МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

БАЛАКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СБОРНИК ТРУДОВ

III Международной
научно-практической конференции

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»

Балаково 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СБОРНИК ТРУДОВ

III Международной

научно-практической конференции

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»

Балаково 2017

УДК 621.311, 677, 620.9
ББК 31.4+35.71+31.19

Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (18-23 апреля 2017 года). М.; Балаково: НИЯУ МИФИ,: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. 334 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий», проводимой 18-23 апреля 2017 года. В БИТИ НИЯУ МИФИ.

Конференция проведена в рамках «Научной сессии БИТИ НИЯУ МИФИ» 17-23 апреля 2017 года.

Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов**:** актуальные проблемы и пути развития энергетики; транспортные, технологические машины и оборудование; перспективы развития машиностроительного производства; IT – технологии и автоматизация в технических системах и управлении; надежность зданий и сооружений объектов тепловой и атомной энергетики; проблемы химической технологии органических и неорганических веществ.

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

Редколлегия: М.Г. Шевашкевич (ответственный редактор),
В.А.Разуваев, Р.А. Кобзев, М.А. Фролова, В.П. Бирюков, В.М. Меланич,
Н.Г. Зубова, О.В. Виштак, М.С. Губатенко, А.А.Вандышева, Н.С. Голоскова

Статьи сборника издаются в авторской редакции.
Материалы получены до 10.04.2017

ISBN 978-5-7262-2435-0

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

Подписано в печать 15.05.2017. Формат 60х84 1/16
Печ.л. 24,6 Тираж 100 экз. Заказ №1
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал)
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
Типография БИТИ НИЯУ МИФИ
413853, Саратовская обл., г. Балаково, ул. Чапаева, д. 140

СОДЕРЖАНИЕ

III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»

СЕКЦИЯ 1:

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ»

ГУБАТЕНКО М.С., МИРЗАЕВ Д.В.

Оптимизация выбора конфигурации сети электроснабжения объектов……. 12

ДЕНИСЕНКО И.П., ПЕЧЕНЕГОВ Ю.Я., МАНСУРОВА Р.Р.

Анализ эффективности применения интенсификаторов теплообмена подогревателей нефти и водонефтяной эмульсии……... 16

ДЕНИСЕНКО И.П., ЛИВАНОВА Т.В.

Ветрогенераторы…….. 19

КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.

Одно из направлений развития нетрадиционной энергетики……. 23

НИКОЛАЕВ Ю.Е., ДУБИНИН А.Б.

Эффективность сооружения когенерационной установки в котельной г. Александрова… 27

РАЗУВАЕВ А.В., БЕЛОБОРОДОВ А.С., ПОПОВ С.С.

Газогенератор для решения экологических проблем……... 31

РАЗУВАЕВ А.В., КОСТИН Д.А., ШУМКОВА Ю.А., АГЕЕВА А.В.

Применение поверхностно-активных веществ для повышения эффективности паропоршневой машины……. 34

РАЗУВАЕВ А.В., РЕДЬКО И.Я., МАНСУРОВА Р.Р., ЛИВАНОВА Т.В.

Оценка основных размеров паропоршневой машины для котельной…… 39

УСТИНОВ Н.А., ГЕГЕЛЬ Г.Г.

Обзор двухроторных ветродвигателей для микроветроэлектростанций……... 42

УСТИНОВ Н.А., КУЧЕР А.В.

Ресурсосбережение в теплоэнергетике…….. 46

УСТИНОВ Н.А., МОРОЗОВ Л.А., САМСОНОВ Д.С., ТУРКОВ С.В.

Обеспечение энергонезависимости речных навигационных знаков…….. 50

УСТИНОВ Н.А., БЕЛОБОРОДОВ А.С., ПОПОВ С.С. 53

Термоакустический двигатель в теплоэнергетике……...

УСТИНОВ Н.А., ДОНЦОВА М.А., ЖУРАВЛЕВА В.В.

Применение мобильных гидродвигателей для аэрирования водоемов……. 56

УСТИНОВ Н.А., АНТИПОВ Р.Р., ФЕСТОВЕЦ А.В.

Применение аккумуляторов энергии в микроэнергетике…… 59

СЕКЦИЯ 2:

«ТРАНСПОРТНЫЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»

КОБЗЕВ Р.А., БОТОВ А.А.

Поиск оптимальной структуры металлоконструкции тяжелого козлового монтажного крана……. 63

КОБЗЕВ А.П., КОБЗЕВ Р.А.

Анализ механизмов уравновешивания массы стрелы портальных кранов 66

ВАНДЫШЕВА А.А., ВАНДЫШЕВ А.С.

Пути совершенствования конструкций циклонных аппаратов…….. 72

КОБЗЕВ Р.А., ЧИРКОВ А.А.

Определение оптимальных параметров металлоконструкции балансира механизма передвижения мостового литейного крана КМЛ-100/20……. 76

КОБЗЕВ А.П., КОБЗЕВ Р.А.

Анализ механизмов уравновешивания массы груза портальных кранов…….. 80

СЕКЦИЯ 3:

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

АРСЕНТЬЕВА Е.С., СЕВАСТЬЯНОВ Д.А., РУКИНА Е.С.

Усовершенствование способа регистрации сигнала снимаемого с динамометра УДМ-600 84

БИРЮКОВ В.П., МОСТОВОЙ В.Д.

Повышение точности токарной обработки путем применения электромагнитного исполнительного механизма……... 86

КОЛОКОЛОВ Е.И., КРАВЧЕНКО П.Д., КОСТИНА Д.А.

Установка для оценки влияния остаточных напряжений на склонность к образованию горячих трещин…… 94

КОСОГОВА Ю.П., ВАСИЛЬЧУК О.А., БРИЖ В.В.,

Применение наноматериалов в различных отраслях машиностроительного производства……..... 97

КУДАШЕВА И.О., ГОЛУБЕВ А.А.

Динамическое нагружение прецизионных деталей высокофорсированного дизеля в условиях использования поверхностно-активных веществ…… 100

МАРЬИНА Н.Л., ОВЧИННИКОВА Е.В., НИКОЛАЕНКО А.С., АКИМОВА Э.К.

Методика построения начальных технологических остаточных напряжений в пластически-деформированном поверхностном слое образца-свидетеля……. 104

МАРЬИНА Н.Л., АКИМОВА Э.К., КОБЛОВА Е.А., НИКОЛАЕНКО А.С., ПОПОВА Ю.А.

Определение запаса усталостной прочности шатунного болта форсированного дизеля… 110

МАРЬИНА Н.Л., АКИМОВА Э.К., КОБЛОВА Е.А., НИКОЛАЕНКО А.С., ПОПОВА Ю.А.

Повышение эксплуатационной надежности шатунных болтов форсированных дизелей... 115

МАРЬИНА Н.Л., ОВЧИННИКОВА Е.В., НИКОЛАЕНКО А.С., АКИМОВА Э.К.

Определение запасов прочности коренных шеек коленчатого вала форсированного дизеля…… 119

МУРИН С.В., САВВИН А.С.

Исследование влияния углов резца на процесс резания при токарной обработке……... 123

ПОПОВА А.В., АРТЁМОВА Д.В.

Определение нестандартных реакций связи…… 127

СОКОЛОВА Е.А., ТРЕТЬЯКОВ С.С.

Способы устранения отбела чугуна при литье в кокиль……. 130

СОКОЛОВА Е.А., СКРОБОВ С.П.

Применение промышленных роботов на автоматизированном участке литья в кокиль… 133

ТАРАНОВ С.С.

Эластичная механика торовых поверхностей…… 135

ЧЕРНЫШЕВ И.А., КРАВЧЕНКО П.Д.

Особенности системы управления процессом подъема упавших кассет в реакторе типа ВВЭР с помощью автоматических грузозахватных устройств……... 137

СЕКЦИЯ 4:

«IT – ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И УПРАВЛЕНИИ»

ВИШТАК О.В., ФРОЛОВ М.В.

Электронные образовательные ресурсы как базовый компонент информационно-образовательной среды……... 142

ГРИЦЮК С.Н., МАКСИМОВА Е.А.

Моделирование электромагнитного поля гидроэлектрического преобразователя расхода……..... 147

ГРИЦЮК С.Н., САМСОНОВ А.А., СИМОНОВ В.В.

Программная реализация лабораторного стенда для изучения микроконтроллеров…….. 150

ГРИЦЮК С.Н., СИМОНОВ В.В., САМСОНОВ А.А.

Учебный лабораторный стенд для изучения микроконтроллеров……. 155

ЕФРМОВА Т.А., ДАВЫДОВ Р.М.

Расчет надежности участка автоматизированной системы технического учета электроэнергии предприятия…….. 159

ЕФРЕМОВА Т.А., ЖАРЁНОВА И.С.

Модернизация системы автоматического управления маслоснабжением гидроагрегата Саратовской ГЭС……. 164

ЗАХАРЧЕНКО М.Ю.

Автоматизированный контроль качества деталей с применением гидроструйно-акустического метода ……. 168

ИГНАТЬЕВ А.А., САМОЙЛОВА Е.М.

Применение экспертной системы для поддержки решений в системе мониторинга технологического процесса…… 171

ИГНАТЬЕВ А.А., ДОБРЯКОВ В.А., ШАМСАДОВА Я.Ш.

Стохастическая модель динамической системы станка…….. 174

ИГНАТЬЕВ С.А., КАРАКОЗОВА В.А.

Определение допустимой подачи шлифовального круга по запасу устойчивости динамической системы для выбора режима обработки и учета в системе мониторинга… 177

КОРНИЛОВА Н.В.

Электрогидравлический стенд-имитатор аппарата циркуляции биологической жидкости 182

МЕФЕДОВА Ю.А., ПЕСТОВА Е.Д.

Разработка модели парогенератора атомной станции……. 186

МЕФЕДОВА Ю.А., НИКОЛАЕНКО А.С.

Моделирование исполнительного механизма волнового насоса…… 190

МЕФЕДОВА Ю.А., МЕРКУЛОВ А.С.

Разработка модели деаэратора атомной станции……. 194

МЕФЕДОВА Ю.А., УТЮМОВ А.А.

Оптимизация параметров цифрового БИХ-фильтра…… 198

МИЛЯЕВА Н.В., АБУШАЕВ И.Р.

Разработка нейронных сетей в Neural Network Toolbox…….. 202

ФРОЛОВА М.А., МОИСЕЕВА Ю.Р., ГРИДИНА Е.В.

Нейронные сети в энергетике……. 207

ФРОЛОВА М.А., АМАНТУРЛИЕВА Ю.Ж., АНИСИМОВА Н.О.

Применение технологий интеллектуального анализа данных в технике и управлении….. 210

ШУМАРОВА О.С., УТЮМОВ А.А.

Сравнительный анализ показателей фрактальности при нахождении дефекта…… 213

ЩЕГОЛЕВ С.С., МОТКОВ А.Г., ЗАХАРОВА А.С.

Анализ возможности автоматизации сбора информации о температуре теплоносителя с целью перераспределения тепловых потоков……... 217

СЕКЦИЯ 5:

«НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

ГОЛОВА Т.А.

Основные аспекты расчета железобетонных оболочек гипаров…… 222

МАГЕРРАМОВА И.А., ПОПОВА Ю.А., ГЛУХОВ А.Е.

Бетон для защиты от радиации…….. 226

МАГЕРРАМОВА И.А., БАШИРЗАДЕ С.Р., КОБЛОВА Е.А., АКИМОВА Э.К.

Базальтовый утеплитель……. 230

ПОПОВА Н.А., ПОПОВА Ю.А.

Результаты исследования архитектуры и дизайна интерьеров усадьбы Паисия Мальцева……... 233

ПОПОВА Н.А., ПОПОВА Ю.А.

Ретроспективный архитектурный анализ родовой усадьбы купцов Мальцевых…….. 237

ПОПОВА Н.А., КОБЛОВА Е.А.

Генезис архитектурно-градостроительной среды исторического города в связи с утратой духовных доминант……... 241

РАЩЕПКИНА С.А., БОЙЧУК С.В., ИЛЬИН В.Р.

Формообразование облегченных конструкций пирамидальной формы…… 245

СЕКЦИЯ 6:

«ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ»

ЗУБОВА Н.Г., МАЛКИНА К.А., КОЧНЕВА А.В.

Изучение химической стойкости армированных полимерных композиционных материалов…… 254

ЗУБОВА Н.Г., КОЧНЕВА А.В., МАЛКИНА К.А.

Исследование смачиваемости модифицированных химических волокон……. 256

ЗУБОВА Н.Г., БАРАНОВСКАЯ Л.В.

Математическое моделирование процесса модификации ПАН-ТЖ органосиланами……. 259

КОРОЛЕВА О.М., АРЗАМАСЦЕВ С.В.

Перспективы использования фосфогипса как наполнителя полиэфирных матриц……. 262

КОРЧИНА Л.В.

Изучение влияния аппретов различной химической природы на прочностные свойства модифицированной базальтовой нити и эпоксипластов на ее основе……... 265

КОСТЮЧЕНКО Е.А., ШАРОВА И.Г.

Исследование влияния фосфогипса на качество цемента и бетона…… 270

ЛИНЬКОВ М.В., АРЗАМАСЦЕВ С.В.

Полиолефиновая композиция с различными температурами плавления…….. 274

МОСТОВОЙ А.С., КАДЫКОВА Ю.А., ТАГАНОВА А.А.

Эпоксидные композиты, модифицированные микросферами оксида кремния…… 278

МОСТОВОЙ А.С., КАДЫКОВА Ю.А., НУРТАЗИНА А.С., ПРОКОПОВИЧ К.В.

Исследование влияния хромитовой руды на свойства эпоксидных композитов……... 280

МОСТОВОЙ А.С., КАДЫКОВА Ю.А., НУРТАЗИНА А.С., ЧЕБАКОВА К.А.

Изучение возможности использования тонкодисперсной кремнистой породы в качестве наполнителя полимерного композиционного материала……. 283

ПОПОВА С.С., ХОДЖАУДИ Х.А., ОКИШЕВА Н.А., РЯБУХОВА Т.О., СОЧНЕВА Ю.В.

Катодное оксидирование меди в водных растворах солей полианионных кислот……... 285

ТАГАНОВА В.А., ПИЧХИДЗЕ С.Я., БАЗИНА Д.А.

Технология производства уплотнительных манжет на основе политетрафторэтилена….. 291

ТАГАНОВА В.А., ПИЧХИДЗЕ С.Я., ХМЕЛЬКОВА Е.С., НИКОЛАЕНКО А.С.

Исследование методов вулканизации толстостенных резинотехнических изделий…… 294

ЦЫБИНА Ф.Б., МАЛЮТИНА К.Ю.

Получение гипсового камня из нейтрализованного фосфополугидрата сульфата кальция 296

ШУКЛИН Д.С., ШУКЛИН С.Г., БЫЧКОВА Е.В.
Влияние времени диспергирования УНТ на физико-механические показатели полиэфирной смолы…… 301
ЩЕРБАКОВ А.С., КУЧЕРЕНКО Е.В., АРЗАМАСЦЕВ С.В.
Использование бытовых и промышленных отходов минерального стекла в качестве эффективного наполнителя полимерматричных композитов……. 305
ЩЕРБАКОВ А.С., КУЧЕРЕНКО Е.В., АРЗАМАСЦЕВ С.В.
Новые эффективные минеральные наполнители полиэфирной матрицы……. 309
ЩЕРБАКОВ А.С., КУЧЕРЕНКО Е.В., АРЗАМАСЦЕВ С.В.
Минералонаполненные перспективные материалы для кузовного ремонта автомобилей на основе полиэфирной матрицы……... 113
ЩЕРБАКОВ А.С., КУЧЕРЕНКО Е.В., АРЗАМАСЦЕВ С.В.
Инновационный продукт для применения в строительных конструкциях - армирующие полимерные сетки СТРЭН…….. 317
ЩЕРБИНА Н.А., СОШКИНА Е.А.
Изучение эффективности взаимодействия замедлителей горения с полиакрилонитрильным волокном…… 320
ЩЕРБИНА Н.А., БЫЧКОВА Е.В.
Особенности структуры термопластичного полисахарида……. 323
ЩЕРБИНА Н.А., БЫЧКОВА Е.В., ПАНОВА Л.Г.
Полимерные композиционные биоразлагаемые материалы……... 327
ЩЕРБИНА Н.А., КУРСАКОВА А.И.
Технология переработки ионообменных смол……. 329

СЕКЦИЯ 1:
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ»

УДК 621.311

Оптимизация выбора конфигурации сети электроснабжения объектов

Губатенко М. С. к.т.н., доцент кафедры «Атомная энергетика»,
Мирзаев Д. Б., студент направления «Электроэнергетика и электротехника»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Решение задачи выбора оптимальной конфигурации электрической сети состоит из ряда последовательных этапов, первым из которых является этап разработки возможных схем сети.

В общем виде требования к комплексу схемы, номинального напряжения и основных параметров сети должны обеспечивать экономическую ее целесообразность при обеспечении обоснованной (или заданной) надежности электроснабжения потребителей электроэнергии и нормированного качества напряжения. Общие принципы экономически целесообразного формирования электрических сетей могут быть сформулированы следующим образом:

1. Схема сети должна быть по возможности (и обоснованно) простой и передача электроэнергии потребителям должна осуществляться по возможно кратчайшему пути;

2. Схемы электрических соединений понижающих подстанций также должны быть возможно (и обоснованно) простыми;

3. Следует стремиться проектировать электрические сети с минимальным количеством трансформаций напряжения;

4. Комплекс номинального напряжения и схемы сети должны обеспечивать необходимое качество электроснабжения потребителей и выполнение технических ограничений электрооборудования линий и подстанций.

Существуют различные целевые функции выбора оптимальной конфигурации сети, основанные на решении задачи Штейнера. Применительно к объекту исследования классическая задача Штейнера формулируется следующим образом. Задается расположение источника и потребителей электроэнергии в фиксированных точках. Требуется соединить источник с потребителями сетью таким образом, чтобы суммарная длина дуг сети была минимальной (под дугой здесь понимается ориентированный прямолинейный отрезок,

соединяющий две точки). Для минимизации общей длины разрешается вводить свободно размещаемые узлы сети (точки Штейнера – ТШ). Целевая функция имеет вид:

$$L=\sum_{i=1}^{n} l_i, \quad (1)$$

где L – сумма длины дуг сети; l i – длина дуги i, выходящей из точки i; n – число дуг.

Эта функция рассматривает только один параметр системы электроснабжения. Предлагается создать безразмерную целевую функцию, которая выбирает наиболее оптимальный вариант исходя из целого ряда параметров.

От выбора конфигурации сети будут зависеть дальнейшее развитие системы электроснабжения, радиус действия электрических сетей, технико-экономические показатели системы электроснабжения. Проектирование электрической сети производится на основании следующих данных:

- координаты подстанций потребителей;
- параметры подстанций;
- категории потребителей;
- географическое расположение подстанций;

Критерии выбора конфигурации сети:

- Стоимость;
- Потери напряжения ΔU, В;
- Потери активной мощности ΔP на линиях электропередачи и в трансформаторных подстанциях, кВт;

Существуют также критерии, которые ограничивают выбор конфигурации сети:

- надежность;
- резервирование.

Помимо них могут выбираться дополнительные критерии, это зависит от условий конкретной задачи. Если число подстанций потребителей велико, то вариантов конфигурации сетей становится очень много. Зависимость числа конфигурации от числа потребителей выражается следующей формулой:

$$N=P^2, \quad (2)$$

где N – число определяющее количество конфигураций,

P – количество подстанций потребителя.

Провести расчеты без автоматизированных средств и выбрать наиболее подходящий вариант конфигурации, отвечающий заданным критериям, очень трудно. Данный процесс очень долгий и трудоемкий. Для решения данной задачи была разработана целевая безразмерная функция, которая позволяет выбрать вариант конфигурации сети по тем

критериям, которые мы зададим. Данная функция может быть представлена следующим образом:

$$F(C_T,\Delta U,\Delta P) = K_{CT}\frac{C_{Ti}}{C_{Tэ}}+K_{\Delta U}\frac{\Delta U_i}{\Delta U_э}+K_{\Delta P}\frac{\Delta P_i}{\Delta P_э}, \quad (3)$$

где $K_{ст}$ - весовой коэффициент стоимости;

$K_{\Delta U}$ - весовой коэффициент потери напряжения;

$K_{\Delta P}$ - весовой коэффициент потери мощности;

$C_{тэ}$- стоимость эталонной сети;

C_{ti}- стоимость i-ой конфигурации сети;

ΔU_i - потери напряжения i-ой конфигурации сети;

$\Delta U_Э$ - потери напряжения эталонной сети;

ΔP_i - потери мощности i-ой конфигурации сети;

$\Delta P_Э$ - потери мощности эталонной сети.

Допустим, при проектировании сети была поставлена задача выбрать вариант конфигурации, который бы был наиболее экономически выгодный прежде всего, а потери напряжения и мощности входили в допустимый диапазон. Тогда весовой коэффициент стоимости задается равным 0,8 (80%), а весовые коэффициенты потери напряжения и мощности по 0,1 (10%) каждый. Тогда на основе данных, рассчитанных для каждой возможной конфигурации сети, при помощи данной функции выбирается наиболее выгодный вариант. Так как функция является безразмерной, возможно использовать ее не только для одной какой-то конкретной задачи. Используя функцию аналогичного вида можно осуществлять дополнительно и выбор оборудования систем электроснабжения по сравнению с каким-либо вариантом с учетом габаритов, стоимости, показателей надежности и т.д. Это является ее основным преимуществом над другими программными комплексами.

В качестве результатов расчета возможно рассматривать, например, график зависимости значений функции от номера рассматриваемого варианта (рис. 1).

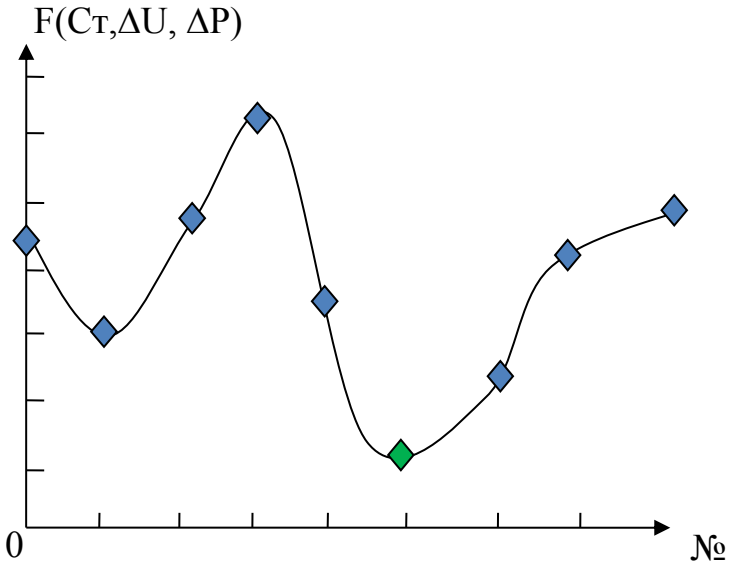


Рис.1 График зависимости $F(C_T,\Delta U,\Delta P) = f(№ варианта)$

Использование такой безразмерной целевой функции оптимального выбора конфигурации и оборудования электрической сети в автоматизированных системах расчета является актуальным вопросом. Это значительно снизит трудоемкость расчетов, а также позволит учесть максимально возможное количество рассматриваемых параметров при выборе оптимального варианта. Рассмотренный в статье подход ориентирован на создание унифицированных программных средств оптимизации выбора конфигурации систем электроснабжения и выбора оборудования.

