ширина раскрытия коррозионных продольныхтрещин определялась с помощью трубки-микроскопа МПБ-2 с кратностью увеличения 24^xи ценой деления 50 мкм. Период до появления коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона на образцах с добавками составил 17 месяцев, приравнивающийся к 20-ти годам при эксплуатации железобетонных конструкций в слабоагрессивной жидкой среде с хлорид-ионами [8].

Опытные железобетонные элементы после3,2 лет натурного экспериментального исследованиябыли подвергнуты в лабораторных условиях кратковременному испытанию до разрушения соответственно центральной и внецентренной сжимающей нагрузкой для определения прочностныхи деформативных свойств. Испытанныеобразцы в агрессивных условиях имели глубину карбонизации бетона 5мм,в неагрессивных – 7мм, а среднюю прочность бетона на сжатие соответственно 32,1 и 32,2 МПа.

Кратковременная жесткость (D)внецентренно сжатыхобразцовопределяласьс помощью разработанной методики, позволяющей определить радиус кривизныпо величинам приращения линейных деформаций на сжатой и растянутой гранях [9].

Во время кратковременных лабораторных испытаний изгибающий момент возникал за счёт наличия эксцентриситета e = 30 мм между геометрическим центром центральной части колонны и точкой приложения сжимающей нагрузки.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает наличие геометрических зависимостей изменения прочности $P_{разр}$, жёсткости *D*образцов и соответствующих характеристик их изменения $\Delta P_{разр}$, $\Delta D_{разр}$ от значений ширины раскрытия (a_T^{cp}), $(a_{T_{мах}}^{cp})$и длины $(\lambda_T^{cp}),(\lambda_{T_{мах}}^{cp})$ коррозионных продольных трещин.

Графические зависимости прочности и жёсткости железобетонных моделей от геометрических параметров коррозионных продольных трещин при действии центральной и внецентренной приложенных сжимающих нагрузок приведены соответственно на рис. 1 и рис.2, а также нарис. 3. и рис. 4.

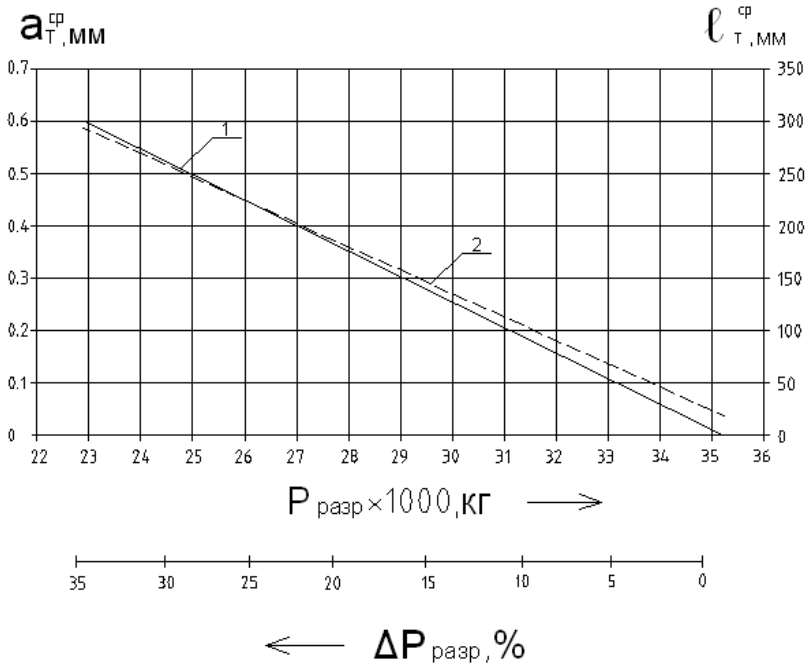


Рис.1.Измененииепрочности $P_{разр}$ и относительной величины еёуменьшения($\Delta P_{разр}$) при центральномсжатии от средних значений ширинираскрытия ($a_T^{ср}$) и длины ($\lambda_T^{ср}$)коррозионных продольных трещин 1 и 2 – соответственно:(-----) $a_T^{ср}$ и (------) $\lambda_T^{ср}$.