Литература:

1. Боровиков В. А. Электрические сети энергетических систем : Учебник для энергетических и энергостроительных техникумов / В. А. Боровиков, В. К. Косарев, Г. А. Ходот . – 3-е изд., перераб . – Л. : Энергия, 1977 . – 392 с.

2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.

3. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. – 3-е изд./под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 352 С.

4. Лоскутов, А.Б. Новый подход к построению электрических распределительных сетей России / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова». Белгород. – 2011. №3. С. 148–152.

5. Соснина, Е.Н. Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ / Е.Н. Соснина, А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов // Промышленная энергетика. – 2012. № 5. С. 11–17.

УДК 620.9

Анализ эффективности применения интенсификаторов теплообмена подогревателей нефти и водонефтяной эмульсии

[1]Денисенко И. П., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;
[2]Печенегов Ю. Я., доктор технических наук, профессор кафедры
«Машины и аппараты нефтегазовых, химических и пищевых производств»;
[1]Мансурова Р. Р., студентка направления «Теплоэнергетика и теплотехника»
[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково;
[2]Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов

Каждое предприятие энергетического комплекса страны стремится сократить как экономические затраты, так и затраты ресурсов на изготовление и эксплуатацию оборудования. Этого можно достичь путем уменьшения его массы и габаритов.

В частности, для сокращения металлоемкости конструкции транспортабельных блочных подогревателей нефти и нефтяной эмульсии можно интенсифицировать процессы теплообмена, протекающие в подогревателях.

В данной работе приводятся результаты исследования, проведенного с целью установления эффективности интенсификации теплообмена нагреваемого продукта путем вставки в продуктовые трубы подогревателя проволочной спирали. Этот способ интенсификации теплообмена описан в [1].

Для определения технико-экономической эффективности интенсификации теплообмена путем вставки в трубу проволочной спирали использовался относительный затратный параметр, представляющий собой частное от отношения переменных частей годовых расчетных затрат для продуктовой трубы с проволочной вставкой и для гладкой трубы без нее

$$\Phi/\Phi_{гл} = \frac{\alpha \cdot \zeta_{гл} \cdot ц_э \cdot n \cdot \vartheta^3 \cdot \rho_{эм}/(8000 \cdot \eta) + (ц_м \cdot \delta_{ст} \cdot \rho_м)}{\alpha_{гл} \cdot \zeta \cdot ц_э \cdot n \cdot \vartheta^3 \cdot \rho_{эм}/(8000 \cdot \eta) + 1{,}15 \cdot (ц_м \cdot \delta_{ст} \cdot \rho_м)} \quad (1)$$

где $\alpha, \alpha_{гл}$ – коэффициент теплоотдачи трубы с интенсификатором и гладкой трубы соответственно; ζ, $\zeta_{гл}$– коэффициент гидравлического сопротивления трубы с интенсификатором и гладкой трубы и соответственно; $ц_э \cdot n$ – полные затраты на электроэнергию за Т лет эксплуатации; ϑ – скорость движения нефтяной эмульсии; 1,15 – коэффициент удорожания змеевика с интенсификатором. Коэффициенты теплоотдачи и

сопротивления определялись по рекомендациям 1 – 5.

Все необходимые расчеты велись с использованием данных, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

$D = 0{,}081$ м	внутренний диаметр продуктовых труб
$t_{эм} = 35°C$	средняя температура нагреваемого продукта
$\nu_{эм} = 35 \cdot 10^{-6}$ м^2/с	коэффициент кинематической вязкости продукта
$\rho_{эм} = 880$ кг/м^3	плотность
$ц_э = 4$ руб/кВтч	стоимость электроэнергии для привода нагнетателя
$\rho_м = 7856$ кг/м^3	плотность материала продуктовых труб
$\eta = 80$ %	КПД привода
$ц_м = 52$ руб/кг	цена материала труб на момент постройки подогревателя
$\delta_{ст} = 0{,}004$ м	толщина стенки труб
$T = 3$ года $= 26280$ ч	время эксплуатации подогревателя

На рисунках 1. *а*, 1. *б*, 1. *в* и 1. *г* представлена обобщенная теплогидравлическая зависимость $(Nu/Nu_{гл})/(\zeta/\zeta_{гл}) = f(S/D)$ для различных значений относительного шага S/D={0,1÷1} при рекомендуемых скоростях движения теплоносителя v={0,5; 1; 1,5; 2} и отношениях диаметра кольца вставки к диаметру трубы d/D={0,94; 0,96;0,98}

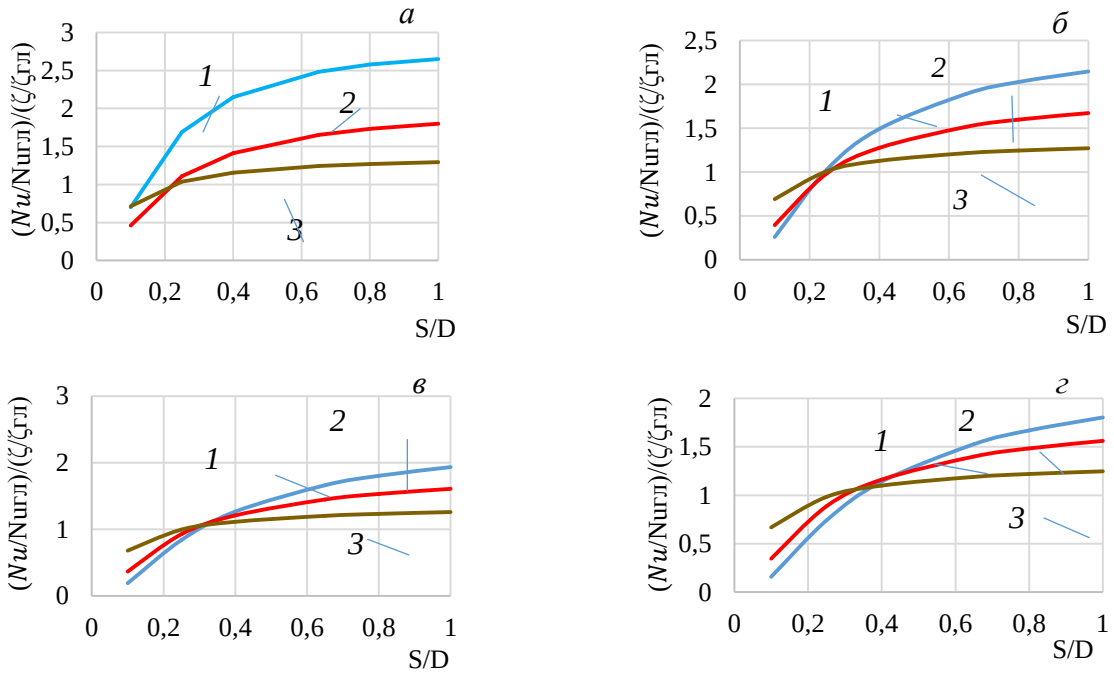


Рис.1: зависимость $(Nu/Nu_{гл})/(\zeta/\zeta_{гл})$ от относительного шага (S/D) при скорости теплоносителя: а – 0,5 м/с; б – 1 м/с; в – 1,5 м/с; г –2м/с: 1 – d/D=0,94; 2 – d/D=0,96; 3 – d/D=0,98

Для труб подогревателя наиболее оптимальным является отношение диаметра кольца

вставки к диаметру трубы d/D=0,94. Именно оно дает максимальный эффект при любых скоростях движения нефтяной эмульсии.

Из рис. 1 следует, что с возрастанием скорости движения теплоносителя эффективность интенсификации теплообмена проволочной вставкой значительно снижается. Это говорит о том, что установка проволочной спирали тем эффективнее, чем меньше число Re.

Согласно [5], сравнение объемов продуктовой трубы с интенсификатором и гладкой трубы можно выполнить по формуле:

$$\frac{V}{V_{гл}} = \frac{(\zeta/\zeta_{гл})_{Re}^{0,4}}{(\alpha/\alpha_{гл})_{Re}^{1,4}} \qquad (2)$$

С точки зрения массогабаритных показателей установка проволочной спирали для интенсификации теплообмена эффективна при малых значениях числа Re (рис. 2).

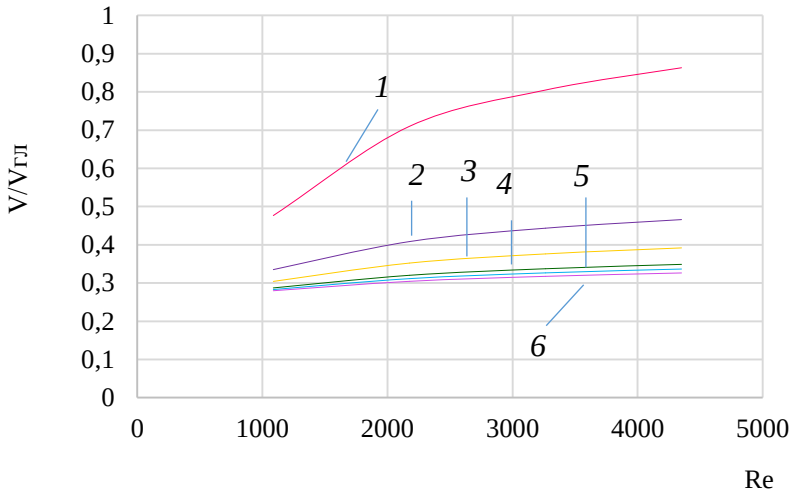


Рис. 2. Зависимость $V/V_{гл}$ от числа Re: 1 – S/D=0,1; 2 – S/D=0,25; 3 – S/D=0,4; 4 – S/D=0,65; 5 – S/D=0,8; 6 – S/D=1

Итак, применение в трубчатых подогревателях проволочной спирали для интенсификации теплообмена позволяет повысить интенсивность протекающих процессов. Из приведенных расчетов следует, что проволочная вставка обеспечивает уменьшение объемов конструкции и, как следствие, снижение металлоемкости в 3,6 раза при рекомендуемых скоростях движения вязкой нефти.

Литература:

1. Щукин В. А. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил: учебник/ Щукин В. А.- М.: Машиностроение. 1980. -240с.

2. Доник Т. В. Теплогидравлическая эффективность и качество интенсификаторов теплообмена закручивающего типа: статья/ Т. В. Доник, А. А. Халатов – Восточно-

Европейский журнал передовых технологий. №2, 2012. С.43-46.

3. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах: учебник/ Э. К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А Ярхо - М.: Машиностроение, 1990 - 200с.

4. Лаптев А. Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учеб. пособие/ А. Г. Лаптев, Н. А. Николаев, М. М. Башаров - М.: «Теплотехник», 2011. -335 с.

5. Дрейцер Г.А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах/ Теплоэнергетика. №11, 1997. С.61-65.

УДК 620.98

Ветрогенераторы

Денисенко И. П., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;
Ливанова Т. В., студентка направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) — устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Ветрогенераторы можно разделить на три категории: промышленные, коммерческие и бытовые (для частного использования).

Принцип работы домашнего ветряка довольно прост. К генератору в энергоцепочке присоединяется контроллер. Он преобразует трехфазный переменный ток в постоянный и направляет его на зарядку аккумуляторов. Большинство бытовых приборов не может работать от постоянного тока, поэтому за аккумуляторами ставится другое устройство – инвертор. Он выполняет обратную операцию: превращает постоянный ток в переменный, с напряжением 220 Вольт. Понятно, что эти преобразования не проходят бесследно и забирают от исходной энергии довольно приличную часть (15-20%).

Для получения максимальной мощности ветряной генератор должен располагаться вдоль ветрового потока. В простых системах реализуется принцип флюгера. Для этого на противоположном конце генератора закрепляется вертикальная лопасть, разворачивающая его навстречу ветру.

В более мощных установках стоит поворотный электромотор, управляемый датчиком направления.

Конечно, ветрогенератор проверяют перед тем, как пускать в производство.

Рассмотрим генератор, испытания которого проводились в центре материаловедения на испытательном стенде. Для испытания ветрогенератора с него были сняты носовая часть и крылья. Генератор тока ветрогенератора был подключен к валу токарного станка, который вращался с различной скоростью, создавая различный крутящий момент для генератора тока, имитируя ветер. Генератор тока ветрогенератора был подключен через контроллер и инвертор к аккумуляторным батареям. Подключая последовательно в цепь от генератора тока, ведущую к аккумуляторам, амперметр — фиксировался ток. По знаку тока определялось питание идет от аккумуляторов к нагрузке в виде лампочки (положительный ток) или лампочка питается от генератора тока и одновременно заряжаются аккумуляторы на тот случай если не будет ветра.

Испытания показали, что при некотором крутящем момента генератора тока ветрогенератора ток имеет отрицательный знак, что означает зарядку аккумуляторов, подключенных к ветрогенератору. Зная количество оборотов вала токарного станка в минуту и размах крыльев ветрогенератора, можно вычислить при какой скорости ветра начнется подзарядка стационарных аккумуляторов.

Для проверки лопастей в ветрогенератора устанавливается предел прочности.

Для этого лопасть закрепляют за основание, к её концу приделывают груз и раскачивают его. Таким образом можно установить предел прочности. Для увеличения прочности нужно повысить содержание стеклоткани, особенно в зоне основания лопасти.

Лучший вариант – стеклоткань с одним направлением нити. Это повысит прочность лопасти в два раза при том же весе, что является важным преимуществом, так как основные силы, действующие на лопасть, зависят от её веса.

Испытание и проверка мощности ветрогенератора производятся в заводских условиях: аэродинамическая труба с регулируемым потоком воздуха от стационарных вентиляторов. Так проверяются аэродинамические характеристики самолетов и всех корпусов автомобилей. Но этот способ не отражает реальных условий работы ветряной электрической установки.

В аэротрубе ветер дует в одну сторону с постоянным усилием, а в действительности он всегда несколько меняется как по скорости, так и по направлению. Понаблюдайте за поведением обычного флюгера. А ветрогенератор от него сильно отличается эффектами разгона и торможений.

Также для проверки ветрогенераторов строятся их небольшие модели.

В настоящее время существует множество конструкций ветрогенераторов. Все это множество можно условно разделить на два типа. Первый тип использует силу напора потока (ветряк с вертикальной осью вращения), второй тип использует подъемную силу ветра (ветряк с горизонтальной осью вращения). В большинстве случаев ветряк с вертикальной осью вращения использует силу напора потока (парус), а ветряк с горизонтальной осью вращения использует подъемную силу ветра (винт). Но существуют и исключения, например, ротор Дарье. Ось вращения у него вертикальная, но он использует подъемную силу ветра, как горизонтальный ветрогенератор.

Силы, действующие на ветряки. Возьмем пластину, стоящую поперек потока. Когда пластина стоит неподвижно, она испытывает максимальное давление ветра, но не выполняет никакой работы. Если пластина движется по направлению ветра, она выполняет какую-то работу, но уже испытывает меньшее давление ветра, так как убегает от него. Если пластина движется со скоростью ветра, она не испытывает никакого давления и не может выполнить никакой работы. Давно доказано, что максимальную работу пластина выполняет, если движется в три раза медленнее потока. Винт напротив выполняет максимальную работу, когда движется со скоростью потока. Если вспомнить, что мощность - это произведение силы на скорость, станет ясно, что винты в три раза эффективнее парусников. Если вспомнить теорию, КИЭВ идеального винта с горизонтальной осью вращения - 0,593 (Н.Е. Жуковский) 0,683 (Г.Х. Сабинин). У ветряков, использующих силу напора потока, теоретический КИЭВ - 0,192. То есть соотношение примерно такое же - три к одному. Кажется, все ясно: винты в три раза эффективнее парусников, но давайте не будем торопиться.

Эксплуатация ветрогенератора в условиях резко выраженного континентального климата предъявляет конструкциям довольно жесткие требования, для выполнения которых приходится усовершенствовать, усложнять конструкции, адаптируя их к эксплуатации в предложенных условиях.

Следующий пример. Возьмем два ветряка: винт и парусник. В качестве нагрузки будет генератор, который генерирует электроэнергию посредством пьезоэлектриков, на основе пьезоэффекта (как в зажигалке). То есть, основным требованием к ветряку будет создание максимального давления. Для работы необходимо надавливать и отпускать пьезоэлектрик, и чем быстрее и сильнее это делать, тем выше эффект. Рассмотрим парусник: пластина, стоящая поперек потока, испытывает максимальное давление и передает это давление посредством какого-то механизма на пьезоэлектрик. При переключении механизм разрывает связь между пластиной и пьезоэлектриком, пластина свободно движется по направлению ветра, пьезоэлектрик не испытывает никакого давления. Через секунду

механизм переключается, и пластина со всей силой потока и инерцией опять давит на пьезоэлектрик. Через секунду механизм переключается и т.д., и т.п. Рассмотрим винт: ему необходимо время, чтобы разогнаться до скорости ветра, затем торможение из-за создаваемого давления, и снова необходимо время для разгона. Мы видим, что парусник может сделать гораздо больше циклов "надавил-отпустил" чем винт за то же самое время. Пользуясь той же формулой "мощность - это произведение силы на скорость" теперь получим противоположный результат, теперь парусник гораздо эффективнее, чем винт.

На основании этих примеров можно сделать вывод, если нужно что-то быстро крутить, выгодно использовать подъемную силу ветра (винт). Если же сильно давить, выгодно использовать силу напора потока (парус).

Можно возразить, что таких генераторов нет. Сегодня нет, но никто не даст гарантию, что завтра не найдется человек, который придумает новый сверхэффективный пьезоэлектрик, на основе которого можно будет построить такой генератор. В настоящее время парусник превосходит винт, если стоит задача тянуть большую нагрузку, например, насос, где основные требования - высокий стартовый порог, большой крутящий момент, а скорость вращения - вторичный показатель. Но возможно в будущем, с появлением новых материалов, парусники как ветрогенераторы станут эффективнее винтов.

Вся вышеперечисленная информация используется для того, чтобы создать собственный ветрогенератор, в домашних условиях. Это поможет экономить энергию, вследствие чего расходы на её оплату государству уменьшатся, либо, при нужных параметрах и правильных расчётах, можно совсем перейти на использование альтернативных источников энергии, причём не только ветра, но и солнца и др.

Можно попытаться улучшить установку ветрогенератора для того, чтобы максимально использовать энергию ветра. Существует множество различных разработок, которые стремятся к этому.

Например, в данный момент ведётся разработка «сотового ветрогенератора».

Замена одного ветрогенератора на блок из небольших ветрогенераторов, расположенных по типу сот в пчелином улье.

Благодаря составлению блока установки из ветрогенераторов можно будет регулировать размеры установки, расположение в пространстве, контролировать (уменьшать, увеличивать) потребляемую мощность общей конструкции путём отсоединения, присоединения составных частей - ветрогенераторов, что невозможно сделать при составе конструкции из одного большого ветрогенератора. Данная установка не является стационарной и будет ориентироваться на ветер.

Ведётся расчёт влияния насадок на вырабатываемую генератором мощность.

Ветроэнергетика не стоит на месте. Несмотря на низкую эффективность ветроустановок, учёные не теряют надежды и разрабатывают всё новые и новые способы повышения максимальной пользы из использования ветра. Ветроэнергетика – часть светлого будущего, осталось только к нему прийти.

Литература:

1. Порохня А.В. Сравнительный анализ конструкций ветрогенераторов [Электронный ресурс]/А.В. Порохня – Режим доступа: https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/975-sravnitelnyy-analiz-konstrukciy-vetrogeneratorov.html, свободный

2. Лопасти генератора своими руками [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://energyfuture.ru/lopasti-vetrogeneratora-svoimi-rukami-proverka-prochnosti, свободный

3. Испытания ветрогенератора [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.dom.ua/content/view/352/384/, свободный

УДК 627.8

Одно из направлений развития нетрадиционной энергетики

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Атомная энергетика»;
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В настоящее время эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использование энергии небольших водяных потоков с помощью микро - и малых ГЭС. Это можно объяснить значительным потенциалом таких водяных потоков при сравнительной простоте их использования и практическим исчерпанием гидроэнергетического потенциала крупных рек в каждом конкретном регионе.

Инженерные сооружения малой гидроэнергетики можно поделить на два типа: “мини” - обеспечивающие единичную мощность до 5000 кВт, и “микро” - работающие в диапазоне от 3 до 100 кВт. Применение гидроэлектростанций малой мощности было широко распространено в России в 50-60-х годах, когда на различных по мощности и протяженности водяных потоках работало несколько тысяч малых ГЭС. В настоящее время в работе остаются всего нескольких сотен штук во многих городах России и бывших союзных республиках. Во многом применение таких малых ГЭС можно объяснить постоянным

ростом цен на электрическую энергию, доля которой в себестоимости производимой продукции составляет 20 и более процентов. В большинстве своем конструкции микро и малых ГЭС и способы управления ими достаточно просты и при этом обладают довольно высоким коэффициентом полезного действия (более 80%). Стоимость производства установок данного типа в 5-6 раз ниже, чем установок принципиально других типов, и при этом они требуют в несколько раз меньше обслуживающего персонала. На этом фоне начавшийся в настоящее время новый этап развития малой гидроэнергетики выглядит весьма перспективно и может найти свое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

В конструкцию малой ГЭС входит гидроагрегат, который включает в себя энергоблок, водозаборное устройство и элементы системы управления. В зависимости от скорости и направления используемого водяного потока малые и микро ГЭС можно разделить на несколько категорий:

- русловые или приплотинные станции, для работы которых необходимо наличие небольших водохранилищ;

- стационарные мини ГЭС, использующие при своей работе энергию свободного течения малых и средних рек;

- МГЭС, использующие при своей работе существующие перепады уровней воды;

- мобильные мини ГЭС, которые монтируются в контейнерах, а в качестве напорного водопровода используют пластиковые трубы или гибкие армированные рукава.

Гидроагрегат, являющийся главным звеном малой гидростанцию, базируется на турбине. При этом гидроагрегаты могут быть с:

- осевыми турбинами;

- радиально-осевыми турбинами;

- ковшовыми турбинами;

- поворотно-лопастными турбинами.

В настоящее время можно выделить четыре основных типа мини ГЭС [1, 2]:

Водяное колесо (рис.1) - это колесо с закрепленными к нему лопастями, которое устанавливается перпендикулярно поверхности воды. При этом колесо погружается в водяной поток меньше чем наполовину. Вода давит на лопасти и вращает колесо. Существуют также колеса-турбины со специальными лопатками, форма которых оптимизирована под струю жидкости, но такие конструкции считаются достаточно сложными и требует заводского изготовления.

Рис.1. Водяное колесо

Гирляндная мини-ГЭС (рис.2) - представляет собой трос, с жестко закрепленными на нем роторами. Трос перекинут с одного берега реки на другой и по всей его длине насажены роторы, которые полностью погружены в воду. Проходящий поток воды вращает роторы, которые в свою очередь вращают трос. Один из концов троса соединяется с подшипником, а второй конец с валом генератора специальной соединительной муфтой.

Рис.2. Гирляндная мини-ГЭС

Ротор Дарье (рис.3) **–** представляет собой вертикальный ротор, который вращается за счет разности давлений на его лопастях. Разница давлений на его лопастях создается за счет обтекания жидкостью сложных поверхностей. Эффект аналогичен подъемной силе судов на подводных крыльях или подъемной силе крыла самолета.

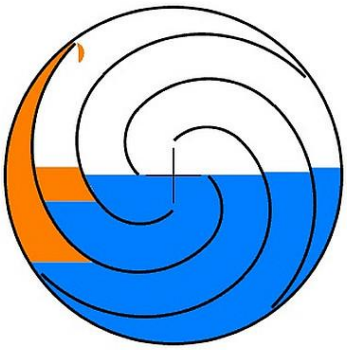


Рис.3. Ротор Дарье

Пропеллер (рис.4) - это подводный «ветряк» с вертикально расположенным ротором, лопасти которого имеют минимальную ширину, в отличие от воздушного ветряка. Для нормальной работы в водяном потоке достаточно лопасти шириной в 2 см. Применением лопасти указанной ширины достигается минимальное сопротивление и максимальная скорость вращения. Такая ширина лопастей обычно выбирается для скорости потока 0.8-2 метра в секунду. С увеличением скорости оптимальные размеры лопасти также будут изменяться.

Рис.4. Пропеллер

При выборе мини ГЭС необходимо учитывать достоинства и недостатки каждого из выше перечисленных типов. Недостатками гирляндной мини ГЭС являются: большая материалоемкость, опасность для окружающих, так как длинный трос с закрепленными на нем роторами скрыт под водой и полностью перегораживает реку, низкий коэффициент полезного действия, а сама гирляндная ГЭС представляет собой небольшую плотину. Основным недостатком Ротора Дарье является сложность его изготовления и необходимость его раскручивания в начале работы, но при этом его конструкция привлекательна тем, что ось ротора расположена вертикально и отбор вырабатываемой мощности можно производить над водой, без применения дополнительных передач. Вертикальная установка ротора обеспечивает его вращения при любом изменении направления водяного потока.

Анализирую представленные достоинства и недостатки каждого типа мини ГЭС можно сделать вывод, что с точки зрения простоты изготовления и получения максимального КПД с минимальными затратами рекомендуются конструкции типа водяное колесо или пропеллер.

Самую простую гидроэлектростанцию можно сконструировать из обычного велосипеда с динамкой, предназначенной для питания велосипедной фары. Для этого можно использовать листовое оцинкованное железо или не толстый листовой алюминий, из которых надо вырезать несколько лопастей (2-3), при этом лопасти должны быть шириной от 2 до 4 см и длинной от обода колеса до втулки. Заготовленные лопасти

устанавливаются между спицами и закрепляют любым подручным способом. Такая микро ГЭС не занимает много места и отлично послужит велотуристам - главное наличие ручья или небольшой речки - что обычно является основным при выборе места для разбивки лагеря. Мини ГЭС из велосипеда сможет освещать палатку и заряжать сотовые телефоны.

Литература:

1. Малые гидроэлектростанции (МГЭС) [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.gigavat.com/mini_ges.php

2. Бесплатное электричество - мини ГЭС своими руками [Электронный ресурс] – режим доступа: http://bazila.net/energetika-i-radioelektronika/besplatnoe-elektrichestvo-mini-ges-svoimi-rukami.html

УДК 621.311

Эффективность сооружения когенерационной установки в котельной г. Александрова

[1]Николаев Ю. Е., доктор технических наук,
профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика»;
[2]Дубинин А. Б., кандидат технических наук, доцент, генеральный директор
[1]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
[2] ООО «Энергомаш-Проект» г. Москва

Важнейшей задачей современного этапа развития энергетики страны является повышение тепловой, экономической эффективности, надежности и экологичности энергетического комплекса. Особое место в решении этих задач отводится дальнейшему развитию источников и систем энергоснабжения.

Анализ существующих систем энергоснабжения, особенно малых городов, показывает на низкий уровень показателей энергоэффективности: низкая загрузка оборудования, сверхнормативные потери электроэнергии и теплоты при транспорте энергоносителей, высокий износ оборудования и сетей (свыше 60%), КПД котлов котельных при сжигании природного газа ниже 90%. В результате себестоимость производства и транспорта энергоносителей оказываются завышенными. Внедрение передовых технологий во всех звеньях энергетического хозяйства происходит медленными темпами и не отвечает современным требованиям технического перевооружения отрасли [2, с. 3].

Одним из эффективных направлений повышения технического и экономического уровня систем энергоснабжения является модернизация существующих котельных с

переводом их в малые ТЭЦ. На приоритетное развитие источников с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии указано в ФЗ №190 «О Теплоснабжении». Рассмотрим эффективность сооружения когенерационной установки (КГУ) на примере действующей котельной №1 в г. Александрове Владимирской области, обеспечивающей тепловой энергией район города с тепловой нагрузкой в горячей воде 56,2 МВт. При этом возможны следующие варианты КГУ: 1 - на площадке котельной для обеспечения электропотребления собственных нужд источника с использованием отработавшей теплоты для теплоснабжения; 2 – на площадке котельной для электроснабжения источника теплоты и жилого района; 3 – строительство новой малой ТЭЦ с КГУ на отдельной площадке с передачей тепловой нагрузки от котельной и обеспечивающей энергопотребление городского района. В рассматриваемых вариантах приоритетной является электрическая нагрузка, а тепловая обеспечивается отводимой теплотой от двигателей и работой котельного оборудования. Для варианта 1 в котельных с водогрейными котлами отношение электрической мощности электроприемников к тепловой составляет 10-20 кВт(э)/МВт(т). Электрическая мощность КГУ в этом случае может находиться в пределах от 100 кВт до 3 МВт. Первая цифра для котельной тепловой мощностью 10 МВт, вторая – для 100 МВт. В рассматриваемой котельной максимальная электрическая нагрузка зимнего периода была в 13 часов 11.01.2016г. в размере 595 кВт, максимальная нагрузка летнего периода в 17 часов 14.08.2016г. на уровне 278 кВт. Такой уровень нагрузки могут обеспечить ГПД с приводом электрогенератора. В вариантах 2 и 3 электрическая мощность КГУ определяется нагрузкой потребителя. При отношении максимальной электрической нагрузки к расчетной тепловой для разных потребителей в пределах 0,12-0,3 МВт(э)/МВт(т) [1, с.9], величина электрической нагрузки потребителя в диапазоне расчетной тепловой нагрузки 10 – 100 МВт будет изменяться в пределах 1,2 – 30,0 МВт. Для обеспечения этой нагрузки могут использоваться когенерационные установки на базе ГПД и ГТД. Несомненным преимуществом ГПД является более высокий электрический КПД, слабая его зависимость от температуры наружного воздуха и величины нагрузки и др., описанные в [3, с.156]. Достоинством ГТД является высокая степень утилизации теплоты отработавших газов. При использовании ГТД, работающих по простой схеме, в летний период дополнительно возникают проблемы использования отводимой в котле-утилизаторе теплоты. Это объясняется меньшей величиной отношения электрической мощности к тепловой у ГТД по сравнению с ГПД, что приводит к необходимости выброса части уходящих газов в дымовую трубу без утилизации теплоты. Для повышения системной эффективности необходимо использовать ГТД с регенеративным подогревом воздуха, который в зимний период времени эксплуатируется без регенератора, а летний – с ним. Необходимо подчеркнуть, что когенерационные ГТД,

реализующие регенеративные термодинамические циклы с многоступенчатым сжатием воздуха и его промежуточным охлаждением позволяют иметь КПД не меньшие, чем ГПД, но с более высокой степенью утилизации отводимой теплоты. Применение более мощных энергоагрегатов в вариантах 2 и 3 потребует присоединения дополнительной электрической нагрузки потребителей, расположенных в непосредственной близости от котельной. Вопрос о таком присоединении является чрезвычайно сложным и зависит от собственника электрических сетей, их физического состояния, технической возможности подключения и в настоящее время учитывается единовременной платой за присоединение. В статье рассмотрена эффективность сооружения КГУ в котельной №1 по вариантам 1 и 2, требующих меньших инвестиций благодаря использованию существующей инфраструктуры подачи газа, воды и отпуска теплоты. В качестве критерия эффективности принята величина экономии дисконтированных затрат за срок службы КГУ, руб.

$$\Delta З = \sum_{t=0}^{T} (C_э \cdot Э + S_Q \Delta Q_т - C_m B_{кгу} - p_{кгу} K_{кгу})(1+E)^{-t} - \sum_{t=0}^{T} K_{кгу,t}(1+E)^{-t}, \quad (1)$$

где $C_э$, C_m – тарифы на электрическую энергию и топливо, руб./ кВт ч, руб./кг у.т., $Э$ – годовой отпуск электроэнергии КГУ, кВт ч/год, S_Q - себестоимость вырабатываемой тепловой энергии в котельной, руб./кВт ч, ΔQ_T – выработка тепловой энергии в КГУ, кВт ч/год, $B_{кгу}$– годовой расход условного топлива в КГУ, кг у.т./год, $p_{кгу}$ – коэффициент, учитывающий отчисления от капитальных вложений на амортизацию, ремонт и обслуживание КГУ, 1/год, $K_{кгу,t}$ –капиталовложения в КГУ в год t, руб., E – норма дисконта, T – срок службы КГУ, год.

В варианте 1 максимальная электрическая нагрузка котельной принята равной 600 кВт. В варианте 2 дополнительно присоединяемая электрическая нагрузка района города принята 1750 кВт, суммарная нагрузка КГУ с учетом котельной составила 2332 кВт. Тогда к рассмотрению приняты следующие типоразмеры КГУ: для варианта 1 два ГПД электрической мощностью 400 кВт, для варианта 2 могут быть приняты два ГПД электрической мощностью 1200 кВт или одна ГТД 2500 кВт. Особенностью принятой к рассмотрению ГТУ-2,5 является более высокая степень утилизации продуктов сгорания за счет применения регенеративного подогрева воздуха и котла-утилизатора. Электрические КПД для ГПД приняты 0,42, для ГТД – 0,38. При присоединении электрической нагрузки района учтена дополнительная оплата за присоединение к электроэнергетической системе в размере 20000-30000 руб./кВт. Остальные исходные данные: C_m=4,5 руб./кг у.т., $C_э$=4,04 руб./кВт ч, S_Q =1,28 руб./кВт ч (1483 руб./Гкал), $p_{кгу}$= 0,11 1/год, E=0,1, T=20 лет. Количественные показатели сравниваемых энергоустановок КГУ приведены в таблице.

По результатам сравнительного анализа таблицы 1 следует заключить, что по мере роста электрической нагрузки эффективность КГУ увеличивается. Наибольший эффект обеспечивает установка ГТД с регенеративным подогревом воздуха, высокой степенью утилизации отводимой тепловой энергии и электрическим КПД на уровне 38%. Срок окупаемости КГУ по варианту 1 составил 5,7 года, по 2 варианту (при использовании ГПД) 7-7,7 года, по 2 варианту (при использовании ГТД) 6,6-7,3 года. Необходимо заметить, что в варианте 2 (с подключением дополнительных потребителей электроэнергии) резервирование электроснабжения осуществляется электроэнергетической системой, эти расходы учтены в виде оплаты за присоединение к энергосистеме.

Таблица 1

Показатели сравниваемых вариантов КГУ

Наименование показателя и единицы измерения	Установка ГПД для обеспечения электропотребления котельной	Установка ГПД для обеспечения электропотребления котельной и района города	Установка ГТД для обеспечения электропотребления котельной и района города
1.Номинальная электрическая мощность КГУ, кВт	2х400	2х1200	1х2500
2.Номинальная тепловая мощность КГУ, кВт	854	2400	2688
3.Годовая выработка электроэнергии, млн. кВт ч/год	3,80	12,8	12,8
4.Годовая выработка тепловой энергии КГУ, млн. кВт ч/год	4,14	12,8	13, 7
5.Годовой расход топлива КГУ, млн. кг у.т./год	1,17	3,7	4,4
6.Годовая экономия топлива в котельной, млн. кг у.т./год	0,6	1,8	2,0
6.Капиталовложения, млн. руб.	57,6	216,0	202,5
7.Плата за присоединение, млн. руб.	-	50-75	50-75
8.Экономия дисконтированных затраты млн. руб.	55,0	53,1-78,0	68,4-93,3

Литература:

1. Доброхотов В.И., Зейгарник Ю.А. Теплофикация: проблемы и возможности реализации в современных условиях. – Теплоэнергетика, 2007, №1. С.9-10.

2. Ю.Е. Николаев Оценка потенциала энергосбережения в коммунальных системах теплоснабжения/ Ю.Е. Николаев, И.А. Вдовенко, С.В. Кожевников, А.Б. Дубинин //Промышленная энергетика. -2014. - №9. – С.2-5.

3. Разуваев А.В., Костин Д.А. Оптимизация эффективности газопоршневых

энергетических установок в энергетическом комплексе// Проблемы теплоэнергетики: сб. науч. тр. Вып. 3. Материалы XII Международной научно-технической конференции. Саратов, 29-31 октября 2014г.– Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. – С. 155-161.

УДК 621.43

Газогенератор для решения экологических проблем

Разуваев А.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Атомная энергетика»;
Попов С.С., Белобородов А.С., студенты направления «Теплоэнергетика и теплотехника»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Газогенератор - это устройство для преобразования твёрдого или жидкого топлива в газообразную форму под действием пиролиза. Пиро́лиз — распад органических природных соединений при недостатке кислорода (древесины, нефтепродуктов и прочего)

В 1923 году ученым Наумовым [1] была создана газогенераторная модель для 3-х тонного грузовика, которая работала на угле. Данное изобретение было испытано совместно с 4-цилиндровым бензиновым двигателем Berliet L 14 мощностью 35 л.с..

В 1928 году FIAT-15Ter с газогенератором Наумова совершил пробег по маршруту Ленинград – Москва – Ленинград. В 30-е года проводились многочисленные исследования, для выявления оптимальной конструкции газогенератора. Основной транспорт у народа – был грузовик. В связи с этим, установки создавались преимущественно для грузового транспорта. В 1935 году был создан ГАЗ-А с установкой Автодор- III и ГАЗ-М1 с газогенератором НАТИ-Г12, с помощью которого в 1938 был установлен рекорд скорости автомобиля на газу. Первым серийным газогенераторным автомобилем являлся ЗИС-13, но подлинно массовыми «газгенами» стали ГАЗ-42, ЗИС-21 и УралЗИС-352 [1].

Газогенераторы люди используют с давних времен. Из них получают генераторный газ, который можно использовать для получения тепла и электроэнергии в быту. Конструкция газогенераторов с каждым годом совершенствуется. Научные работники стараются делать изделия с повышенной эффективностью и с меньшими размерами, а также с приемлемой ценой.

Существует три вида газогенераторных установок: прямоточные, вихревые и факельные газогенераторы. Каждый из этих изделий имеют свои особенности и соответственно свои показатели.

Прямоточные газогенераторные установки имеют большие размеры и массу. Из-за этого возникают трудности по транспортировке генераторов. Благодаря большой массе – самые мощные установки собирают на месте эксплуатации, а более мелкие (до 350 кВт) – делают в производственных условиях. Для работы используют топливную структуру, размером до 1 метра в длину. Эти газогенераторы не прихотливы к влажности сырья. Такие модели подходят исключительно для стационарного применения.

Вихревые газогенераторные установки даже высокой мощности имеют небольшие габаритные размеры и массу. По сравнению с прямоточными газогенераторными установками – они намного дешевле и имеют большой спектр применения. В качестве топлива используют древесные опилки, сухую стружку, кору разных деревьев, уголь и различные отходы растений. Размер частиц топлива не достигает и 50 мм в диаметре. Обязательно нужно учитывать зольность топлива, чтобы не образовывалось большое количество шлака. Это все скажется на производительности установки. Чем лучше высушено топливо (имеющее меньшую влажность) – тем выше работоспособность газогенераторной модели.

Для работы факельных газогенераторных установок используют измельченную сухую топливную массу. Эти модели имеют высокую степень температур горения и топочного пространства. Для таких механизмов, транспортер должен состоять из жаростойких, огнеупорных материалов и охлаждаться воздухом. Все эти признаки продлевают срок службы.

Данные газогенераторы рекомендуется эксплуатировать на деревообрабатывающих заводах, где хранятся огромные запасы не пригодных для дальнейшей переработки опилок. К тому же они имеют достаточно маленькие габаритные размеры и вес, поэтому стоят на порядок дешевле, чем другие подобные установки.

Твердые бытовые отходы (ТБО) — достаточно специфический вид отходов, характеризующийся содержанием самых разнообразных компонентов сложного химического состава.

Одной из глобальных проблем является складирование или не полная переработка бытового мусора, так как все это плохо действует на окружающую среду. Твердые бытовые отходы являются постоянно возобновляемым источником энергии. Различные отходы, так же относятся к категории бесплатных источников энергии.

В качестве твердого топлива [2] в газогенераторных установках могут быть использованы древесные чурки, древесный уголь, торф, бурый уголь, каменный уголь, опилки.

На территории бывшего СССР наиболее распространенным и доступным твердым топливом была древесина, поэтому большую часть газогенераторного транспорта составляли автомобили с установками, работающими на древесных чурках.

Главные критериями качества топлива являлись порода древесины, абсолютная влажность и размеры чурок. Приоритет был отдан древесине твердых пород: березе, буку, грабу, ясеню, клену, вязу, лиственнице. Древесину мягких пород допускалось использовать лишь совместно с твердыми в соотношении 50/50. Сосновые чурки использовались без добавления древесины мягких пород.

Для газификации в автомобильных газогенераторах древесину распиливали на чурки длиной от 4 до 7 см, и шириной и высотой от 3 до 6 см. Абсолютная влажность готового твердого топлива должна быть не более 22 %.

Менее распространены были древесно-угольные газогенераторные установки. Для их эксплуатации рекомендовалось использовать угли древесины твердых пород. Угли древесины мягких пород, склонные к крошению, допускалось применять с добавлением не менее 50% углей древесины твердых пород. Размер кусков древесного угля для газогенераторов поперечного процесса - от 6 до 20 мм, для других типов генераторов – от 20 до 40 мм.

В зависимости от содержания смол и золы твердые сорта топлив для газогенераторов разделяли на смолистые (битуминозные) малозольные (золы до 4%) и многозольные (золы более 4%), а также на безсмольные, или тощие (небитуминозные) малозольные (золы до 4%) и многозольные (золы более 4%) [2].

С целью создания действующей модели газогенератора была поставлена задача – изготовить, испытать и получить предварительные данные о работоспособности такой модели.

Поставленная задача была решена. Действующая модель газогенератора состоит из металлической ёмкости, загружаемого топлива - опилки и выпускного патрубка.

Было проведено ряд экспериментов на данной установке. В итоге подобрав необходимый материал, для корпуса газогенератора, эксперимент увенчался успехом.

В металлической емкости (канистры) при помощи нагревания топлива (отходы деревообрабатывающей промышленности, в нашем случае опилки) под действием химической реакции (пиролиза) образуются горючие газы (CO, H_2, CH_4, CnHm) и балласты (CO_2, O_2, N_2, H_2O).

Мы убедились, что твердое топливо преобразовалось в газообразное. После исследования получили бесцветный, прозрачный , горючий газ, без запаха.

В ходе эксперимента были получены следующие данные - из 100 грамм твердого топлива (опилок) - получили более 300 мл горючего газа (при данном давлении). Следующим этапом исследований будет являться возможность использования газогенератора в составе с термоакустическим двигателем для получения электроэнергии.

Типовая схема газогенераторной установки представлена на рис 1.

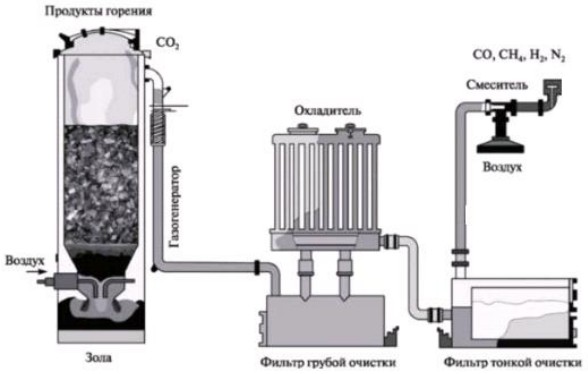


Рис.1. Схема газогенераторной установки

Газогенераторы возможно использовать в различных отраслях народного хозяйства: газогенераторные котлы для отопления, получения газового топлива для транспортных средств, энергетических комплексов различного назначения и тем самым при этом представляется возможность решать экологические вопросы.

Литература:

1. Газогенератор [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://wiki.zr.ru/Газогенератор

2. Газогенератор [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://propan.pro/Справочная-информация/gazogenerator.html

УДК 621.43

Применение поверхностно-активных веществ для повышения эффективности паропоршневой машины

Разуваев А. В., доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Атомная энергетика»;
Костин Д. А., ассистент кафедры «Атомная энергетика»;
Шумкова Ю. А., Агеева А. В. студенты направления
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В настоящее время по разным оценкам, от 60 до 70 % территории России не охвачены централизованным электроснабжением. На этой огромной территории проживает более 20 млн. человек, жизнедеятельность которых обеспечивается главным образом средствами малой энергетики, таких как электрогенераторы, автономные котельные и малые ТЭЦ [1].

При этом на фоне постепенного истощения топливных ресурсов перспективным является применение альтернативных источников энергии, в том числе горючих отходов, таких как отходы деревообработки, резинотехнических изделий, полимеров, твердые бытовые отходы и т.п. Использование горючих отходов сегодня приводит к дополнительному развитию современной экономики, их неиспользование — к интенсивному загрязнению окружающей среды [1].