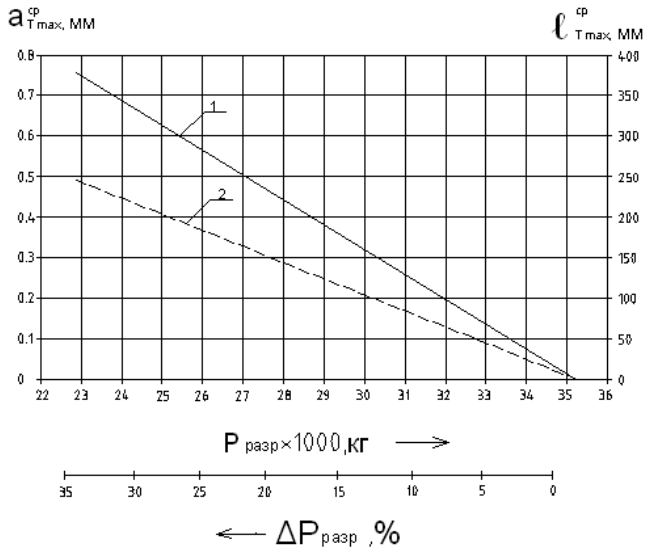


Рис. 2. Изменение прочности $P_{разр}$ иотносительной величины её уменьшения ($\Delta P_{разр}$) при центральномсжатии от средних максимальныхзначений ширины

раскрытия ($a_{T_{мах}}^{ср}$)и длины ($\lambda_{T_{мах}}^{ср}$) коррозионных продольных трещин; 1 и 2 – соответственно: (----) $a_{T_{мах}}^{ср}$ и (------) $\lambda_{T_{мах}}^{ср}$.

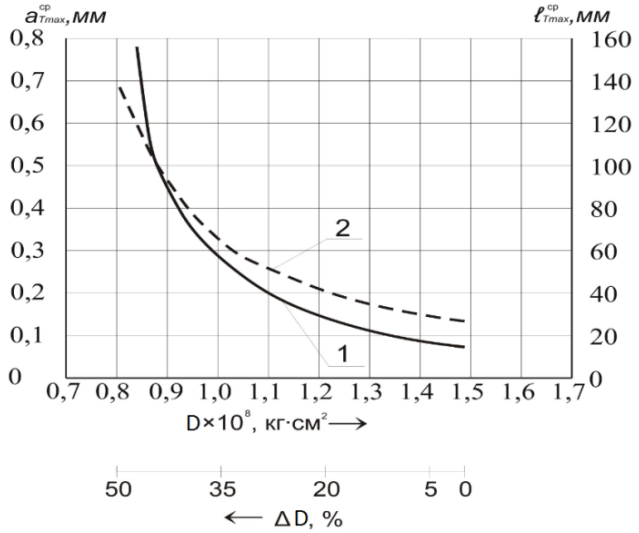


Рис.3.Изменение жёсткости *D*и относительной величины её уменьшения Δ*D* при внецентренном сжатии от среднихмаксимальных значений ширины раскрытия($a_{T_{мах}}^{ср}$)и длины ($\lambda_{T_{мах}}^{ср}$)коррозионных продольных трещин, где 1 и 2 –соответственно: (——) $a_{T_{мах}}^{ср}$ и(- - -) $\lambda_{T_{мах}}^{ср}$.

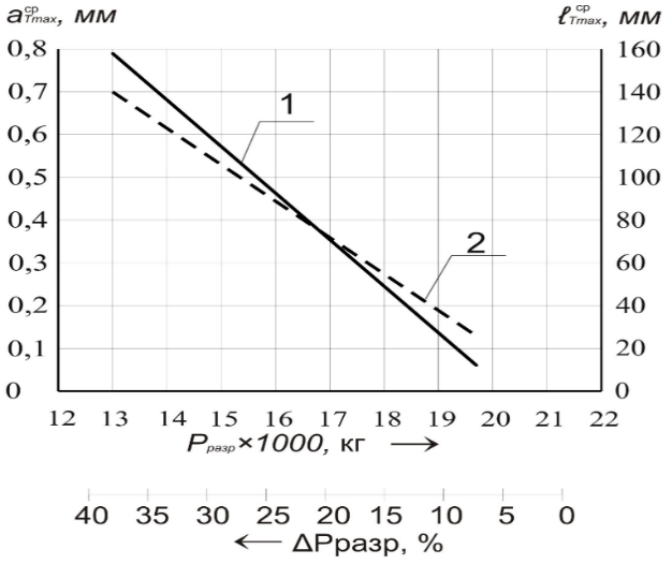


Рис.4. Изменение прочностина сжатие $P_{разр}$ и относительной величиныеё уменьшения $\Delta P_{разр}$ при внецентренномсжатии от средних максимальных

значенийширины раскрытия ($a_{T_{ср}}^{ср}$)и длины($\lambda_{T_{мах}}^{ср}$) продольных трещин, где 1 и 2 – соответственно: (——) $a_{T_{ср}}^{ср}$ и(- - -) $\lambda_{T_{мах}}^{ср}$.