Одним из средств малой энергетики, способным решить эти проблемы является применение энергоустановок на базе паровых поршневых машин, т.к. основной особенностью этих машин является способность работать на любом виде топлива по причине разделения котла и самой паровой машины.

Несмотря на то, что у большинства термин «паровая машина» ассоциируется исключительно с технологиями XIX века, современные паропоршневые машины также далеки от своих «предков», как и сам XIX век от нашего века XXI. Однако они унаследовали от своих предшественников высокую надежность в сочетании с неприхотливостью в эксплуатации.

Современная паровая машина представляет собой тепловой двигатель, который используется для получения механической энергии из тепловой в энерговырабатывающих установках на объектах малой энергетики для привода электрогенераторов, а иногда и вспомогательного оборудования (к примеру, водяных насосов) малых и средних электростанций [2].

Применение паропоршневых машин наиболее перспективно в современных малых энергетических установках, работающих по принципу когенерации и тригенерации – одновременного производства электрической энергии, тепловой энергии и холода, поскольку такие установки гораздо эффективнее, чем раздельная выработка электричества и тепла, а также холода с помощью чисто электрических кондиционеров.

Главным энергетическим преимуществом современных паропоршневых машин является меньший удельный расход пара при равных параметрах (давлениях и температурах)

пара на входе и выходе, по сравнению с маломощными и особенно одноступенчатыми паровыми турбинами [2].

При этом выход из строя паропоршневой машины приведет отказу всей энергоустановки и перебоям в энергоснабжении потребителей и, как следствие, к снижению энергетической безопасности региона. Поэтому важным вопросом является обеспечение высокой эксплуатационной надежности паропоршневых машин.

Эксплуатационная надёжность паровых машин определяется в основном качественным состоянием рабочих поверхностей деталей, формируемых на финишных операциях технологических процессов.

Однако стоит учитывать, что повышение надёжности является актуальным мероприятием, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтопригодность или определённые сочетания этих свойств [3]. Несмотря на то, что паровые машины не требуют такого тщательного ухода как газовые, одним из основных факторов, ограничивающих долговечность и надежность работы машин и механизмов, является износ контактирующих поверхностей узлов трения.

Следовательно, для повышения надёжности паропоршневых машин необходимо увеличивать надёжность их отдельных узлов и деталей, применяя методы упрочняющей обработки с покрытием поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Одним из способов применения ПАВ является эпиламирование – обработка твердых поверхностей фторсодержащими поверхностно-активными веществами. Примером таких веществ может служить эпилам «Полизам».

Различные технологии эпиламирования отличаются друг от друга, для обработки эпиламами применяют разные устройства. Но в целом можно выделить следующие основные этапы эпиламирования:

- подготовка изделия, в ходе которой производится очистка и обезжиривание. Для обезжиривания применяют бензин, ацетон, спирт, органические растворители;

- сушка изделия;

- покрытие эпиламом. Как правило. Это делается в специальной установке погружением изделия в раствор эпилама или нанесением его на поверхность изделия (например, аэрозольным методом). Кипячение деталей в эпиламе - наиболее эффективный способ обработки. Металлические детали подвергаются кипячению 30-60 минут, резинотехнические изделия – 20-40 минут. При этом, поскольку температура кипения эпилама 47-50^{0}С, разрушающего воздействия не происходит;

- сушка уже покрытого изделия и термофиксация эпилама. Сушка производится либо в сушильном шкафу 1-1,5 часа при температуре 100 – 150^{0}С, либо 6 часов при комнатной температуре;

- проверка качества покрытия (то есть контроль равномерности нанесения ПАВ). Проверить наличие пленки можно при помощи капли машинного масла. Нанесенная на обработанную поверхность капля масла, сохраняет сферическую форму даже при наклоне поверхности в 70 градусов.

Эпиламирование позволяет существенно повысить износостойкость сопряженных деталей и, как следствие, улучшить динамику работы поршневых машин. При нанесении эпиламов на поверхность твердого тела образуется тонкий слой специальным образом ориентированных молекул, позволяющий модифицировать поверхность материалов с целью придания ей антифрикционных, антиадгезионных, антикоррозионных и некоторых других специфических свойств:

- резко уменьшается поверхностная энергия материала, что ведет к существенному снижению коэффициента трения и как следствие этого – к повышению износостойкости сопряженных деталей. Коэффициент трения снижается примерно в 10 раз, а статический момент трения – в 10 000 раз по сравнению с необработанными поверхностями [5];

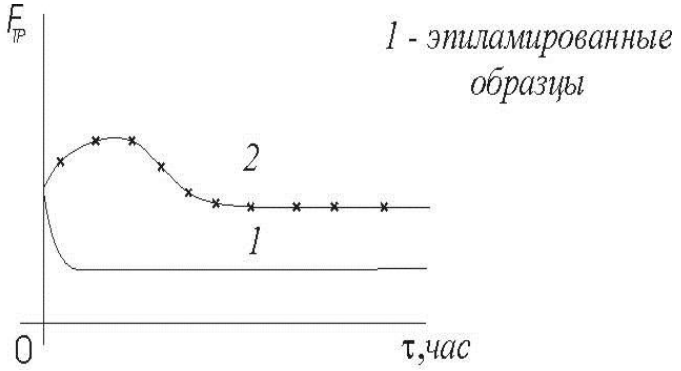


Рис. 1. Зависимость силы трения в процессе эксплуатации

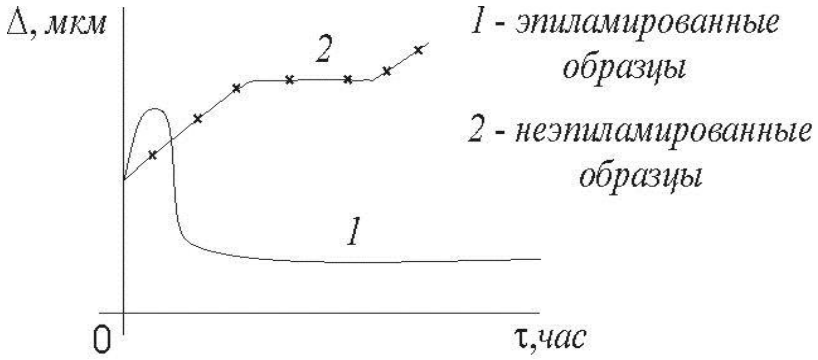


Рис. 2. Зависимость износа в процессе эксплуатации

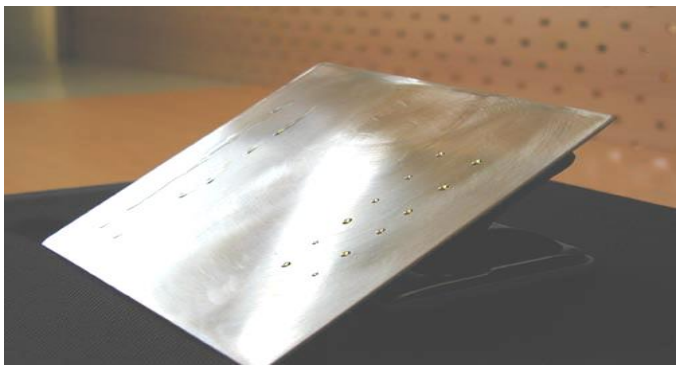


Рис. 3. На эпиламированной поверхности капли масла удерживаются, на неэпиламированной – стекают.

- предотвращается растекание смазочных масел по поверхности, исключается закритическое смещение смазочных веществ («сухое» трение) (рис. 3) [5];

- вследствие своей высокой проникающей способности ПАВ заполняет все поры и микротрещины, дегазирует их и исключает, таким образом, охрупчивание материала (водородная хрупкость); микропоры и микротрещины лишаются возможности концентрировать напряжения и перестают быть потенциальными центрами разрушения [5];

- поверхность защищается от воздействия влаги и агрессивных веществ [5].

Еще одной особенностью эпиламов является их нетоксичность (относятся к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76), взрыво- и пожаробезопасность, а следовательно, особых мер безопасности при работе с эпиламами не требуется [5].

Более высокую эффективность упрочнения при деформировании с применением ПАВ можно объяснить эффектом адсорбционного пластифицирования (эффект Ребиндера) [4]. То есть ПАВ образует не просто защитную пленку, а изменяет саму структуру поверхности обрабатываемого материала. Это обеспечивает необычайную стойкость покрытия эпиламом в отличие от других способов обработки. Сущность этого явления состоит в облегчении деформирования и разрушения твердых тел и самопроизвольном протекании в них структурных изменений в результате понижения их свободной поверхностной энергии при контакте со средой, содержащей вещества, способные к адсорбции на межфазной поверхности [4].

Применение соответствующих активных веществ приводит к улучшению микрогеометрии обрабатываемой поверхности. Эффективность влияния ПАВ на микрогеометрию поверхности изменяется в зависимости от скорости процесса. При увеличении скорости обработки существенно повышается шероховатость, а, следовательно, и качество рабочих поверхностей обрабатываемых деталей.

В заключение необходимо отметить, что применение паропоршневых машин является одним из перспективных направлений малой энергетики, позволяющее обеспечить

потребность в электрической и тепловой энергии самых разных объектов – от жилых домов до промышленных предприятий. Также применение методов упрочняющей обработки деталей машин с покрытием ПАВ заметно повышает качество поверхности и износостойкость деталей, что ведет к повышению эксплуатационной надежности машин, а, следовательно, и к повышению энергетической безопасности объекта.

Литература:

1. Автономные паропоршневые электростанции [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.encs-spb.ru/teplovoe-oborudovanie/novye-razrabotki

2. И. С. Трохин. Современные паровые машины и энергосбережение в малой энергетике [Электронный ресурс] – режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5530

3. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 40 с.

4. Ребиндер П. А., Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия, Избр. труды, М., 1978.

5. Эпиламирование [Электронный ресурс] – режим доступа: https://docviewer.yandex.ru/view/48745403/?*=9pfguxQ1VJgzInbTxG2bI2pkS557InVybCI6Imh0dHA6Ly93d3cuY25jem9uZS5ydS9mb3J1bXMvaW5kZXgucGhwP2FjdD1hdHRhY2gmdHlwZT1wb3N0JmlkPTMzNTgiLCJ0aXRsZSI6ImluZGV4LnBocD9hY3Q9YXR0YWNoJnR5cGU9cG9zdCZpZD0zMzU4IiwidWlkIjoiNDg3NDU0MDMiLCJ5dSI6IjUwOTAyMjgyODE0NzU2NzI3OTciLCJub2lmcmFtZSI6dHJ1ZSwidHMiOjE1MDcwMTEzMzIxNjR9&lang=ru

УДК 620.9

Оценка основных размеров паропоршневой машины для котельной

[1]Разуваев А.В. доктор технических наук, профессор кафедры «Атомная энергетика»,

[2]Редько И.Я. доктор технических наук, профессор, заместитель директора

[1]Мансурова Р.Р.,[1]Ливанова Т.В. студенты направления «Теплоэнергетика и теплотехника»

[1] Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково;

[2]Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля, г. Москва

Мы живем в удивительной стране, где даже в самых экстремальных погодных условиях построено огромное количество городов с достаточно большим населением, например Сургут с населением более 300 тысяч человек и среднегодовой температурой -1,7℃ , Нижневартовск с населением более 270 тысяч человек и среднегодовой температурой -1 ℃. Как следствие, большую часть года населению страны требуется отопление. В городах с населением от 100 до 500 тыс. человек большая часть тепловых потребителей обеспечивается от котельных. Это, например, Вологда, Калуга, Белгород, Курск. А в некоторых городах теплоснабжение обеспечивается только котельными. Общее количество котельных в стране превышает 200 тысяч, из них муниципальных более 73 тысяч [1].

Устойчивая и бесперебойная работа котельных напрямую зависит от электроснабжения. Все вспомогательное оборудование котельных (дутьевые вентиляторы, дымососы, питательные, сетевые насосы) имеет электропривод, и без электроэнергии котельная встает, не смотря на наличие топлива. При этом электрическая мощность, потребляемая котельной, в 100 и более раз меньше тепловой мощности, которую она вырабатывает. Если сбой электроснабжения возникнет в холодное время года, произойдет останов котельной и как следствие, остановка теплоснабжения. За это время город просто замерзнет.

По Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [2] для каждой котельной должны быть предусмотрены два независимых источника электроснабжения, например, две трансформаторные подстанции или дизель – генератор. Однако на практике при сбоях в электросети они начинают подачу электроэнергии не менее чем через 3 секунды после сигнала на запуск. А это уже останов котла и создание предпосылок аварии.

Наиболее перспективным решением данной проблемы может стать использование паропоршневых машин для выработки электроэнергии на собственные нужды котельной. Это значительно повысит энергобезопасность котельных и устранит их зависимость от внешних электросетей.

Стационарные паровые машины широко применялись для промышленных целей еще в 19 веке [3], однако, сейчас они не должны быть копией агрегатов, выпускавшихся 60 и более лет назад.

Паропоршневые машины можно использовать в системе теплоснабжения следующим образом:

- для привода в действие электрогенератора, обеспечивающего электроэнергией котельную;

- наиболее мощное вспомогательное оборудование котельной приводится

паропоршневыми двигателями, остальное питают электродвигатели, работающие от сети;

- приводом практически всего вспомогательного оборудования котельной выступает паропоршневой двигатель;

- паропоршневые машины приводят в действие более мощное вспомогательного оборудования котельной, а маломощный электрогенератор, приводимый паропоршневым двигателем, снабжает энергией остальное оборудование.

Выясним, возможно ли с точки зрения массогабаритных параметров сконструировать паропоршневую машину для покрытия нужд котельной в электроэнергии. Для этого рассчитаем основные размеры одноцилиндровой паропоршневой машины для котла БКЗ 420-140, работающем на буром угле Ангренского месторождения.

При выполнении расчетов используем следующие численные значения параметров для расчета паропоршневой машины (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные

Паропроизводительность	$D_{\text{пе}}$	420 т/ч
Давление перегретого пара	$P_{\text{пе}}$	11 МПа
Температура перегретого пара	$t_{\text{пе}}$	570 ^{0}C
Температура питательной воды	$t_{\text{пв}}$	170 ^{0}C
Температура уходящих газов	$t_{\text{ух}}$	165 ^{0}C
Температура холодного воздуха	$t_{\text{хв}}$	50 ^{0}C
Средняя скорость поршня	c_m	2,5 м/с
Частота вращения	n	300 об/мин
Степень наполнения	ε	0,35
Степень предварения выпуска	ν	0,15
Степень сжатия	σ	0,4
Коэффициент вредного пространства	ϑ_0	0,11
КПД машины	$\eta_{\text{м}}$	0,8
Относительный индикаторный КПД	η_{0i}	0,5
Мощность машины	N	27,2 л.с / 20 кВт
Показатель политропы	k	1
Давление впуска	p	11МПа
Напряжение в сети	E	380 В
Сила тока в сети	I	52,6 А
КПД генератора	$\eta_{\text{г}}$	0,96
КПД редуктора	$\eta_{\text{р}}$	0,98

Параметры и исходные данные, основные этапы расчета определены по рекомендациям работы [4].

В результате расчетных исследований были получены следующие основные размеры - параметры паропоршневой машины, а именно: диаметр цилиндра поршня 0,17 м, величина хода поршня 0,25 м, рабочая площадь поршня 210,5 см^2. Это позволит дальше определить

конструктивные параметры самой машины и ее систем. Изготовление агрегата с такими параметрами более чем доступно в современных условиях машиностроительных производств.

Подводя итог вышесказанного, можно предположить, что на данный момент имеется возможность модернизации котельных на базе паропоршневых технологий - это позволит сделать теплоснабжение страны более надежным и энергобезопасным.

Литература:

1. Семенов В.Г. О реконструкции котельных в ТЭЦ/ В.Г. Семенов – Новости теплоснабжения. №1, 2006.

2. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – «Издательство Деан», СПб, 2000.

3. Дуббель Г. Конструированіе и расчетъ паровыхъ машинъ. – издание А.С. Суворина, СПб, 1907.

4. Богомазов В.К. Паровые двигатели: учебник/ В. К. Богомазов, А. Д. Беркута, П. П. Куликовский – Государственное издательство технической литературы УССР, Киев, 1952. С.15-26.

УДК 620.91

Обзор двухроторных ветродвигателей для микроветроэлектростанций

Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;
Гегель Г. Г., студент направления «Электроэнергетика и электротехника»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Всем давно известно, что полезные ископаемые для утоления энергетического голода людей не бесконечны, а следовательно, стоит задуматься о развитии сфер энергетики, позволяющих добычу энергии из неиссякаемых источников, к примеру энергию ветра.

На сегодняшний день используют либо метод «аэродинамического сопротивления», либо метод «подъема», для преобразования энергии ветра в механическую энергию (как для механических, так и для электротехнических целей). Способ аэродинамического сопротивления заключается в простом размещении одной стороны поверхности против ветра, в то время, как другая сторона находится с подветренной стороны. Следовательно,

прикладываемая сила сонаправленна с ветром. Способ подъема несколько изменяет направление ветра и создает силу, перпендикулярную направлению ветра.

В среднем концентрация энергии ветра колеблется в пределах от 10 Вт/м$^{-2}$ (при легком ветерке 2,5 м/сек) и до 41000 Вт/м$^{-2}$, во время урагана со скоростью ветра 40 метров в секунду (м/с) или 144 км/час. Если говорить точно, то энергия ветра пропорциональна кубу скорости ветра. Это означает, что электрическая мощность чрезвычайно чувствительна к скорости ветра (при удвоении скорости ветра мощность увеличивается в восемь раз).

Ветроэлектрогенераторы имеют очень большой потенциал, который не полностью раскрыт на сегодняшний день. Из-за вариации размеров и количества лопастей их можно применять с разными целями для выработки различных мощностей. Огромное количество вариаций их конструкций позволяет использование в абсолютно различных обстоятельствах и при практически любых условиях внешней среды.

Эти устройства могут отличаться не только формой лопастей и их количеством, но и материалами, из которых они изготовлены. Лопастная система может быть изготовлена из металлов или стеклопластика, что делает ещё достаточно жесткой, но может и быть собрана из тканей или других материалов для обтягивания каркаса, что делает её намного дешевле, но менее прочной и надежной.

Конечно, все ветроэлектрогенераторы преобразуют энергию потоков вещества внешней среды сначала в механическую энергию вращения, передающийся на ротор, который в свою очередь обладает закрепленными на нем электрокатушками или постоянными магнитами, все зависит от нюансов конструкции данного приспособления. Но главной их особенностью является нестабильность и непостоянность входной энергии. Решение этой проблемы зачастую решается стабилизацией напряжения на выходе.

В масштабном применении ветрогенераторов сейчас не очень много, по большей части они имеют популярность у людей, которых интересует снабжение электроэнергией свое жилище или оборудование, которое находится вне городской черты, что делает возможность получения электроэнергии крайне затратным. Вот именно здесь и приходят на помощь эти чудесные устройства.

Относительная простота конструкции ветроэлектрогенераторов позволяет обеспечить легкость установки и обслуживания. Также большинство ветроэлектрогенераторов не обладают индивидуальными и незаменимыми деталями, что позволяет облегчить ремонт. А наличие возможности удобного снятия генератора с места работы и наличие съемных деталей и корпуса позволяет многократно ускорить ремонтные работы.

Сейчас существует огромное разнообразие ветроэлектрогенераторов, которые отличаются не только внешним видом и местами работы, но и принципом работы и

преобразования энергии. Но мы заострим внимание на двухроторных ветроелектрогенераторах.

Двухроторные вертикальные ветроэлектрогенераторы сильно отличаются от всеми известных стандартных ветряков, которые успешно вырабатывают электроэнергию на открытых пространствах уже долгое время. Начнем с того, что ось вращения лопастей расположена не горизонтально и сонаправлено с потоком ветра, что позволяет лопастям словно винту с резьбой вонзаться в поток ветра. У двухроторных ветроэлектрогенераторах ось вращения располагается вертикально и предполагает обтекание потоками воздуха с разных сторон. Это фундаментальное отличие позволяет электрогенератору не менять свое изначальное положение в зависимости от направления ветра, что делает стандартные ветряки более сложными по конструкции, добавляя лишние детали, увеличивая вес конструкции и стоимость обслуживания и ремонта ветряка. Таким образом, лопасти образуют вертикальные пластины или чаши, которые зачерпывают и упираются о поток воздуха, или, соответственно, пропускают его с меньшим сопротивлением. И способность не изменять своего положения в пространстве самого генератора позволяет избежать лишних подвижных частей, что ставит его выше обычного ветряка в плане простоты и универсальности конструкции.

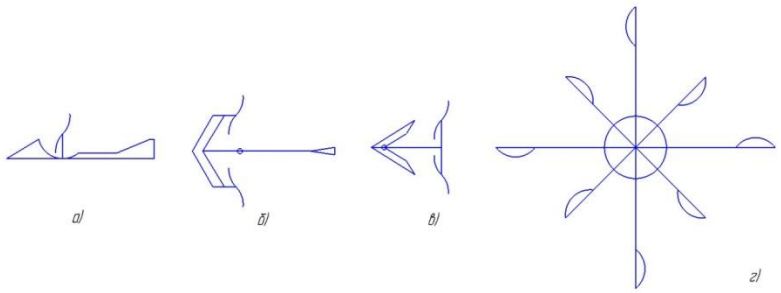


Рис. 1. Эволюция двухроторных ветрогенераторов

Уже сейчас существует не мало моделей вертикальных ВЭУ, которые показывают очень неплохие результаты. Мы предлагаем следующую ступень в развитии генераторов. Наша модель является вертикальным двухроторным ветроэлектрогенератором. Главные особенности этой модели заключаются в создании внешнего комплекта лопастей. Каждый комплект закреплен к одному валу или детали с осью вращения. Причем очень важно, чтобы лопасти на разных комплектах имели разное направление угла наклона, что позволяет увеличить угловую скорость относительного вращения катушек и постоянных магнитов. Это позволяет при том же потоке ветра достичь выходной мощности практически превосходящий в два раза стандартный вертикальный ветрогенератор. При правильном расчете данная конструкция имеет эффект самоторможения на высоких скоростях ветра.

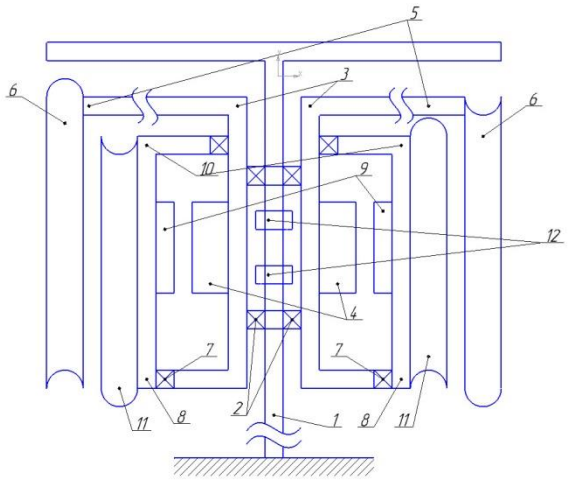


Рис. 2. Конструкция двухроторного ветрогенератора со встречным вращением роторов

Также вертикальные ветрогенераторы очень компактны и могут быть использованы практически везде, а самое главное – это легкость транспортировки и установки.

Таким образом, двухроторные вертикальные ветроэлектрогенераторы являются очень перспективной веткой дальнейшего развития ветрогенераторов. Их возможности, простота конструкции, эффективность позволяет их использование без затраты лишних средств и усилий на ремонт и обслуживание.

При выборе генератора всегда нужно ставить акцент не на то, насколько он дорогой и из чего он сделан. Первым делом нужно рассчитать, какую именно мощность мы хотим получить, сколько энергии нам необходимо от данного устройства, каковы наши расходы.

Главное не забывать, что далеко не каждая модель универсальна, и у каждой есть свои диапазоны рабочих мощностей. Да и выдать пиковую мощность он сможет только при том потоке ветра, на который он рассчитан.

Если судить по расчетам, то вырабатываемая мощность прямиком зависима от диаметра лопастного колеса. Таким образом, при прочих одинаковых характеристиках, более производителен ветряк с большим размером лопастей.

Не менее важно при выборе ветроустановки знать, какой аккумулятор вам необходим. Если применение ветроэлектрогенератора требуется на местности, которая не богата постоянными ветрами, то в этом случае система будет работать именно от аккумулятора. Поэтому желательно, чтобы помимо него имелся резервный источник энергии.

Таким образом, сфера ветроэлектроэнергетики полна нераскрытого потенциала, и создание новых генераторов может заинтересовать городские власти, что может способствовать к их массовому применению.

Литература:

1. Ветрогенераторы: экзотика или необходимость? [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.nashgazon.com/instrument/generatory/vetrogeneratory-ekzotika-ili-neobhodimost.html

2. Энергия ветра [Электронный ресурс] – режим доступа:http://re.energybel.by/renewable-energy-technologies/wind-energy-overview/

УДК 621.928.9

Ресурсосбережение в теплоэнергетике

Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»
Кучер А. В., студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В теплоэнергетике с начала 20 века применяют кожухотрубные теплообменники, поскольку возникла потребность тепловых станций в использовании теплообменников с большой поверхностью теплообмена, таких, как подогреватели воды и конденсаторы, работающие при высоких давлениях. На данный момент, конструкция теплообменников, в результате внедрения специальных разработок, с учетом опыта эксплуатации, стала более совершенной. Кожухотрубные теплообменники зарекомендовали себя в теплоэнергетике. Это обусловлено рядом достоинств:

1. Работают в широком диапазоне давлений и температур;

2. Вырабатывают большое количество теплоты, поскольку имеют большую площадь контакта с энергоносителями;

3. Высокая устойчивость к гидроударам;

4. Обладают большим набором вариантов исполнения для различных условий эксплуатации;

При эксплуатации кожухотрубного теплообменника с течением времени трубные пучки теплообменника выходят из строя. Их замена - дорогостоящий процесс, сопровождающийся удалением из кожуха трубного пучка, закупкой - нового, его установкой по средствам сварки, пайки. При более длительном сроке эксплуатации кожух теплообменник перестает соответствовать техническим требованиям при работе с большими давлениями. То есть, в дальнейшем происходит утилизация теплообменника и закупка нового.

Поэтому широкое применение кожухотрубных теплообменников в сфере теплоэнергетики не должно исключать поиск других альтернативных вариантов решений, а именно:

1. Вместо монтажа труб (замене, приварке их к корпусу теплообменника) заняться его реконструкцией:

- Удалить содержимое кожухотрубного теплообменника (пучки труб, трубную решетку).

- Изготовление круглых дисков с отверстиями под перелив жидкости из одного пространства в другое.

- В цилиндрический кожух поместить круглые диски соответствующего диаметра , разделив их резиновыми прокладками.

- После сборки диски стягиваются болтами до требуемого размера, при этом уплотнительные резиновые прокладки образуют системы изолированных друг от друга герметичных каналов для греющего и нагреваемого теплоносителя.

Таким образом, получен дисковой теплообменник упрощенного типа (рис. 1), который не нуждается в сложной очистке, в отличие от кожухотрубного теплообменника, где приходилось заливать специальные растворы в трубки для их очистки. Достаточно снять пластины и провести механическую очистку.

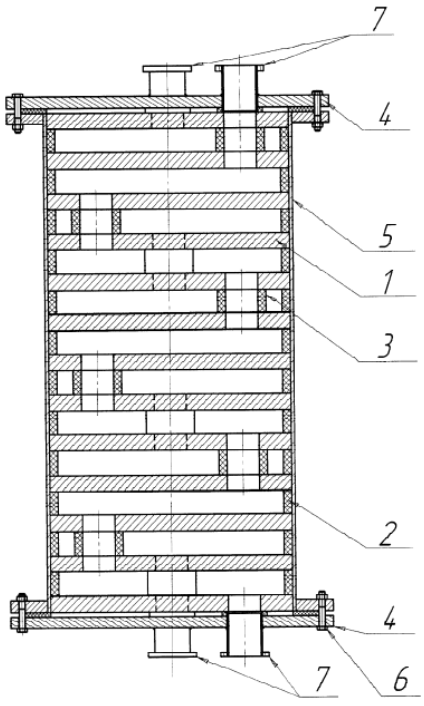


Рис. 1. Дисковой теплообменник
1 – диск, 2 – разделительная резиновая прокладка, 3 – резиновая прокладка, обеспечивающая циркуляцию потока жидкости, 4 – неподвижные плиты теплообменника, 5 – цилиндрический кожух теплообменника, 6 – затяжные болты, 7 – соединительные патрубки.

В случае поломки данного теплообменника, не требуется процесс пайки, сварки, замены пучка труб, заглушки поврежденных трубок. Достаточно заменить поврежденный диск или вышедшую из строя резиновую прокладку. Таким образом, мы экономим средства и ресурсы на техническое обслуживание данного теплообменника.

2. Вместо утилизации кожуха теплообменника использовать его в индивидуально тепловом пункте, работающим на более низком давлении, как части дискового теплообменника (рис. 1).

В данном случае сохраняются ресурсы на изготовления кожуха теплообменника.

Рассмотрим стандартный кожухотрубный теплообменник (рис. 2):

- Диаметр кожуха 1200мм;
- Толщина стенки трубки 2 мм;
- Длина трубки 9000 мм;
- Диаметр трубки – 20мм;
- Количество труб при размещении их по вершинам шестигранника -1705 штук;

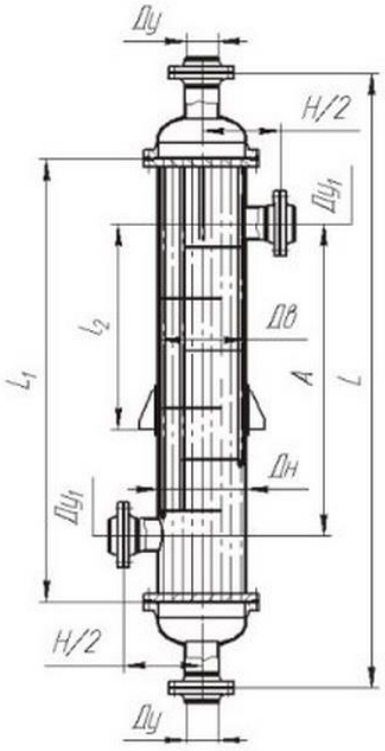


Рис. 2. Стандартный кожухотрубный теплообменник

1. Вы разим площадь поверхности теплообмена кожухотрубчатого теплообменника:

$$F = \ Pidln, \tag{1}$$

где d - диаметр труб, мм; l - длина труб, мм; n - количество труб, штук.

2. Выразим площадь поверхности теплообмена для дискового теплообменника:

$$F = \frac{PiD^2}{4} * N, \tag{2}$$

где D - диаметр кожуха, мм; N количество дисков в кожухе, штук.

3. Выразим количество дисков через длину теплообменника, толщину дисков, расстояние между ними:

$$N = \frac{L}{\sigma + \Delta + 1}, \quad (3)$$

где L - длина теплообменника, мм; σ - толщина дисков, мм; Δ - расстояние между пластинами, мм.

4. Коэффициент теплопередачи кожухотрубного теплообменника примем равным 1800 Вт/(м^{2}К); коэффициент теплопередачи дискового теплообменника - 3600 Вт/(м^{2}К);

5. Поскольку данный аппарат используется в тех же условиях, то площади поверхностей теплообмена равны:

$$\frac{PiD^2}{4} * \frac{L}{\sigma + \Delta + 1} = Pidln; \quad (4)$$

6. Выразим толщину диска и расстояние между ними:

$$\sigma + \Delta = \frac{D^2}{4dn} - 1; \quad (5)$$

7. Построим график зависимости расстояния между дисками от их толщины (рис.3), предварительно приняв по условию прочности оптимальную толщину дисков 2мм:

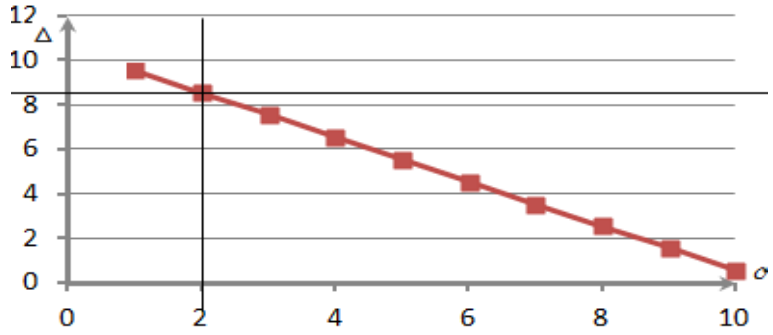


Рис. 3. График зависимости расстояния между дисками от их толщины

8. Расстояние между дисками равно 8,3 мм;

9. Зная толщину и расстояния между дисками определим количество дисков:

Получим 849 дисков равномерно распределенных по всей длине теплообменника, площадь теплообменника составила 959,7 м^2;

10. Поскольку коэффициент теплопередачи дискового теплообменника в два раза выше коэффициента теплопередачи трубчатого теплообменника, допускаем возможность уменьшения площади теплообменника в два раза, при одинаковой тепловой нагрузке и разнице температур.

Вывод: В результате реконструкции кожухотрубного теплообменника, был получен дисковой теплообменник, который может заменить два таких кожухотрубных

теплообменника. По итогам работы имеем высокий процент ресурсосбережения, так как кожухи достаточно металлоемкие конструкции. Также, в результате упрощения конструкции теплообменника, мы сберегли ресурсы необходимые на сварку, пайку трубных пучков, их отчистку специальными физическими и химическими растворами.

Литература:

1. Дытнерский Ю. И. «Основные процессы и аппараты химической технологии», Москва, 1983, С. 23 - 34.

2. Цыганков А.С. «Расчеты судовых теплообменных аппаратов», Ленинград, 1948, С. 90 - 92.

УДК 620.92

Обеспечение энергонезависимости речных навигационных знаков

[1]Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;
[2]Морозов Л. А., [2]Самсонов Д. С., [2]Турков С. В., учащиеся 9 класса
[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково
[2]Муниципального автономного общеобразовательного учреждения "Средняя общеобразовательная школа № 12, г. Балаково

Обеспечение безопасности судоходства на реках невозможно без применения навигационных знаков. Для работы в ночное время осветительных устройств требуется источник электрической энергии. В большинстве случаев электропитание поступает от гальванических элементов, которые устанавливают с запасом по энергоемкости, для исключения аварийных ситуаций. По окончании сезона навигации источники тока утилизируют, хотя они еще могут служить некоторое время. Для экономии источников тока предлагается речной навигационный знак снабдить микрогидроэлектростанцией.

Судоходные реки являются водными артериями, по которым доставляются народнохозяйственные грузы, перевозятся пассажиры. Путешествуют туристы и отдыхают люди.

Чтобы эти процессы были безопасными, необходимо акваторию реки разделять на зоны: фарватер, для транспортных целей; пляж, для отдыха и иные случаи.

Границы обозначаются навигационными знаками: буями и бакенами, которые должны быть заметны как днем, так и ночью.

Навигационные знаки это приспособления, устанавливаемые на поверхности воды, и берегах.

Используются для ориентирования судоводителями.

Навигационные знаки бывают следующих типов:

1) Кардинальная система - такие знаки показывают, с какой стороны нужно обходить этот знак, то есть координируют судоводителя по сторонам света.

2) Латеральная система - эти знаки ориентированы по направлению течения.

3) Створные знаки - эти знаки, обозначают положение судового хода, его ось и его кромок.

4) Береговые знаки - показывают затопленности весной, указывают, что судовой ход проходит вблизи левого или правого берега, так же показывают приметные места на левом и правом берегах

5) Запрещающие знаки - запрещают совершать какое либо действие

6) Предписывающие знаки - показывают пересечение судовых ходов, ограничения по скорости, ограничение надводного габарита, требования соблюдения особой осторожности, пост судоходной инспекции, место оборота судов.

Навигационные знаки, это плавучие и герметичные емкости, установленные на якорь. На штыре, сверку знака устанавливают светосигнальное оборудование, которое включается ночью. Сигнал о необходимости включения светосигнального оборудования поступает от фотодатчика. Через реле времени лампочки периодически включаются от гальванических элементов.

Для навигационных знаков промышленность выпускает несколько вариантов батарей. Например, источники тока «Сигнал» с напряжением от 2,6 до 5,2 вольта, емкостью от 90 до 180 ампер часов и весом от 1,9 до 5,5. кг, батареи «Лиман» с напряжением от 1,3 до 7,8 вольт, емкостью от 80 до 1800 ампер часов и весом от 1,7 до 19 кг, батареи «Лоцман» весят до 25 кг с напряжением 21 вольт, емкостью 300 ампер часов.

Устанавливать такие батареи тяжело.

Для обеспечения энергонезависимости многие изобретатели предлагают использовать солнечную, ветровую энергию. Для использования энергии воды предлагают гидростанции или волновые гидростанции. Причем на один бакен предлагают устанавливать сразу несколько устройств.

Из большого количества изобретений за основу взяли речной навигационный буй со встроенной гидроэнергетической установкой. Буй обтекается потоком воды, который

взаимодействует с гидротурбиной, поплавком и неподвижными деталями конструкции подводной части буя. Взаимодействие потока с гидротурбиной приводит к ее вращению, которое через вал турбины передается ротору генератора. В результате в генераторе вырабатывается электрический ток, необходимый для питания электрооборудования буя.

При взаимодействии потока с поплавком и подводной частью буя возникают гидродинамические силы, которые имеют две основные составляющие: силу Архимеда, направленную вверх, и силу сопротивления, направленную вдоль скорости течения реки. Сила Архимеда уравновешивается весом буя, а сила сопротивления - реакцией якорной цепи. Кроме того, на буй действуют боковые и другие силы, дестабилизирующие положение буя. В предлагаемой конструкции буя роль стабилизатора выполняют вертикальные пластины. Под действием гидродинамических сил, действующих на эти пластины, буй занимает положение, в котором плоскости вертикальных пластин направлены вдоль скорости течения. Вертикальные перемещения буя стабилизируются гидродинамическими силами, действующими на нижнюю поперечную пластину (балансировочный груз), и нижнюю поверхность поплавка. Устойчивость буя во многом определяется положением центра тяжести, который должен находиться ниже уровня воды. Ферменная конструкция подводной части буя позволяет размещать центр тяжести ниже, чем у известных буев [1].

Известны изобретения, которые также относятся к средствам обеспечения речного судоходства и, в частности, к буям для обозначения навигационного пути. Причем предложенный буй содержит надводную часть в виде сигнального знака и уже две гидротурбины, закрепленные с двух сторон электрогенератора микроГЭС и связанные с ним валом, а также поплавковый катамаран [2].

Наше решение отличается тем, что на нижнюю часть вала, выходящую из буя, устанавливается двухлопастное колесо. Колесо выполнено в виде прямоугольной рамы. Рама изогнута в горизонтальной плоскости так, что если она расположена поперек потока, то одна половина является выпуклой навстречу потоку, а вторая – вогнутой. Внутри рам установлены пластины с односторонними поворотными осями и пластины имеют возможность поворачиваться вокруг оси на 90 градусов. Причем, когда одна лопасть колеса идет по потоку, все пластины складываются в одну лопасть. При движении другой лопасти против потока все пластины ориентируются вдоль потока и не оказывают сопротивление перемещению лопасти

Литература:

1. Горелов Д.Н., Зубарев А.Е., Ковалев Г.А., Шаев В.М. Речной навигационный буй со встроенной гидроэнергетической установкой Патент на полезную модель № 21576 Опубл.27.01.2002 Бюл. № 3.

2.Дмитриев И.К. Речной навигационный буй с микрогэс для питания сигнального источника света. Патент на изобретение №2241631, опубл. 10.12.2004, бюлл.№34

УДК 621.43

Термоакустический двигатель в теплоэнергетике

Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»
Белобородов А. С., Попов С. С. студенты направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ", г. Балаково

Термоакустический эффект – это часть акустики, взаимосвязи тепла и звука, то есть при определенных критериях тепловая энергия преобразуется в акустическую. Термоакустический эффект делится на прямой и обратный [1].

В 1877 году Релей описал виды получения звуковых колебаний за счет тепла [2]. В 70-х годах 20-го века Ротт получил, что однонаправленный поток тепла способен создаваться с помощью звукового поля. Это тема актуальна в 21 столетии. Акустика очень молодая наука, мало изучена. За последние годы в нашей стране начались разработки в некоторых городах – Омске, Санкт – Петербурге, Самаре. Звук оказывается одним из фундаментальных блоков будущего.

Сегодня ученые нашли способ передавать информацию с ПК на ПК, используя только звук. Акустические скальпели, звуковые волны для УЗИ, разрушения камней в почках человека, ультразвуковая сварка, охлаждение за счет звуковых колебаний в холодильнике (термоакустические холодильники). Акустическая тепловая помпа была изобретена и запатентована в 80-х годах в Лос-Аламосе. На данный момент над созданием акустических холодильников занимаются множество исследовательских групп, основная масса – в США. Область изучения довольно широка – изучают как фундаментальные процессы теплообмена в звуковом поле, так и конструирование различных более сложных механизмов. Более заманчивой идеей акустических холодильников является замкнутость цикла и не применения легкокипящих жидкостей, так небезопасных для озонового слоя Земли. Импульсная труба –

одна из преимущественно распространенных моделей акустической помпы, которая является самым продуктивным механизмом для охлаждения электронных приборов.

В дальнейшем термоакустический эффект будет использоваться в различных отраслях промышленности.

Рассмотрим обратный термоакустический эффект - применение энергии акустической волны для создания градиента температур в губчатой среде. Впервые он был обнаружен Гиффордом и Ладсвортом и апробирован для изготовления холодильника на основе стоячей волны.

Степень сжатия газа в термодинамическом цикле термоакустического устройства значительно меньше, чем у машин Стирлинга. Это связано с характеристикой акустической волны. Вместе с тем наличие свободных поршней в таких установках увеличивает КПД при меньшей производительности. Из всего этого можно получить вывод, что на данный момент наиболее востребованными являются криогенные минихолодильники, а в будущем и двигатели.

Такие холодильники являются высоко ресурсными, так как их ресурс ограничивается только надежностью компрессора. Поэтому все производители криогенных систем (пульсационные трубки) для космоса используют термоакустические системы с электрическим насосом. Большинство таких систем проработали в космосе более 90 тысяч часов.

Чтобы проверить этот эффект (рис.1), был проведен эксперимент, в лабораторных условиях, преобразования тепловой энергии в акустическую, то есть звуковую.

Рис.1. Схема термоакустического эффекта

По результатам проведенного эксперимента был получен положительный результат - добились появления звуковых колебаний. При закрывании отверстия пробирки, звуковые волны прекращаются. Убедились на опыте, что тепловая энергия преобразуется в акустическую. Пришли к выводу, если отобрать тепло в момент наибольшего разряжения, то это стимулирует колебания, преобразовывающие тепловую энергию в энергию звука (рис.2).

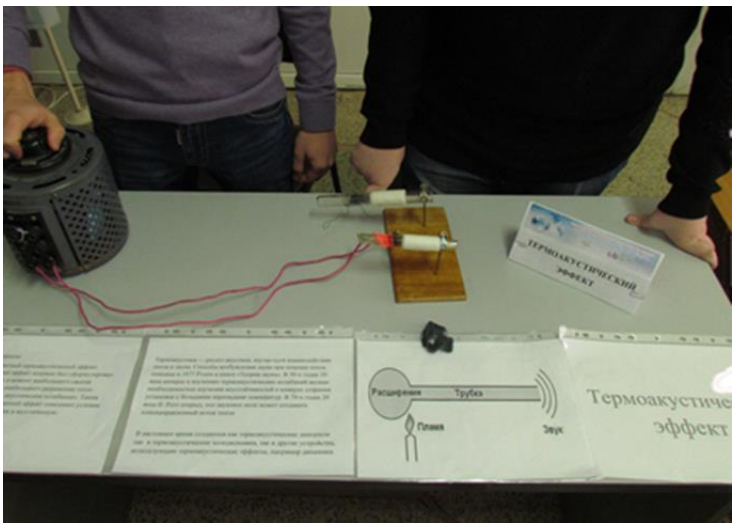


Рис.2. Действующая модель термоакустического эффекта, представленная на IV Фестивале Науки в БИТИ НИЯУ МИФИ

Было поставлено несколько задач:

1. Выбор материала, который бы при нагревании в пробирке давал акустический эффект.

2. На основе теоретических и практических знаний выяснить зависимость звуковой волны от температурных полей.

3. Провести анализ тепловых процессов и оценить их влияние на акустическую эффективность.

4. Использовать энергию акустической волны для получения электроэнергии.

Действующий опытный образец состоит из: колбы, металлической ваты, охладителя (радиатор), источника тепла (ЛАТР).

За счет чего возникает термоакустический эффект?

В колбе, а именно в металлической вате, происходит нагревание и расширение воздуха, который проходит сквозь охладитель (радиатор) – сужается и получаются звуковые колебания, звук. По окончании эксперимента были сделаны выводы: если передать тепло или отобрать в момент его большего разряжения, то это стимулирует колебания, преобразования тепловой энергии в энергию звука. Эксперимент был проведен в лабораторных условиях под руководством доцента Устинова Н.А. и начальника Научно-инновационного центра БИТИ НИЯУ МИФИ Губатенко М.С. Перед положительным результатом было проведено множество экспериментов.