По результатам проведённого экспериментального исследования получены следующие выводы:

1) коррозионные продольные трещины с усреднёнными показателями $a_{T_{мах}}^{ср} = 0{,}750$ мм, $a_{T}^{ср} = 0{,}602$ мм и $\lambda_{T_{мах}}^{ср} = 243$мм, $\lambda_{T}^{ср} = 295$мм в защитном слое бетонапри действии центральной сжимающей нагрузки снижаютпрочность прямых моделей железобетонных конструкций на 35,9%;

2) коррозионные продольные трещины с $a_{T_{мах}}^{ср} = 0{,}788$ мм и $\lambda_{T_{мах}}^{ср} = 140$ ммуменьшаютжёсткость внецентренно – сжатых с малым эксцентриситетом e= 30мм прямых моделей железобетонных конструкций на 50,3%, а прочностьна 38,4%;

3) центрально приложенная сжимающая нагрузка по сравнению с внецентренной с малым эксцентриситетом сжимающей нагрузкой при одинаковых геометрических параметрах коррозионных продольных трещин на 7% меньшеснижает несущую способность опытных железобетонных образцов;

4) данные экспериментальные результаты изменения прочности и жёсткостиобычных железобетонных элементов могут быть учтеныпри подготовке новых редакций по проектированию и защите железобетонных конструкций, испытывающих воздействие хлоридсодержащих сред.

Литература

1. Маринин А.Н. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации / А.Н. Маринин, Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников. Саратов: «Рата», 2008. – 259 с.

2. Алексеев С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.

3. Пинус Б.И. Поведение железобетонных конструкций в сооружениях химической промышленности/ Б.И. Пинус,// Бетон и железобетон – 1978. - №11 – С. 37-38.

4. Филатов В.Б. Влияние эксплуатационных повреждений, снижающих сцепление арматуры с бетоном, на прочность изгибаемых железобетонных конструкций: специальность 05.23.01:дисс. канд. техн. наук./НИИЖБ. Москва, 1988. 250с.

5. Маринин А.Н. Состояние железобетонных мостов Саратовской области/А.Н. Ма-ринин, И.Г. Овчинников//Надёжность и долговечность строительных материалов и конструкций: материалы III Междунар. Науч.-техн. конф: в 4ч. – Волгоград: Волг. ГАСА, 2003 – Ч.1. – С.92-95.

6. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Часть2: моногрф. / В.Н. Мигунов. - Пенза: ПГУАС, 2013. – 304.

7. Мигунов В.Н. Влияние внутренних факторов на скорость образования продольных трещин железобетонных конструкций с учетом коррозионного поражения арматуры класса А-Iи А-III/ В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. - 2003. - №3. - С. 121-123.

8. Мигунов В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение

арматуры в трещинах железобетонных конструкций / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. - 2002. - №10. -С. 134-137с.

9. Мигунов В.Н. Длительные экспериментальные исследованиямоделей железобетонных конструкций с трещинами в агрессивной хлоридсодержащей среде: моногр/В.Н. Мигунов. Пенза: ПГУАС, 2016 – 404с.

© Шамшина К.В., 2017

УДК 004.8

Юшков В.С.
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет - Анапский филиал», г. Анапа, Россия
Ерёменко Д.О.
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
г. Севастополь, Россия

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS AN INNOVATIVE TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH

Аннотация. Развитие информационных технологий в настоящее время позволил создавать роботизированные комплексы с искусственным интеллектом (ИИ). В данной статье представлены основные требования, которыми должен удовлетворять искусственный интеллект. Рассмотрены направления практического применения ИИ. Искусственный интеллект в данный момент времени разрабатывается и в высших учебных учреждениях России, что позволяет применить теоретические знания

преподавателей, доцентов, профессоров, а также студентовв практической деятельности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, данные, размышление, моделирование.

Abstract. The development of information technology has now allowed the creation of robotic complexes with artificial intelligence (AI). This article presents the basic requirements that artificial intelligence should satisfy. Directions of practical application of AI are considered. Artificial intelligence is currently being developed in Russia's higher educational institutions, which allows the use of theoretical knowledge of teachers, associate professors, professors, and students in practical activities.

Keywords: artificial intelligence, data, thinking, modeling.

В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) представляет собой научное направление, которое находится на стыке таких дисциплин, как: информатика, философия, психология, математика кибернетика, физика и др. и является одной из передовых областей исследований ученых. Искусственный интеллект на данный момент времени – это программа, которая может реагировать на ситуацию, не имея при этом четко прописанного алгоритма реагирования на какую либо ситуацию, которая умеет учиться и размышлять.

Чтобы программа считалась системой ИИ, в ней должны присутствовать следующие элементы:

1. Сбор данных - это может быть, как ввод запроса с клавиатуры, так и информация с камер, микрофонов, а также различных датчиков.

2. Обработка данных - как человек из огромного количества информации воспринимает только нужные ему образы, так и система

ИИ должна выделять только ту информацию, которая будет важна для решения задачи.

3. Размышление - программа на основе собранной и обработанной информации проводит процесс рассуждения для решения конкретно поставленной задачи.

4. Общение с пользователем или с машиной на их языке.

Искусственный интеллект используется в различных областях науки и техники, тем самым увеличивая производительность труда человека [1, 2].

Существует два базовых подхода к разработке искусственного интеллекта:

1. нисходящий, или символьный подход подразумевает создание баз знаний, экспертных систем и систем логического вывода. Предполагается, что система сможет имитировать мышление, рассуждение, речь, эмоции, даже творчество. Это путь наиболее проработанный, но соответствующие программы до сих пор весьма далеки от человеческого мышления.

2. восходящий, предполагает, что искусственные нейронные сети смогут моделировать архитектуру, свойства и поведение своего биологического прообраза, что приведет к созданию интеллектуального нейрокомпьютера.

Так в России все больше уделяется внимание развитию робототехники с использованием искусственного интеллекта [3].

К последним разработкам в этой области следует отнести робот «Емеля» от i-Free, способный понимать естественный язык и общаться с детьми. На первом этапе робот запоминает имя и возраст ребенка, подстраиваясь под его возрастную группу. Также он может понимать вопросы и отвечать на них – например, говорить о прогнозе погоды или рассказать факты из «Википедии». Однако кроме гражданского применения роботов, они широко используются в военных

целях, служат помощниками человека приликвидации стихийных природных катастроф.

В других странах роботы пользуются большей популярностью. Например, в китайской провинции Хэнань на вокзале для скоростных поездов служит настоящий робот-патрульный, который может сканировать и распознавать лица пассажиров.

Cassie – двуногий робот с удаленным управлением.

Американская компания AgilityRobotics создала двуногого робота-страуса длядоставки товаров и поисково-спасательных операций.

Одним из лучших примеров разработки искусственного интеллекта является суперкомпьютер IBM Watson. Он оснащён вопросно-ответной системой искусственного интеллекта и понимает сформулированные на естественном языке вопросы, находя на них ответы в базе данных. IBM заявили о том, что когнитивные вычисления стали возможны и система, способная понимать, делать выводы и обучаться самостоятельно без внешнего вмешательства.

На сегодняшний момент можно выделить следующие основные направления практического применения Искусственного Интеллекта:

1. Распознавание образов - это медицинская диагностика, предсказание погоды. В последнее время основная часть работ в этой области ориентирована на анализ ситуаций (сцен), а не отдельных объектов (например, печатных знаков).

2. Использование естественного языка - под этим подразумевается разработка систем «вопрос-ответ» и систем автоматического перевода.

3. Экспертные системы - в них воплощаются большие объемы знаний и навыков, присущих эксперту – человеку. Эти системы представляют большую ценность, в частности, в медицинской диагностике, в геологии, а также в некоторых других областях.

4. Моделирование игр - программы ведения игр, несмотря на их простоту, ставят перед исследователями новые вопросы, включая вариант, при котором ходы противника невозможно определенно предугадать.

5. Доказательство теорем - данная область пересекается с определенными областями математики и решением проблем в ряде других областей (например, в робототехнике).

6. Нейронные сети - включает как обработку видеоизображений, так и их преобразование в векторные графические модели, автоматизацию построения и анализа объектов моделей или местности с учетом динамики их развития, получения аналитических решений в графическом виде в режиме реального времени и т.д.