Для выработки электроэнергии можно использовать свободнопоршневой линейный генератор или пьезоэлемент.

Пьезоэлементом называют электромеханический преобразователь, изготавливаемый из пьезоэлектрических материалов, определенной формы и ориентации относительно

кристаллографических осей, с помощью которого механическая энергия преобразуется в электрическую (прямой пьезоэффект), а электрическая в механическую (обратный пьезоэффект). Свободнопоршневой линейный генератор состоит из диэлектрического цилиндра, с намотанной на него катушкой, и поршня в виде неодимового магнита (рис.3).

Наука использует термоакустический эффект, чтобы творить невероятные вещи. Для молодых, ищущих идей научных деятелей – это тема о термоакустический эффект – шаг вперед в науке.

Практическая ценность эксперимента заключается в том, что полученные результаты могли быть использованы в производстве электроэнергии и термофонов, которые широко могут использоваться при производстве электронной аппаратуры, к примеру – термодатчики для различных промышленных предприятий, которые определяют критическую температуру.

Литература:

1. Термоакустика. Академик [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1648663

2. Термоакустика. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki

УДК 621.225

Применение мобильных гидродвигателей для аэрирования водоемов

[1]Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;
[2]Донцова М. А., учащаяся 11 класса; [2]Журавлева В. В., учащаяся 11 класса
[1]Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково
[2]Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение Гимназия №1, г. Балаково

В наше время ухудшается состояние малых рек. Загрязнения, провоцирующие ухудшение качества воды, замор рыбы, вымирание видов животных, отражаются также на жизни человека, ведь пропадают уютные рекреационные уголки природы. Для нас и для каждого жителя Земли, важно состояние природы, и каждый обязан помочь сохранить природу. Вода это начало жизни, ведь без нее природы не существует, и если водоемы не будут «болеть», не будет болеть окружающая среда.

В работе рассматривается возможность насыщения водных объектов кислородом для увеличения количества рыб и улучшения качества самой воды в водоемах, что может быть полезным для экологии, фауны и рыбного промысла, а также для отдыха людей.

Применяются множество разновидностей аэрационных установок, которые отличаются друг от друга принципом действия:

- Поверхностные — располагаемые на поверхности воды. Различают два основных типа — фонтанные и плавающие — сходные тем, что разбрызгивают воду по типу фонтана.
- Инжекторные — укомплектованные лопастями, которые приводит в движение мотор. Этот механизм смешивает воду с воздухом, в результате чего устраняется застой и увеличивается содержание кислорода.
- Донные — предполагают интенсивную подачу кислорода из-за расположения мембраны на дне водоема. Через мельчайшие отверстия проходит воздух и поднимается вверх, благодаря этому скорость аэрирования значительно увеличивается.
- Ветряные — снабжены лопастями, которые наполовину расположены в воде, хорошо перегоняет воду.

Выбор аэратора обусловлен зоной действия и эффективностью растворения кислорода в воде, возможностью круглогодичного использования, а также стоимостью. Предлагается использовать искусственную аэрацию для обогащения кислородом малых рек, которая будет работать круглогодично с отсутствием топливо- и электропотребления, и которая будет практически не заметна во время использования.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемой гидростационарной аэрационной станции состоящая из:

- стационарной платформы на которой расположены диффузор,
- погружной микроГЭС,
- компрессора, датчика управления и слежения.

Данная установка обеспечивает отсутствие энергозависимости, энергозатратности, потребности в топливе и круглогодичную работу.

Для достижения указанного технического результата, при данной решаемой задаче, предложена новая гидростационарная аэрационная станция, в которой энергия для привода компрессора вырабатывается погружной ГЭС с лопатками на бесконечной ленте. Однако данная микроГЭС не является приспособленной к мелкому водоему.

Причиной являются ее большие размеры, вызванные наличием двух барабанов, на которых расположена бесконечная лента. Между барабанами располагается герметичная емкость с электрооборудованием. Большая протяженность превосходит длину перекатов на

малых реках Саратовской области. Например, погружная ГЭС Ковальчук Е.А., на которую получен патент на полезную модель [1]

Выбор гидродвигателя является основным для решения задачи энергонезависимого аэрирования водоемов, обеспечиваемого необслуживаемым аэратором.

Требованиями к гидродвигателю будут:

- расположение подо льдом в зимнее время,
- малая высота для размещения на перекате,
- малая частота вращения для исключения повреждения рыбы,
- большая площадь поперечного сечения для получения необходимой мощности.

Таким требованиям отвечают следующие известные гидродвигатели.

В первую очередь это гирляндная ГЭС, которая размещается на тросе поперек всего течения реки. Причем тросы можно располагать друг над другом по высоте. В итоге гидродвигатель будет походить на изгородь, перегораживающую речной поток. Собирать максимальную мощность, потому что разные тросы с роторами работают независимо друг от друга, приспосабливаясь к течению, действующему на данном уровне по высоте сечения потока. Недостатком гирляндной ГЭС является изгиб троса, особенно при большой скорости течения и ширине реки. Это приводит к усталостным разрушениям троса, что невозможно отремонтировать в зимнее время.

Барабанные погружные микроГЭС с одиночными барабанами с падающими или всплывающими лопатками. Недостатком для мелких перекатов будет малая мощность, т.к. мощность потока отбирается на малой площади, ввиду того, что основную площадь поперечного сечения потока занимает сам барабан.

Роторные микрогэс с вертикальным ротором позволяют использовать большую площадь поперечного сечения. Такие микрогэс применяются в составе речных буев [2]. Но они занимают большую придонную площадь из-за вращающегося ротора.

Поэтому предлагается устройство, которое будет универсально подходить к любому типу водоемов. Работает оно по типу качающейся донной микроГЭС, лопасти которой соединены негнущимся приводом для обеспечения одновременного поворота лопастей относительно потока. Рамка микроГЭС присоединена к поршневому генератору и таким образом вырабатывает энергию. Для неполного поворота рамки с лопастями вокруг оси используются фиксаторы, размещенные в дне водоема .

Гидростационарная аэрационная станция работает следующим образом. Схема работы уже установленной станции начинается с работы погружной микроГЭС, которая вырабатывает электроэнергию для привода компрессора, передавая электричество ему по проводам. Снабженный электроэнергией компрессор начинает подавать воздух, который

поступает по воздуховоду под давлением через самопогружной шланг в диффузор, диффузор обогащает воду кислородом круглый год в нужных количествах, контролируемых датчиком управления и слежения.

Датчик будет анализировать количество кислорода в воде. Учитывая то, что оно будет уменьшаться со временем, рыбы, которые живут в озере будут снова чувствовать недостаток кислорода и начнет задыхаться при снижении содержания кислорода в воде иже 4 мг/л. Поэтому, когда датчик определит, что показания опустятся до 5,5 мг/л, будет включаться система аэрирования, которая восстановит содержание кислорода до 7 мг/л.

Литература:

1. Ковальчук Е.А. Погружная ГЭС с лопатками на бесконечной ленте. Полезная модель № 160471, опубл. 20.03.2016, бюлл.№6

2. Дмитриев И.К. Речной навигационный буй с микрогэс для питания сигнального источника света. Патент на изобретение №2241631, опубл. 10.12.2004, бюлл.№34

УДК 536.7

Применение аккумуляторов энергии в микроэнергетике

Устинов Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры "Атомная энергетика"
Антипов Р. Р., Фестовец А. В. студенты направления «Теплоэнергетика и теплотехника»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Многие источники энергии выдают энергию неравномерно, например солнечные батареи или ветродвигатели, а также неравномерно потребление данной энергии. Поэтому необходимо использовать накопители энергии, мы рассмотрим некоторые из них и выделим наилучший.

Маховичный накопитель энергии.

Принцип действия маховичных накопителей энергии основан на раскручивании маховика за счёт внешней энергии. Использование такого накопителя энергии позволяет накапливать энергию при разгоне маховика, а затем отдавать ее в виде электрической или механической энергии за любой промежуток времени.

Количество энергии, которую способен запасти накопитель, зависит от его массы, скорости вращения и его масштабов. Чем больше скорость. Тем больше энергии можно

запасти. Однако скорость вращения ограничивается прочностью материала, из которого он изготовлен.

Также, для того чтобы сократить потери от трения при больших оборотах маховика об воздух следует его размещать в вакуумных камерах. Эта камера должна быть очень прочной, чтобы обеспечить надежную фиксацию подшипников и вала маховика, так как если при аварии не произойдет разрушений корпуса, то всё равно вся оставшаяся энергия выделится в виде тепла.

Чтобы избежать трения в подшипниках рекомендуется использовать магнитную подвеску, которая должна взять на себя часть нагрузки.

Помещать супермаховик в вакуумированную камеру и использовать магнитную подвеску начали уже давно. В последнее время разработчики пытаются использовать подвеску на базе сверхпроводящих электромагнитов и производить накопительный барабан из материалов, полученных с помощью нанотехнологий.

Характеристики.

Для стального цилиндрического маховика максимальная удельная энергия составляет приблизительно 10 кДж/кг. Для маховика массой 100 кг (R = 0.2 м, H = 0.1 м) максимальная накопленная энергия может составлять $0.25 \cdot 3.14 \cdot 8000 \cdot 0.2^2 \cdot 0.1 \cdot 200^2 \approx 1$ МДж ≈ 0.278 кВт час, определенная по формуле:

$$E_{max} = 0.25\ p\ r\ R^2\ H\ V^2_{max}. \quad (1)$$

При работе накопитель может в течение часа обеспечивать нагрузку не более 280 Вт. Срок службы маховика может составлять 20 и более лет.

Современные конструкции с вакуумной камерой вращения и магнитным подвесом супермаховика из кевларового волокна обеспечивают плотность запасенной энергии более 5 МДж/кг, причём могут сохранять кинетическую энергию неделями и месяцами. Однако пока они существуют лишь в виде экспериментальных экземпляров или опытных партий.

Из достоинств маховичного накопителя энергии стоит отметить:

1) накопленная энергия может быть использована в течение короткого промежутка времени;

2) сочетает в себе долговечность и умеренную цену;

3) большой КПД;

Из недостатков можно выделить:

1)гироскопический эффект, обусловленный большим моментом импульса вращающегося маховика, и препятствующий изменению направления оси вращения маховика;

2) не существует подшипников, способных долго работать при миллионах оборотов в минуту под большой нагрузкой;

3) для работы магнитных подшипников постоянно надо расходовать большое количество энергии.

4) при вращении металлических частей в магнитном поле возникает индукционный ток, который своим магнитным полем тормозит вращение и уменьшает КПД системы [3].

Гравитационный накопитель энергии.

Суть гравитационных накопителей энергии заключается в том, что некоторый груз поднимается на высоту и отпускается, вынуждая по ходу вращаться ось генератора. Запасенная энергия высвобождается при падении груза и совершении соответствующей полезной работы в результате перехода потенциальной энергии в кинетическую. Энергию, запасенную при поднятии твердых тел, можно высвободить за очень короткое время.

Время хранения запасенной энергии почти безгранично, в случае если конструкция не будет рассыпаться с течением времени от старости либо коррозии.

Характеристики гравитационных накопителей энергии.

Для тебя массой 2000 кг и высотой поднятия 5 м в идеальном случае (без учета потерь на трение) составит $E = mgh \approx 2000 \cdot 10 \cdot 5 = 100$ кДж ≈ 27.8 Вт · час.

При работе такой накопитель может обеспечить нагрузку не более 28 Вт в течение часа. Удельная энергия составит 0,005 кДж/кг, Ожидаемый срок службы механической конструкции превосходит 20 лет.

К достоинствам можно отнести

1) накопленная энергия может быть использована в течение короткого промежутка времени;

2)низкая стоимость хранения энергии;

3)высокая эффективность (КПД до 80%);

4)длинный жизненный цикл;

5)масштабируемость решения;

6)может быть установлен на любом равнинном ландшафте [1,2].

Пневматический накопитель энергии.

В стальной резервуар емкостью 1 м3 закачивается воздух под давлением 50 атмосфер. Для того, чтобы выдержать подобное давление, стенки резервуара должны иметь толщину приблизительно 5 миллиметров. Сжатый воздух применяется с целью выполнения работы. При изотермическом процессе работа A, совершаемая идеальным газом при расширении в атмосферу, определяется формулой:

$$A = (M / m) \cdot R \cdot T \cdot \ln (V2 / V1), \qquad (2)$$

где M — масса газа, кг;

m — молярная масса газа, г/моль;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К) ;

T — абсолютная температура, К;

V1 — начальный объем газа, м³;

V2 — конечный объем газа. м³.

С учетом уравнения состояния для идеального газа (P1 · V1 = P2 · V2) для данной реализации накопителя V2 / V1 = 50, R = 8.31 Дж/(моль • град), T = 293 0K, M / m ≈ 50: 0.0224 ≈ 2232, работа газа при расширении 2232 · 8.31 · 293 · ln 50 ≈ 20 МДж ≈ 5.56 кВт • час за цикл. Масса накопителя приблизительно равна 250 килограмм. Удельная энергия составит 80 кДж/кг. При работе пневматический аккумулятор способен на протяжении одного часа обеспечивать нагрузку не более 5.5 кВт. Продолжительность работы пневматического накопителя может составлять свыше 20 лет.

Достоинства: накопительный резервуар может быть расположен под землей, в качестве резервуара могут применяться обыкновенные газовые баллоны в требуемом количестве с надлежащим оборудованием, при применении ветродвигателя последний способен напрямую приводить в действие насос компрессора, существует довольно огромное число приборов, непосредственно использующих энергию сжатого воздуха.

При написании данной статьи была поставлена задача: по всем параметрам и преимуществам выбрать наиболее оптимальный и энергоёмкий накопитель энергии, который, действительно, будет являться подходящим в использовании. Были рассмотрены несколько типов накопителей электроэнергии и сделан вывод о том, что таковым является пневматический накопитель электроэнергии [4].

Литература:

1. Какой накопитель энергии самый энергоёмкий [Электронный ресурс],- Режим доступа: http://econet.ru/articles/109310-kakoy-nakopitel-energii-samyy-energoemkiy

2. Обзор типов накопителей энергии [Электронный ресурс],- Режим доступа: http://khd2.narod.ru/gratis/accumul.htm

3. Википедия. Свободная энциклопедия. Супермаховик [Электронный ресурс],- Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Супермаховик

4. Обзор накопителей (аккумуляторов) энергии [Электронный ресурс],- Режим доступа: http://imlab.narod.ru/Energy/Accumulation/Accumulation.htm

СЕКЦИЯ 2:
«ТРАНСПОРТНЫЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»

УДК 621.873

Поиск оптимальной структуры металлоконструкции тяжелого козлового монтажного крана

Кобзев Р. А., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Атомная энергетика»;
Ботов А. А., студент специальности «Наземные транспортно-технологические средства»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Козловые монтажные краны используются для механизации монтажных работ при строительстве крупных объектов промышленности. Как правило, они имеют уникальные параметры по грузоподъемности, высоте подъема груза, пролету крана, в связи с чем обладают весьма тяжелой и громоздкой конструкцией. В большинстве случаев металлоконструкции таких кранов представляют собой пространственные стержневые системы с коробчатыми стержнями. Применение более легких ферменных конструкций нецелесообразно в связи со сложностью изготовления и крайне низкой серийностью изготовления кранов рассматриваемого класса [1-3].

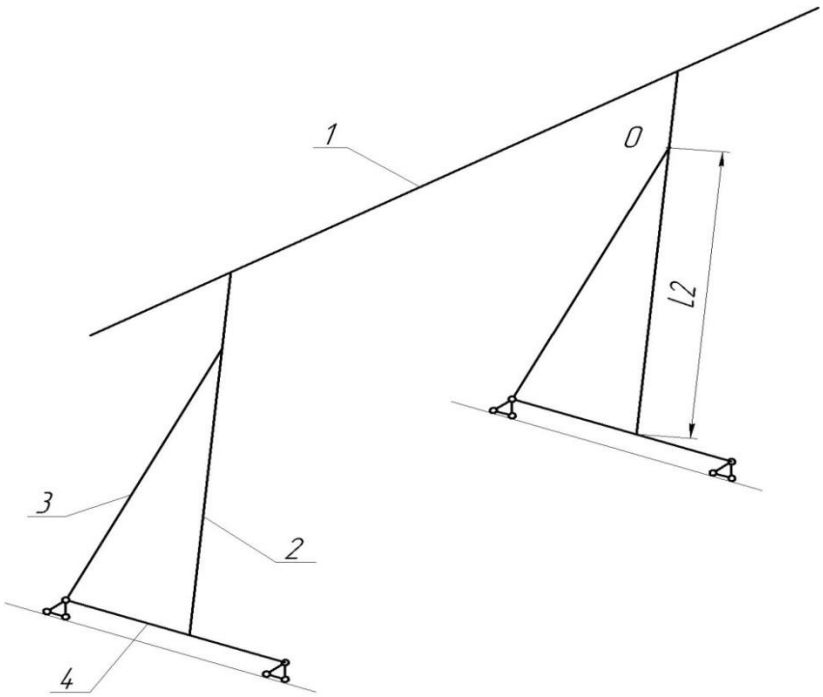


Рис. 1. Оптимизируемая структурная схема

Исходная схема рассматриваемого крана показана на рис.1 и состоит из пролетного строения *1*, опор *2*, подкоса *3* и нижнего ригеля *4*. Параметры пролетного строения определяются техническим заданием и не могут быть изменены, поэтому остановимся подробнее на структуре опор. Высота опоры также выбирается в соответствии с техническим заданием, в результате основной переменной в рассматриваемой оптимизационной задаче является размер *l2*, определяющий высоту расположения точки сопряжения подкоса с опорой *O*. С одной стороны, при изменении параметра *l2* в большую сторону увеличивается длина и, следовательно, металлоемкость подкоса, с другой стороны, уменьшение *l2* приводит к увеличению изгибающего момента, действующего на опору со стороны горизонтальных усилий, приложенных к пролетному строению: инерционных усилий при разгоне и торможении крана, ветровой нагрузки, действующей на пролетное строение. Всего было рассмотрено 10 вариантов структурной схемы, с шагом в 1 метр. Для каждого варианта определялось значение целевой функции следующего вида

$$Ц = N_{под} \cdot L_{под} \cdot k_{под} + N_0 \cdot L_0 \cdot k_o, \quad (1)$$

где $N_{под}$, N_0 – максимальные напряжения в подкосе и опорах, $L_{под}$ и L_0 – длины подкоса и опоры, $k_{под}$, k_o – коэффициент, учитывающий трудоемкость изготовления металлоконструкции подкоса и опоры. Поскольку подкос и опора имеют коробчатое сечение, в данном случае значения коэффициентов $k_{под}$ и k_oодинаковы.

Значения усилий в подкосе и опоре определялись с помощью сертифицированного программного комплекса АРМ WinMachine для каждого из рассматриваемых вариантов. На рис. 2 показана стержневая модель металлоконструкции с приложенными к ней нагрузками. Наиболее опасным расчетным случаем при этом является торможение крана при переносе максимального груза с грузовой тележкой, расположенной непосредственно над одной из опор.

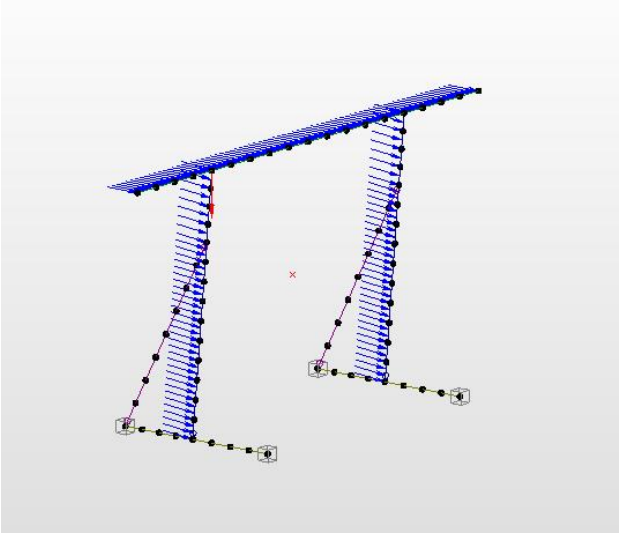


Рис. 2. Стержневая модель металлоконструкции с приложенными нагрузками

Карта напряжений, возникающих в элементах металлоконструкций, приведена на рис. 3.

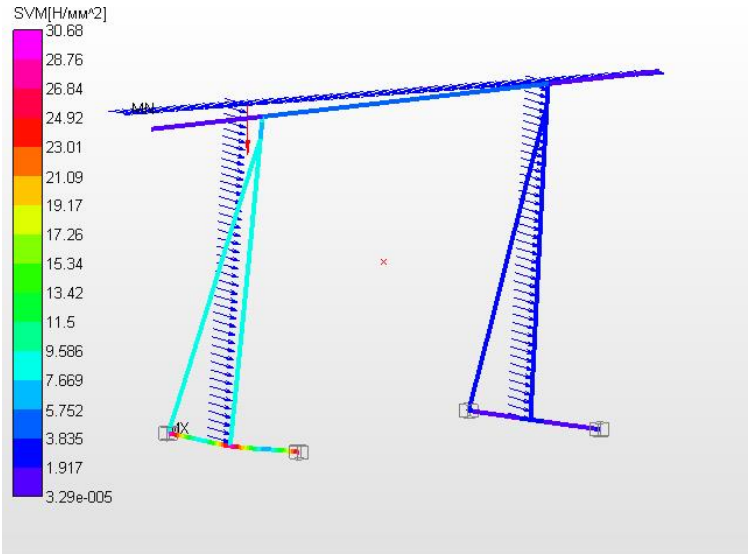


Рис. 3. Карта напряжений, возникающих в элементах металлоконструкции

Результаты расчета сведены в таблицу 1, график изменения значения целевой функции для каждого варианта структурной схемы приведен на рис. 4. Оптимальное значение *l2* составило 17 м.