Таким образом, искусственный интеллект не является угрозой для человека, он необходим, как инструмент в различных областях.Однако при конструировании новых машин человек всегда должен осознавать, какие возможны последствия от их применения [4]. Программы для этих машин должны четко следовать задаваемому алгоритму выполнения определенной задачи, в противном случае, могут быть не только положительные, но и вредные последствия.

Литература

1. Поезжаева Е.В., Юшков В.С. Робот – змея для технической диагностики и ремонта трубопроводов // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2011. № 14. С. 93-98.

2. Поезжаева Е.В., Юшков В.С. Управление движением змеевидного микроробота // В сборнике: Технические науки: проблемы и перспективы Материалы Международной научной конференции. 2011. С. 205-208.

3. Поезжаева Е.В., Юшков В.С. Роботизация нанесения дорожной горизонтальной разметки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1-3. С. 586-589.

4. Юшков В.С. Молодежный экстремизм как результат развития информационных технологий // Молодой ученый. 2017. № 4 (138).С. 582-583.

© Юшков В.С., Еременко Д.О., 2017

УДК 625.7:621.317

Юшков В.С.
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет - Анапский филиал», г. Анапа, Россия
Овчинников И.Г.
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» г. Пермь, Россия
ФГБОУ ВО Национально исследовательский ядерный университет «МИФИ» Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Балаково, Россия
Пугин К.Г.
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» г. Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЛОС ДВИЖЕНИЯ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ В ВИДЕ ВИБРОПОЛОС НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

INVESTIGATION OF MATERIALS USED TO VISUALIZE LANES AND ARTIFICIAL IRREGULARITIES IN THE FORM OF VIBRO-BANDS ON HIGHWAYS

Аннотация.Одним из актуальных вопросов для снижения аварийности на автомобильных дорогах является выбор материалов

горизонтальной дорожной разметки. В работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований достоинств и недостатков различных материалов, применяемых для дорожной разметки (красок, спрейпластика, цветного асфальтобетона). Исследуется также применимость материалов для дорожной разметки на искусственных неровностях в виде виброполос, предотвращающих выезд транспортного средства на полосу встречного движения и съезд в кювет.

Ключевые слова: автомобильная дорога, виброполоса, краска, спрейпластик, дорожное покрытие, полигон, разметочная машина.

Abstract: one of the topical issues for reducing accidents on highways is the choice of materials for horizontal road markings. The paper reviews the results of experimental studies of the merits and demerits of various materials used for road marking (paints, sprayplastic, colored asphalt concrete). The applicability of materials for road marking on artificial irregularities in the form of vibration strips preventing the vehicle from leaving the oncoming lane and going to the ditch is also investigated.

Keywords: road, vibro strip, paint, spray plastic, road surface, polygon, marking machine.

Состояние аварийности на автомобильных дорогах в Российской Федерации является одной из главных причин высокой смертности. Так на автомобильных дорогах нашей страны ежегодно погибают 35 – 37 тысяч человек и более 180 – 200 тысяч человек получают серьёзные ранения [1]. То есть можно сказать, что на дорогах России каждый день как бы разбивается самолет. Но если авария самолета долго обсуждается в СМИ, то к авариям на автомобильных дорогах все как-то привыкли и только в

последнее время проблеме обеспечения безопасности на автомобильных дорогах начинает уделяться повышенное внимание.

С учетом того, что расстояния между городами в нашей стране большие многим водителям,приходится совершать длительные переезды, в частности дальнобойщиками стремясь при этом скорее доехать до пункта назначения управляют транспортным средством в состоянии сильной усталости. Не соблюдение установленных нормативными документами времени отдыха приводит к тому, что водитель засыпаетза рулем. Следствием данного нарушения является выезд автомобиля в кювет или на полосу встречного движения.

Для предотвращения съезда автомобилей с дороги нами разрабатываются и исследуются способы снижения аварийности на дорогах с помощью устройства специальнойразметки, которая будит водителей.

В статье рассматривается возможность снижения аварийности дорожного движения путем применения искусственной неровности в виде виброполосы и ее визуализации для лучшей видимости.Данный тип полосы представляет собой систему выемок глубиной до 5 см, шириной от 10 до 15 см и длиной от 20 до 35 см, устраиваемых вдоль дороги.При этом геометрические параметры виброполосы назначаются по результатам специальнопроведенных теоретических и экспериментальных исследований, которые показали, что такой способ является наиболее подходящим для снижения аварийности на автомобильных дорогах [2, 3]. В соответствии с ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям безопасности дорожного движения» доказывает, что глубина

повреждений, для категорий дорог 1 А и 1 Б не более 5 - 7 см, что удовлетворяет полученным данным.

С целью визуализации данного типа искусственной неровности возможно применение красок, спрейпластика или цветного асфальтобетона (рис. 1) [4].

Рис. 1 Образцы цветного асфальтобетона

При движении колеса транспортного средства повиброполосе и даже при частичном наезде на нее, в салоне возникает вибрация. Главная задача виброполосы – разбудить засыпающих водителей или привлечь внимание отвлекшихся. В зимних условиях такие полосы должны ощущаться даже через слой снега или льда.

Для решения вопроса, какую краску для визуализации виброполос предпочтительнее использовать, были проведены специальные исследования, результаты которых приведены ниже.

Обеспечение безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах в условиях плохой видимости, зависит от наличия оптических ориентиров на дороге. В качестве, таких ориентиров выступают технические средства организации дорожного движения, к которым в первую очередь можно отнести горизонтальную дорожную разметка (ГДР) [5].

Наличие на поверхности автомобильной дороги линий и символов дорожной разметки обеспечивают выделение точных границ полос движения, мест остановки транспортных средств, участков, где ограничена и запрещена стоянка автомобилей, мест расположения пешеходных переходов [6].

Анализ практического использования ГДР в России и за рубежом показывает, что наносимая на проезжую часть разметка снижает аварийность на 5-30 %. При этом эффект восприятия водителем дорожной разметки резко ухудшается в условиях плохой видимости. Так, например, выпадение дождевых осадков, приводит к появлению водяной плёнки, создающаяся на поверхности световозвращающих стеклянных микрошариков (СМШ), что резко снижает эффект световозвращения [7].

Одной из важных характеристик, которой должна обладать дорожная горизонтальная разметка, является обеспечение длительного срока службы способность её в темное время суток или при плохих погодных условиях осуществлять визуальное восприятие водителем, обеспечивая тем самым безопасность дорожного движения. При этом, для того, чтобы при торможении транспортного средства не происходило заноса, разметка должна иметь высокое сцепление с колесом автомобиля. Данное свойство особенно важно для мотоциклистов, которые зачастую пренебрегают правилами дорожного движения, запрещающими езду по разметке, разделяющей транспортные потоки [8].

В результате проведенных сотрудниками кафедры автомобильные дороги и мосты (АДМ) Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) исследований были определены следующие основные факторы, от которых зависит срок службы дорожной разметки [9]: качество дорожного покрытия и его подготовка к нанесению

разметки; условия движения на участке нанесения разметки; соблюдение технологии устройства разметки; содержание дорожного покрытия.

Наиболее эффективным способом повышения долговечности разметки и, как следствие, уменьшения аварийности на дорогах является правильный выбор материалов в зависимости от условий её эксплуатации.

Экспериментальные исследования проводились на полигоне «Сосновый бор – Гайва» с применением разметочной машины.

Степень износа дорожной разметки определяется, как отношение площади изношенной разметки к изначально нанесенной и выражается в процентах [9]:

$$k = \text{В/Т} \cdot 100\%,$$

где В – количество точек, цвет которых не соответствует разметки; Т – общее количество точек выделенной области.

В экспериментальных исследованиях применялась краска АК-539, представляющая собой суспензию пигмента и наполнителей в растворе акрилового сополимера в толуоле с введением целевых добавок. Нанесение разметки на автомобильную дорогу требуется проводить в сухую погоду при температуре воздуха от плюс 19^{o} С и относительной влажности воздуха не более 65 %.

Нанесение краски на промерзшую, мокрую и пропитанную водой проезжую часть автомобильной дороги не допускается. Время высыхания слоя краски составило 15 мин,толщина слоя 0,4 - 0,6 мм. Норма расхода краски 0,6 - 0,8 кг/м^2. Эта краска имеет повышенную износостойкость и применяется для краевых полос и дорог с высокой интенсивностью.