Таблица 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
l2, м	15	16	17	18	19	20	21	22
Ц	136,9	133,7	130,74	137,53	155,23	164,96	174,54	190,1

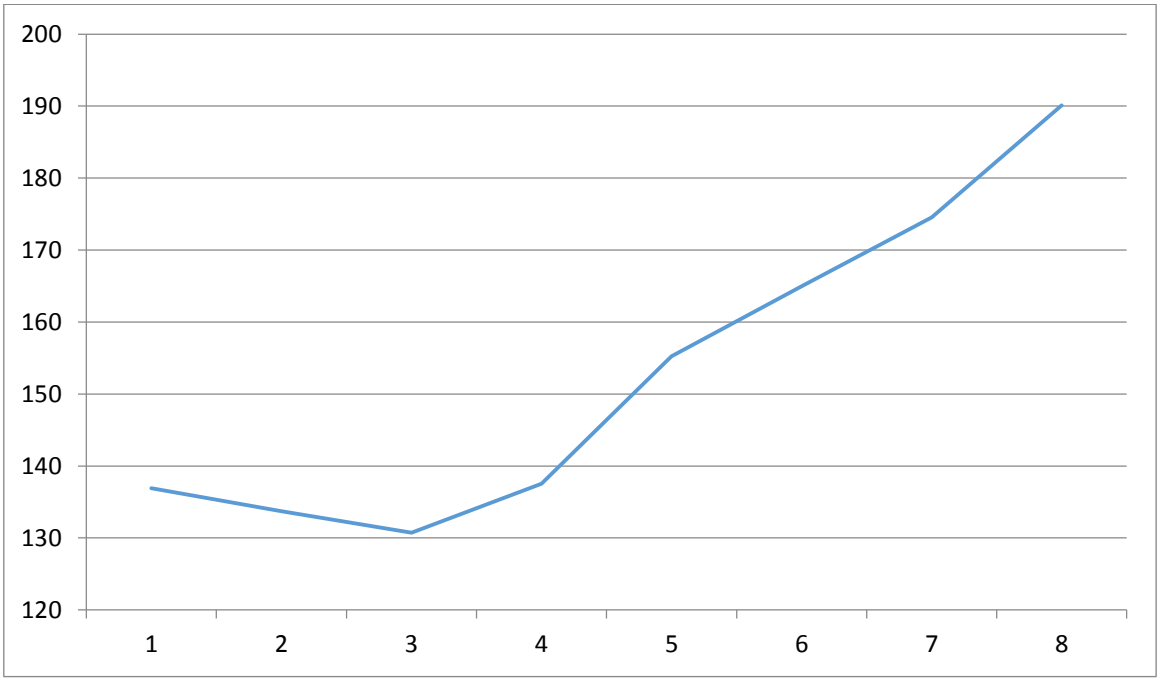


Рис. 4. График изменения значения целевой функции для различных вариантов структурной схемы

Литература:

1. Кобзев, А.П. Оптимальное проектирование тяжелых козловых кранов. [Текст]. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1991. 160 с.

2. Кобзев, Р.А. Козловые краны и мостовые перегружатели [Текст] / Р.А.Кобзев, А.П.Кобзев. Саратов: СГТУ, 2005. 96 с.

3. Кобзев, Р.А. Структурная оптимизация металлоконструкций специальных козловых кранов [Текст] // Мир транспорта и технологических машин. Орёл: ОрёлГТУ, №2(41), 2013. с. 81-84.

УДК621.873

Анализ механизмов уравновешивания массы стрелы портальных кранов

Кобзев А. П., доктор технических наук, профессор кафедры «Атомная энергетика»
Кобзев Р. А., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Атомная энергетика»
Калашников Е. В., студент специальности
«Наземные и транспортно-технологические средства»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В портальных кранах изменение вылета является рабочим движением и выполняется с грузом на высоких скоростях. Рабочий характер изменения вылета определяет два важнейших требования к стреловым устройствам:

1) Стреловое устройство должно быть полностью уравновешено относительно оси качания стрелы;

2) Груз при изменении вылета должен двигаться по траектории, близкой к горизонтальной.

Выполнение перечисленных требований позволит значительно снизить нагрузку на механизм подъема стрелы (изменения вылета), а также уменьшить его энергоемкость, что является особенно важным в свете Указа Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [1].

Рассмотрим более подробно различные варианты решения первой из перечисленных задач. Уравновешивание стрелы, как правило, производится с помощью противовесов, которые располагаются либо непосредственно на металлоконструкции стрелы, либо жестко

связаны с ней. С точки зрения уравновешивания поворотной платформы кранов, желательно, чтобы противовес был расположен достаточно далеко от оси вращения крана и приближался к ней по мере подъема стрелы, поэтому наиболее распространены противовесы, отнесенные к задней части поворотной платформы и соединенные с ней системой рычагов или гибкой тягой [2, 3].

Уравновешивание массы стрелового устройства с помощью противовесов, расположенных на удлинении стрелы

Уравновешивание массы в рассматриваемом варианте стрелового устройства достигается при расположении противовеса на удлинении стрелы, а так же, когда центры тяжести противовеса, стрелы и ось вращения стрелы лежат на одной прямой (рис. 1.). Такое уравновешивающее устройство имеет недостаток в том, что ухудшается уравновешивание поворотной платформы в целом и требуется изготовление сложной и громоздкой металлоконструкции задней части стрелы, охватывающей машинное отделение.

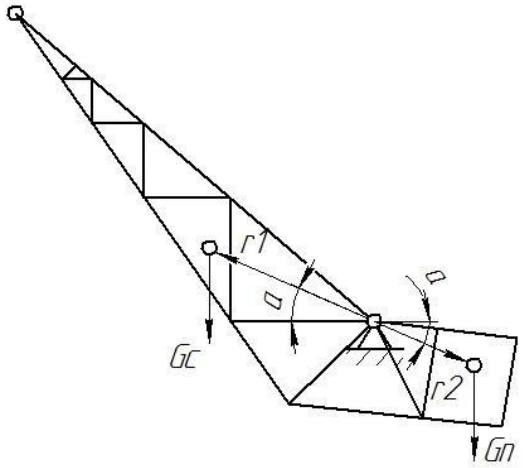


Рис. 1. Схема уравновешивания массы стрелы с помощью противовесов, расположенных на удлинении стрелы

Уравновешивание массы стрелового устройства с помощью противовесов, установленных на качающемся коромысле

Полное уравновешивание стрелы может быть достигнуто также, если рычажная система выполнена в виде параллелограмма (рис. 2). При этом угол между прямой, соединяющей центр тяжести стрелы с корневым шарниром стрелы и угол, соединяющий центр тяжести с шарниром противовеса, должен быть равным. Тогда, выбрав плечи и силу веса противовеса для среднего положения стрелы, получим уравновешивание стрелы на всех вылетах. В этом случае масса противовеса, расположенного на качающемся коромысле в задней части поворотной платформы и соединенного со стрелой системой рычагов, должна уравновесить массу стрелы, хобота, половины оттяжки. Ориентировочное соотношение массы стрелы G_c, хобота G_x и оттяжки G_o для шарнирно-сочлененных стрел с гибкой

оттяжкой можно принять $G_c : G_x : G_o$ = 3:1:0,2, для шарнирно-сочлененных стрел с жесткой оттяжкой $G_c : G_x : G_o$ = 3:1,2:1. Из условия наилучшего уравновешивания форма и размеры рычага подвижного противовеса выбираются так, чтобы наибольшее отклонение противовеса от оси качения стрелы было не более (0,25…0,40) r_{max}. Отношение плеч рычага противовеса $r_1 : r_2$ = 0,8…1,4. Большее значение берется для кранов с небольшими вылетами. Удовлетворительным считается уравновешивание, если значение неуравновешенного момента не превышает 10% от момента, создаваемого весом стрелы.

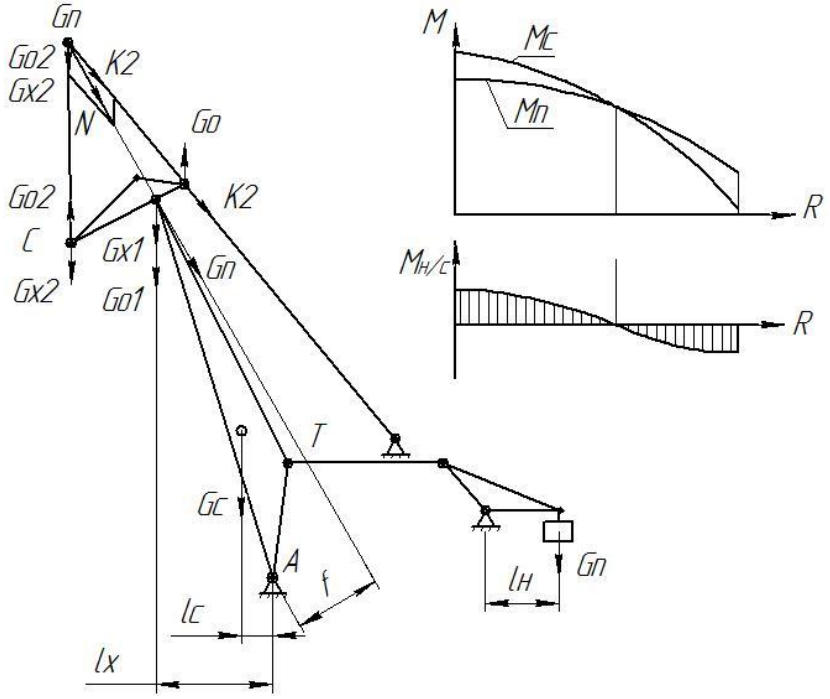


Рис. 2. Схема уравновешивания массы стрелы с помощью противовесов, установленных на качающемся коромысле, и графики моментов от веса стрелы и противовеса, а также график неуравновешенного момента

После выбора массы противовеса производится проверка уравновешивания стрелового устройства при различных вылетах, для чего строится график моментов неуравновешенных в нескольких положениях (не менее шести) для различных вылетов. Далее производится корректировка массы противовеса так, чтобы при максимальном вылете момент противовеса был больше, чем момент стрелы, а на минимальном – наоборот, при этом неуравновешенный момент в крайних положениях должен быть одинаков. В этом случае при поломке механизма изменения вылета стрела не упадет, а займет среднее положение.

Такая схема достаточна проста в изготовлении, хотя и требует наличия шарнирной системы, обеспечивает уравновешенность поворотной платформы, недостатком является невозможность уравновешивания стрелы на всем диапазоне изменения вылета.

Уравновешивание стреловых устройств с помощью противовесов, подвешенных на гибкой связи

Уравновешивание стрелового устройства с помощью подвесного противовеса позволяет уменьшить габарит задней части поворотной платформы и при этом получить полное уравновешивание стрелы за счет качающегося криволинейного сектора (рис. 3). Противовес в таких устройствах подвешивается на пластинчатой цепи или на канате и перемещается в направляющих. Цепь имеет преимущество в том, что позволяет уменьшить радиус блока и криволинейного сектора. Для построения профиля сектора для среднего положения стрелы определяется масса противовеса при выбранном плече сектора. Далее для нескольких промежуточных положений стрелы определяются значения радиусов шины. Профиль шины получается соединением всех промежуточных точек плавной кривой.

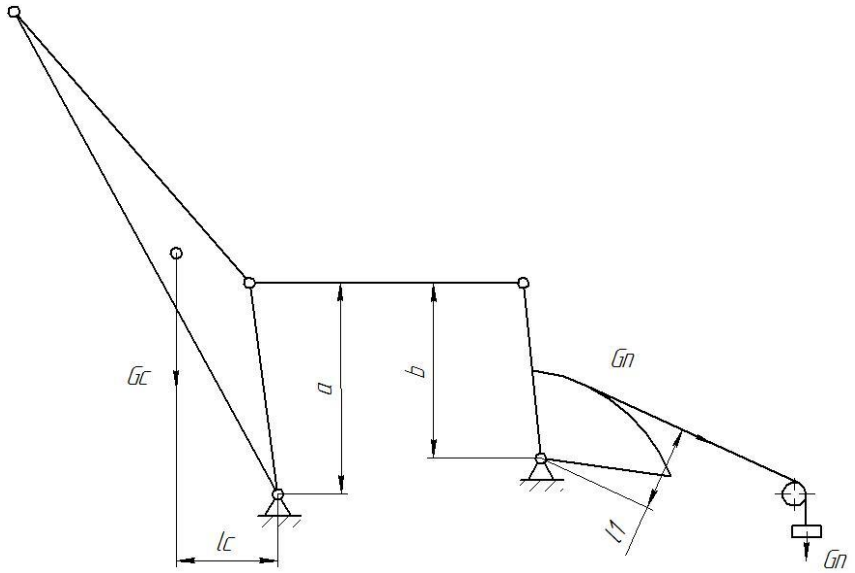


Рис. 3. Схема уравновешивания массы стрелы с помощью противовесов, подвешенных на гибкой связи

Преимуществом данного варианта является полное уравновешивание массы стрелы на всем диапазоне вылетов, как недостатки следует отметить подверженность каната или цепи усталостному изнашиванию, сложность изготовления криволинейного профиля шины и невозможность обеспечения уравновешивания поворотной платформы и крана целиком из-за того, что противовес находится на постоянном расстоянии от оси вращения.

Уравновешивание стреловых устройств с помощью складных противовесов

Уравновешивание стреловых устройств также может производиться с помощью складного противовеса, в котором достигается близкое к полному уравновешивание массы стрелы на разных вылетах за счет переменной массы противовеса. Противовес таких механизмов выполнен из набора грузов, соединенных цепями или канатами. При подъеме стрелы грузы, опускаясь поочередно, укладываются на дно направляющей шахты, за счет чего уменьшается уравновешивающий момент противовеса (рис. 4). Для проектирования

механизма определяются моменты от массы стрелового устройства для нескольких положений стрелы. Далее определяется ход задней части стрелы для каждого из промежуточных положений Моменты противовеса должны быть равны моментам стрел, что достигается на основе определения плеча противовеса. По найденному значению плеча противовеса находятся соответствующие массы противовесов. В итоге получается, что плавному изменению момента стрелы соответствует ступенчатое изменение момента противовеса. Разница между моментом стрелы и моментом противовеса тем меньше, чем больше число грузов устанавливается на противовесе.

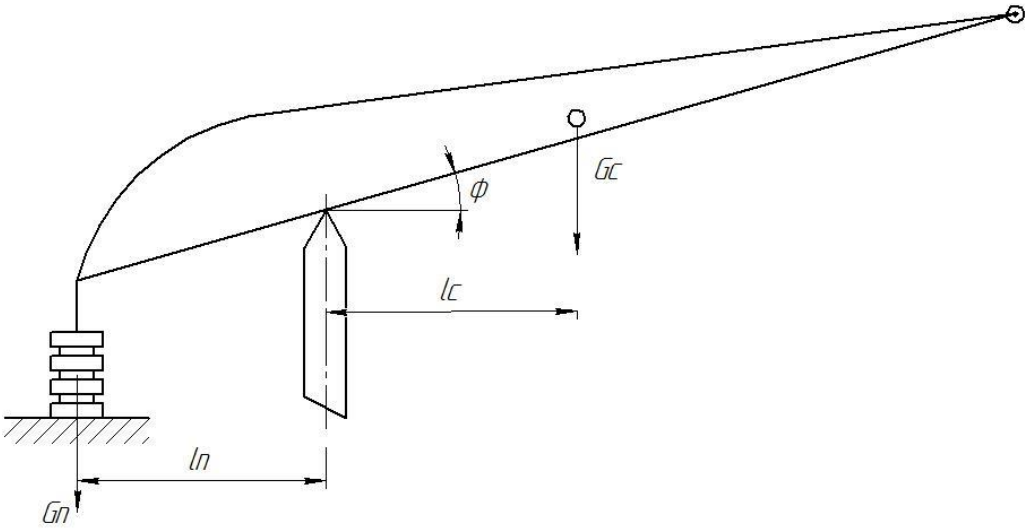


Рис. 4. Схема уравновешивания массы стрелы с помощью складных противовесов

Данный вариант позволяет получить близкие к идеальным показатели уравновешивания массы груза, однако в этом случае также имеются недостатки, связанные с использование канатов или цепей для подвешивания грузов, и уравновешиванием поворотной платформы и крана в целом.

Уравновешивание стреловых устройств с помощью перекатывающихся противовесов

Полное уравновешивание стрелового устройства может быть достигнуто и в уравнительных механизмах с перекатывающимися по наклонному рельсу противовесными тележками (рис. 5).

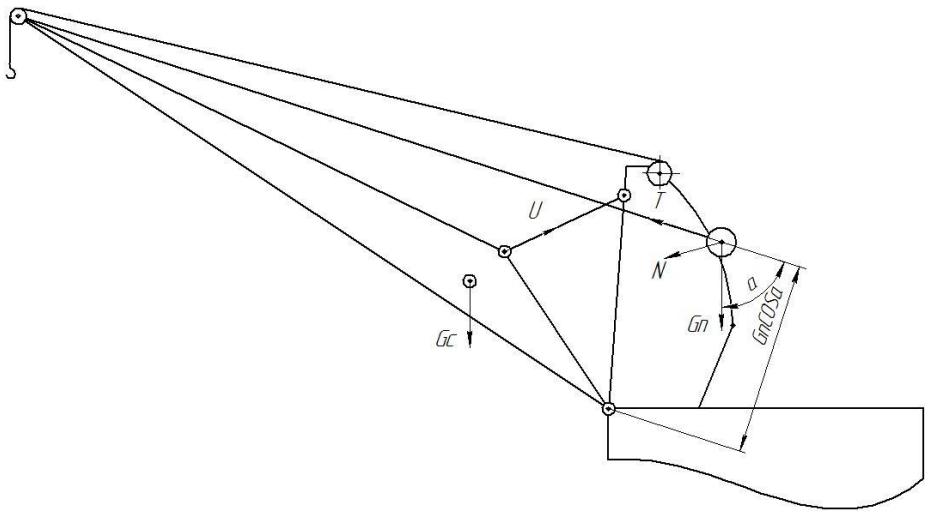


Рис. 5. Схема уравновешивания массы стрелы с помощью перекатывающихся противовесов

В таких случаях масса противовеса определяется для среднего положения стрелы, а полное уравновешивание стрелы в других положениях достигается за счет изменения плеча действия массы противовеса относительно шарнира пяты стрелы проектированием профиля наклонного рельса аналогично случаю уравнительных механизмов с качающимся криволинейным сектором, только в этом случае плечо изменяется не за счет качающегося сектора, а за счет профиля наклонного рельса.

Преимуществом данного варианта является возможность полного уравновешивание массы стрелы на всем диапазоне вылетов, тем не менее, имеются такие недостатки, как сложность изготовления криволинейного профиля рельса и невозможность обеспечения уравновешивания поворотной платформы и крана целиком.

На основании приведенного сравнения можно сделать вывод, что наиболее эффективной схемой является уравновешивание стрелы с помощью противовесов, установленных на качающемся коромысле, вследствие ее простоты и технологичности, а также простоты уравновешивания поворотной платформы и крана. При этом удается снизить нагрузки, действующие на механизм изменения вылета от веса стрелы, на 90%, что является вполне удовлетворительным результатом. Конструкции, позволяющие достигнуть более высокую степень уравновешивания стрелы, являются более дорогими в изготовлении, что значительно снижает их эффективность.

Литература:

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации от 2011 г. , N 28 , ст. 4168.

2. Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Специальные грузоподъемные машины. Портальные, судовые и плавучие краны. Под ред. проф. Никитина К.Д.. Санкт-Петербург, Издательство политехнического университета, 2009. 160 с., ил.

3. Веремеенко Е.И. Портовые грузоподъемные машины. М.: Транспорт, 1984. 320 с., ил.

УДК 621.928.9

Пути совершенствования конструкций циклонных аппаратов

Вандышева А. А., ассистент кафедры «Атомная энергетика»,
Вандышев А. С., студент направления «Технологические машины и оборудование»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Защита окружающей среды, а в частности воздушного бассейна, от выбросов промышленных и энергетических предприятий остается одной из важнейших проблем современного производства. Загрязнение воздушной среды вызывает нарушения экологических систем, ухудшение санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха и наносит ущерб народному хозяйству. Именно это служит основанием для принятия необходимых мер по предотвращению выбросов в атмосферу, своевременному строительству очистных сооружений, разработке и модернизации уже спроектированного и используемого вида газоочистного и пылеулавливающего оборудования.

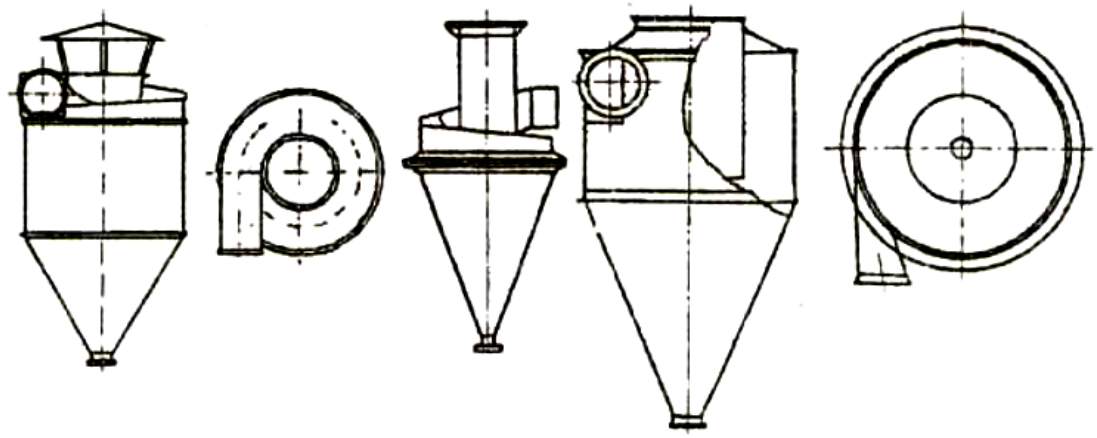
Одним из распространенных видов оборудования для пылеулавливания был и остается циклон. Циклоны – наиболее распространенные пылеулавливающие аппараты, которые применяются на предприятиях различных отраслей: химической, машиностроительной, энергетической, нефтяной, деревообрабатывающей, строительной и т.д.

История пылеочистки воздуха и газов, при помощи циклонов, берет свое начало в XIX веке. Этой проблеме было посвящено много теоретических и экспериментальных исследований. За полтора века «циклоностроения» техника газоочистки использовала множество вариантов конструкций циклонов.

В результате анализа технической литературы были изучены пути совершенствования конструкций циклонных аппаратов в истории пылеочистки [1].

В 1885 году впервые появились устройства, использующие принцип работы циклона, которые применялись как пылесборники. В 1877 году Делавалем была выдвинута идея центробежного разделения веществ, на примере отделения сливок от молока.

В 1937 году был разработан ряд циклонов, представленных на рисунке 1.



а) *б)* *в)*

Рис.1. Конструкции циклонов: а) Шильде (Германия);
б) Техмашстроя; в) нормализованного

Попытка модификации циклонного аппарата была проведена Фейфелем, в котором предполагалось полезное использование радиального стока (рис.2).