Для нанесения дорожной горизонтальной разметки используют краску АК-503 «Колор-М». Наносится данная краска с помощью специальной разметочной машины (безвоздушным и воздушным

способами), а также вручную применяя валик или кисть. При этом наносить краску необходимо только после предварительного очищения дорожного полотна с асфальтобетонным покрытием при температуре не ниже +5° С и относительной влажности воздуха не более 85 %. Как показали исследования наиболее эффективнымявляется применение краски «Колор – М», т.к. она обеспечивает стойкость к истираемостипри интенсивном движении транспортных средств выше чем у других красок.

С целью повышения видимости в темное время суток и при плохих погодных условиях рекомендуется применять стеклянные микрошарики ШСО-250. Микрошарики наносили методом распыления на горизонтальную разметку не позднее 10 сек. после ее нанесения. При отсутствии специального оборудования микрошарики можно посыпать вручную. При этом оптимальным считается их заглубление в разметку на 50 % .

В настоящее время совместно с красками широкое распространение для разметки автомобильных дорог получили спрейпластики. Этот вид материалов не содержит растворителей, а необходимые для нанесения разметки текучие свойства приобретаются в результате плавления при температуре 150 – 220^{o} С. Одним из главных недостатков спрейпластика является его слабая погодоустойчивость (в регионах с холодным климатом), а также возможностьсрезания отвалами снегоуборочных машин в зимний период.

В Пермском крае наиболее распространенным материалом для маркировки дорожных покрытий является краска, а в более теплом Краснодарском крае наряду с использованием краски применяется и спрейпластик.

Явными преимуществами применяемых в дорожном хозяйстве красок (эмалей) являются: низкая стоимость материала и технологического

оборудования используемого для его нанесения; значительно небольшое время высыхания материала (краски); наличие трафаретного нанесения сложных по конфигурации элементов разметки.

Основной недостаток красок (эмалей) это использование в их рецептуре полимеров, не обеспечивающих необходимой светостойкости и прочности, что обуславливает быстрое истирание и выцветание краски в процессе эксплуатации разметки.

К основным направлениям по предупреждению дорожно-транспортных происшествий следует отнести:

- выполнение нормативных документов регламентирующих безопасность дорожного движенияи качество выполнения перевозочного процесса;

- систематической работе с водительским составом;

- контроле технического состояния и ежедневной предрейсовой проверке транспортных средств, их технического обслуживания и ремонта;

- эффективном использовании технических средств организации дорожного движения [10].

Выбор же оптимальных решений по применению современных материалов для дорожной разметки, в том числе и на участках с виброполосами, является сложной задачей, требующей учета как технических, так и экономических факторов.

Литература

1. Пеньшин, Н.В. Обеспечение безопасности дорожного движения на авто мобильном транспорте: учебное пособие / Н.В. Пеньшин, В.А. Молодцов, В.С. Горюшинский. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 116 с.

2. Юшков В.С., Овчинников И.Г. Обоснование геометрических параметров виброполосы устанавливаемой на автомобильных дорогах // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) https://naukovedenie.ru/PDF/33TVN517.pdf (доступ свободный).

3. Юшков В.С., Овчинников И.Г. Устройство виброполосы на автомобильных дорогах // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых: Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности. Могилев. - 2017. С. 226.

4. Пугин К.Г., Юшков В.С. Отходы металлургических предприятий для создания цветного асфальтобетона // Экология и промышленность России № 5. 2017. С. 4-7.

5. Васильев, А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учебник для вузов / А.П. Васильев, В.М. Сиденко; под ред. А.П. Васильева. – Подольск: АТП, 2010. – 304 с.

6. Абрамцумян, В. В. Системный анализ проблем обеспечения безопасности дорожного движения Текст. / В. В. Абрамцумян, В. С. Шкрабак, В. И. Сарбаев, В. В. Шкрабак, Н. В. Смирнов // СПб. изд-во СПАГУ, 1999, - 352 с.

7. Улевский В.В. Повышение эффективности световозвращения горизонтальной дорожной разметки: Дис. кан.тех.наук. – М., 2006. – 199 с.

8. Гост Р 52289 – 2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.

9. Бургонутдинов А.М., Юшков В.С., Юшков Б.С., Бурмистрова О.Н. Безопасность строительства автомобильных дорог // Учебное пособие. Перм. нац. исслед. политехн. ун-т – Пермь: Изд-во ОТ и ДО, 2014 – 162 с.

10. Кондратьев В.Д. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения: Автореф…. дис. д-ра тех. наук. – М., 2008. – 42 с.

© Юшков В.С., Овчинников И.Г., Пугин К.Г., 2017