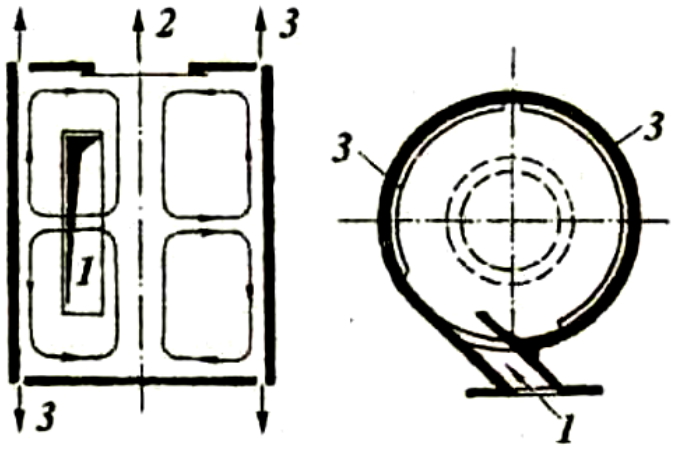
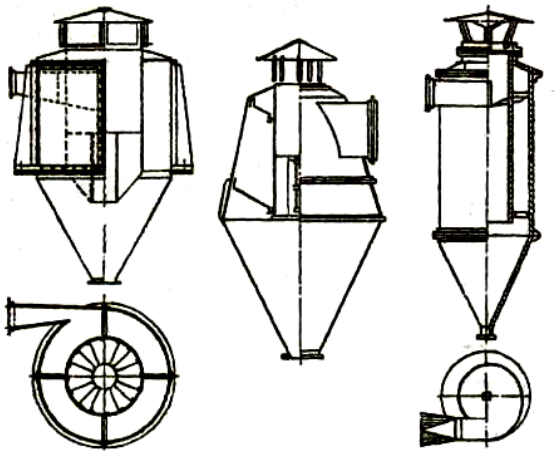


Рис.2. Конструкция циклона Фейфеля: 1 – вход газа;
2 – выход очищенного газа; 3 – кольцевая щель выхода пыли

Устройства, собранные из батарей циклонов Фейфеля маленьких объемов, обладают высокой эффективностью.

На рисунке 3 представлены конструкции циклонов конца первой половины XX века.

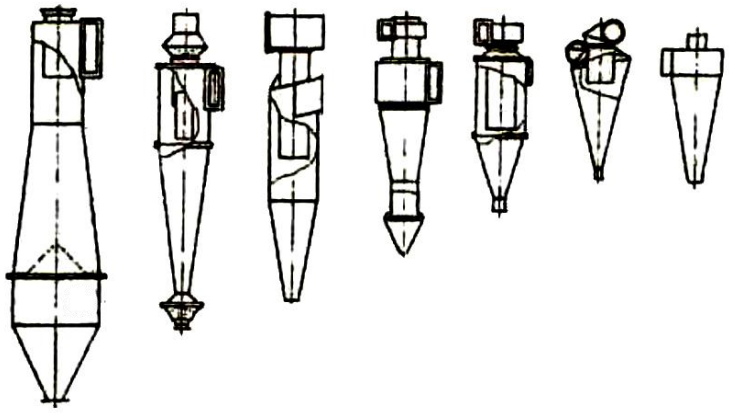


а) *б)* *в)*

Рис.3. Конструкции циклонов конца первой половины XX века: а) циклон Гипродрева; циклон конструкции Промстройпроекта; в) циклон конструкции ЛИОТ

Циклон конструкции ЛИОТ (цилиндрический) до 90-х годов XX столетия широко применялся в различных отраслях промышленности. Но циклоны данной конструкции были малоэффективны, в отличие от циклонов конструкции Гипродрева.

Уже в 70-х годах XX столетия стало прослеживаться многообразие конструктивных форм циклонов, часть которых изображена на рисунке 4.



а) *б)* *в)* *г)* *д)* *е)* *ж)*

Рис.4. Конструкции противоточных циклонов: а) ВЦНИИОТ; б) ГДПЦ; в) ЦН-15; г) Фейфеля; д) ЛПОТ; е) СИОТ; ж) СДК-ЦН-33

Большая часть изображенных конструкций циклонов применяются и в настоящее время. Конические циклоны СИОТ отличаются высокой эффективностью пылеулавливания, их особенностью является отсутствие цилиндрической части аппарата.

Наиболее распространенными являются циклоны конструкции НИИОГАЗ (Научно-исследовательского института по промышленной и санитарной очистке газов).

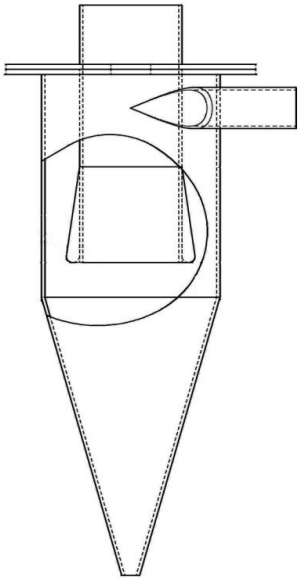


Рис.5. Противоточный циклон с пониженным гидравлическим сопротивлением

В 2010 году учеными Балаковского института техники, технологии и управления Устиновым Н.А., Груниным А.Н и Матказиной А.А. был запатентован противоточный циклон с пониженным гидравлическим сопротивлением (рис.5) [2]. Насадка плавного обтекания, установленная на входе выходной трубы, позволяет снизить гидравлическое сопротивление циклона и увеличить степень очистки.

В дальнейшем авторы данной конструкции противоточного циклона разработали и запатентовали еще две конструкции циклонов с внутренней модификацией [3, 4].

Циклоны являются самыми распространенными сухими механическими пылеуловителями благодаря дешевизне, простоте устройства и обслуживания, высокой производительности и надежности работы в течение многих лет.

На протяжении эксплуатации циклонов, в их конструкции постоянно вносятся изменения, с целью улучшения эффективности пылеулавливания и минимизации энергозатрат.

Литература:

1. Веригин А.Н. Конструкция современных циклонов для пылеулавливания/ А.Н. Веригин, В.Н. Федоров, М.С. Малютин// Издательство: С.-Петербургского университета, 2000 г., 336с. Тираж -500экз.

2. Пат. 93037 Российская федерация. МПК B04C 7/00. Противоточный циклон с пониженным гидравлическим сопротивлением / Устинов Н.А., Грунин А.Н., Матказина А.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет. - №2008147595/22; заявл. 02.12.2008; опубл. 20.04.10, Бюл. №11

3. Пат. 111463 Российская федерация. МПК B04C 5/12. Циклон с организованным движением газового потока / Устинов Н.А. Матказина А.А., Иванов А.Н.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет. - №2011128046/05; заявл. 07.07.2011; опубл. 20.12.11, Бюл. №35

4. Пат. 129849 Российская федерация. МПК B04C 5/00. Противоточный циклон Матказиной / Устинов Н.А. Матказина А.А., Шиварев А.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. - № 2012119218/05; заявл. 10.05.2012; опубл. 10.07.13, Бюл. №19

УДК.621.873

Определение оптимальных параметров металлоконструкции балансира механизма передвижения мостового литейного крана КМЛ-100/20

Кобзев Р.А., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Атомная энергетика»
Чирков А.А. студент специальности
«Наземные транспортно-технологические средства»
[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Оптимальное проектирование – это такой вид проектирования, при котором за счет изменения переменных параметров конструкции достигаются экстремальные значения (максимальные или минимальные) заданных целевых технико-экономических показателей конструкции. В качестве последних наиболее часто используются минимальная стоимость, максимальная производительность, минимальная металлоемкость, минимальное загрязнение окружающей среды, минимальные габаритные размеры. Показатели или комплекс показателей, значения которых стараются минимизировать или максимизировать, называют целевой функцией или критерием качества. При этом на область значений, которые могут принимать переменные параметры, накладывается ряд ограничений, связанных с выполнением требований по прочности, надежности, технологичности изготовления, в некоторых случаях по массе и габаритам, а также другим конструктивным параметрам проектируемого изделия [1, 2]. В зависимости от числа показателей, экстремум которых необходимо отыскать, оптимизация является однокритериальной или многокритериальной. При решении практических задач проектирования технических конструкций практически всегда приходится решать более сложные задачи многокритериальной оптимизации. Однако в большинстве случаев удается перейти от нескольких к одному критерию оптимизации, если присутствуют взаимосвязи между показателями, входящими в критерий качества, или

за счет определения весовых коэффициентов, учитывающих значимость каждого показателя [3].

В данной работе объектом оптимизации является мостовой литейный кран КМЛ-100/20. В [4] была решена задача выбора оптимальной структурной схемы механизма передвижения крана, в результате было установлено, что наиболее удачной является схема, содержащая 16 ходовых колес, каждое из которых является оснащено состенным приводом. Исходя из этого, в состав механизма передвижения крана должна входить система балансиров, позволяющая равномерно распределить нагрузки между ходовыми колесами крана. Таким образом, необходимо определить оптимальные параметры металлоконструкции балансира.

Балансир механизма передвижения состоит из несущей металлоконструкции, двух колесных установок и двух приводов. В подавляющем большинстве случаев металлоконструкции балансиров имеют прямоугольное поперечное сечение (рис. 1), причем в центральной части балансир имеет максимальную высоту H, по краям, в зоне установки ходовых колес, высота балансира снижается.

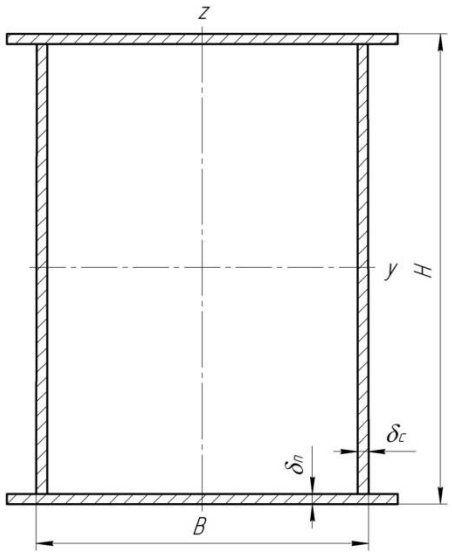


Рис.1. Поперечное сечение центральной части балансира

Основными переменными при проектировании балансира являются высота сечения в центральной части H, ширина сечения B, толщина стенки σ_c, толщина полки σ_n, а также длина балансира, высота сечения в зоне установки колес. Ширина сечения определяется шириной буксы колесной установки и не может быть изменена, длина балансира и высота его сечения в зоне установки колес также определяются конструктивно из условия обеспечения сборки и замены ходовых колес. В результате задача сводится к определению значений трех переменных: H, δ_c и δ_n.

При проектировании металлоконструкций в качестве критерия оптимизации может быть использована металлоемкость, поскольку в общем случае она определяет и стоимость изготовления, и трудоемкость монтажа конструкции [5].

При проведении анализа было рассмотрено 16 вариантов металлоконструкции балансира. Разница заключалось в изменении толщины стенок балансира (от 8 до 16 мм), толщины стенок (от 6 до 12 мм), высота балансира изменялась от 750 мм до 900 мм с шагом в 50 мм. Меньшие значения параметров не рассматривались по конструктивным соображениям. Для каждого варианта проверялись условия прочности и жесткости, определялось значение металлоемкости $G_{б0}$. Далее для каждого из вариантов была выполнена проверка по местной устойчивости. Известно [6], что необходимость установки ребер определяется значением параметра S_c, который не должен превышать 70. Толщина ребер принималась равной 5 мм по технологическим соображениям, размеры ребер определялись, исходя из конструктивных соображений. В результате во все случаях была выявлена необходимость в установке вертикального ребра жесткости в зоне центрального шарнира. В ряде случаев также возникла необходимость в установке ребер жесткости над буксами колесных установок. Результаты расчета представлены в таблице 1 и рис. 1.

Таблица 1

№	Ширина B, м	Высота H, м	Толщина полки δ_n, м	Толщина стенки δ_c, м	Металлоемкость без учета ребер жесткости $G_{б0}$, кг	Металлоемкость с учетом ребер жесткости $G_б$, кг
1	0,375	0,9	0,008	0,006	395,6	407,261
2	0,375	0,85	0,008	0,008	461,6	472,52
3	0,375	0,8	0,008	0,01	518,2	525,922
4	0,375	0,75	0,008	0,012	565,2	572,22
5	0,375	0,9	0,01	0,006	431	442,661
6	0,375	0,85	0,01	0,008	497	507,92
7	0,375	0,8	0,01	0,01	553,4	561,122
8	0,375	0,75	0,01	0,012	600	607,02
9	0,375	0,9	0,012	0,006	471	482,661
10	0,375	0,85	0,012	0,008	541,2	552,12
11	0,375	0,8	0,012	0,01	588,7	596,422
12	0,375	0,75	0,012	0,012	636	643,02
13	0,375	0,9	0,016	0,006	537	548,661
14	0,375	0,85	0,016	0,008	602,9	613,82
15	0,375	0,8	0,016	0,01	659,4	667,122
16	0,375	0,75	0,016	0,012	706,5	713,52

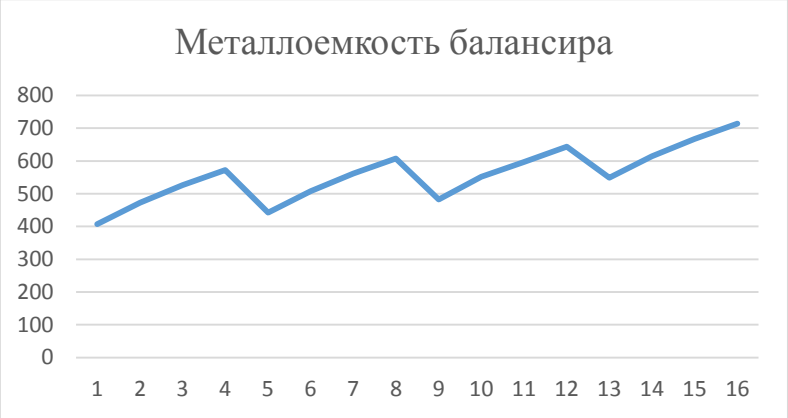


Рис. 2. Металлоемкость балансира механизма для различных вариантов

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что оптимальным является вариант №1. Помимо этого, следует отметить, что учет ребер жесткости в целом не оказывает серьезного влияния на результаты оптимизационного анализа.

Литература:

1. Кобзев, А.П. Развитие теории оптимального проектирования тяжелых козловых монтажных кранов [Текст]: дис. докт. техн. наук. - Саратов, СГТУ, 1996. 405 с.

2. Кобзев, Р.А. Выбор критериев оптимального проектирования специальных козловых кранов ГЭС [Текст] / Р.А. Кобзев, А.П. Кобзев // Сборник научных трудов по материалам I региональной научн.-техн. конференции «Системы автоматического проектирования и автоматизация производства» Саратов: СГТУ, 2009. с. 183-184.

3. Cristina Bazgan, Florian Jamain, Daniel Vanderpooten. Approximate Pareto sets of minimal size for multi-objective optimization problems. Operations Research Letters, In Press, Accepted Manuscript, Available online 27 October 2014.

4. Кобзев, Р.А. Оптимальное проектирование механизма передвижения мостового литейного крана [Текст] / Р.А. Кобзев, А.А. Чирков // Сборник трудов научно-практической конференции «Энергоэффективность и энергосбережение», Балаково, 2016.

5. Кобзев, Р.А. Выбор целевой функции оптимального проектирования металлических конструкций козловых кранов [Текст] / Р.А. Кобзев, Н.М. Чернова. // Вестник СГТУ. – Саратов: СГТУ, №3(58), Вып. 2, 2011. –С. 252-255.

6. ОСТ 24.090.72-83. Нормы расчета стальных конструкций мостовых и козловых кранов [Текст]. – Введ. 1984-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 64 с.: ил.

УДК 621.873

Анализ механизмов уравновешивания массы груза портальных кранов

Кобзев А.П., доктор технических наук, профессор кафедры «Атомная энергетика»
Кобзев Р.А., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Атомная энергетика»
Шалкинский В.А., студент специальности
«Наземные транспортно-технологические средства»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Портальные краны применяются для перегрузочных работ в портах, открытых складах, в судостроении, а также для обслуживания гидротехнических сооружений. Портальные краны имеют грузоподъемность до 160 т, высокие скорости вращения и подъема груза.

Одной из критических технологий РФ является создание энергоэффективных машин, оборудования [1]. Применительно к портальным кранам снижение энергоемкости может быть достигнуто за счет систем уравновешивания массы груза, которые обеспечивают горизонтальное перемещение груза при изменении вылета, что позволит снизить нагрузки на двигатель привода изменения вылета. Существует несколько способов уравновешивания массы груза, такие как уравнительным полиспастом, барабаном, профилированным и прямым хоботами [2, 3].

Уравновешивание массы груза с помощью уравнительного полиспаста

На стреле крана помимо грузового полиспаста устанавливается дополнительно уравнительный полиспаст, связывающий оголовок стрелы с направляющим блоком *C* (рис. 1), с переменной длиной l_z. Подъемный канат последовательно огибает блоки уравнительных полиспастов. При качании стрелы изменяется расстояние l_z между обоймами B и C уравнительного полиспаста, а за счет перекатывания каната меняется длина подвеса груза l_i. В результате, при изменении вылета стрелы суммарная длина каната в обоих полиспастах остается постоянной, а груз перемещается в горизонтальном направлении.

Преимуществом данной конструкции является легкость, простота в изготовлении, легкость монтажа. К недостаткам можно отнести большую длину каната, дополнительный износ каната из-за его перекатывания по блокам, невозможность достижения полного уравновешивания массы груза.

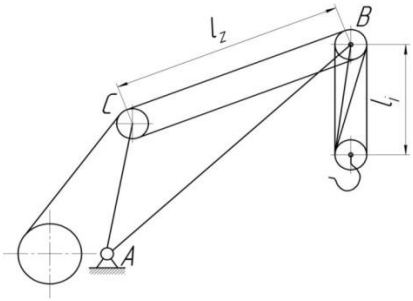


Рис. 1. Схема уравновешивания массы груза с применением уравнительного полиспаста

Уравновешивание массы груза с помощью уравнительного барабана

В прямых уравновешенных стрелах с уравнительными барабанами при изменении вылета стрелы горизонтальное движение груза достигается установкой дополнительного барабана, который получает вращение при изменении вылета стрелы, и обеспечивающего наматывание или сматывание грузового каната при её качании (рис. 2).

Уравновешивание может быть достигнуто кинематической связью стрелы с барабаном механизма подъема груза через планетарную муфту или планетарный редуктор. Но данный вариант не получил распространения, так как грузовые барабаны при постоянном передаточном отношении планетарных муфт или редукторов не могут компенсировать неравномерное вертикальное перемещение груза во времени. Большее распространение получили уравнительные механизмы со специальными уравнительными барабанами, установленными соосно с барабанами изменения вылета стрелы и получающими от них вращение, где за счет переменного диаметра уравнительного барабана можно получить полное уравновешивание груза при изменении вылета стрелы.

При этом получается барабан сложной формы, что вызывает трудности при его изготовлении, из-за чего чаще используют барабан конической формы, что допускает некоторое отклонение груза от горизонтали.

Преимуществом является небольшое число блоков, меньшая длина и меньший износ каната, к недостаткам следует отнести сложность изготовления барабана, невозможность достижения полного уравновешивания массы груза.

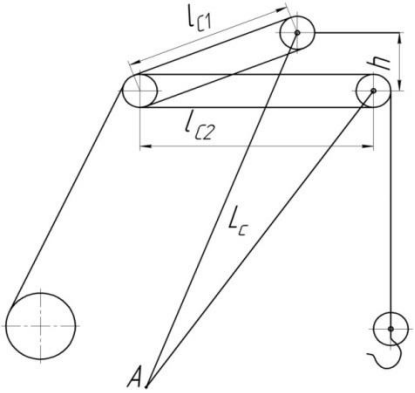


Рис. 2. Схема уравновешивания массы груза с применением уравнительного барабана

Уравновешивание массы груза с помощью шарнирно-сочленённых стрел с профилированным хоботом

Использование профилированного хобота позволяет при изменении вылета компенсировать изменение длины подвеса груза за счет изменения расстояния между шарниром хобота и направляющей его задней полки, по которой перемещается гибкая оттяжка (рис. 3). Сочленённая стрела с профилированным хоботом представляет собой шарнирный четырёхзвенник с переменной длиной задней полки хобота и оттяжки. При повороте хобота оттяжной канат перекатывается по задней полки хобота на всем рабочем диапазоне вылета стрелы достигается полное уравновешивание массы груза, т.е. во всех положениях стрелы линия, соединяющая груз с мгновенным центром вращения хобота вертикальна.

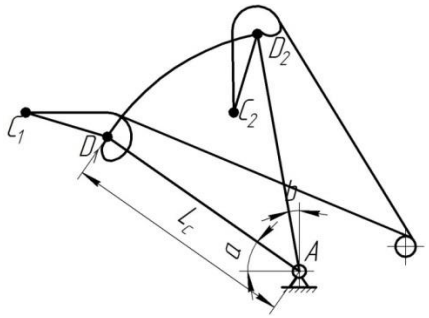


Рис. 3. Схема уравновешивания массы груза с помощью шарнирно-сочленённых стрел с профилированным хоботом

К преимуществам данной схемы относится возможность обеспечения полностью горизонтальной траектории движения груза, небольшие длина и износ каната, недостатками являются сложность изготовления профиля задней полки хобота.

Уравновешивание массы груза с помощью с шарнирно-сочленённых стрел с прямым хоботом

Стрелы с прямым хоботом выполняются с жесткой оттяжкой и представляют собой шарнирный четырехзвенник. В шарнирно-сочлененных стрелах с прямым хоботом полное уравновешивание груза при изменении вылета невозможно, поэтому стараются выбрать параметры механизма таким образом, чтобы отклонения от горизонтали были минимальны. Приемлемым отклонением считается 3-4% от рабочего хода груза, если нет участков траектории с резким подъемом. В случае если грузовой канат направлен под углом к стреле, необходимо, чтобы голова хобота перемещалась по некоторой кривой, компенсирующей подъем или опускание груза в результате сокращения или удлинение грузового каната между головными блоками и крюковой подвеской. Длина стрелы и хобота подбираются так, чтобы в трех выбранных положениях стрелы разница высот головы хобота не превышала указанного значения. Длина хобота при этом получается не большой, что снижает крутящий момент, действующий на стрелу.

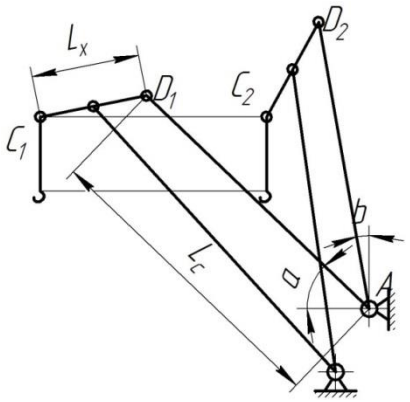


Рис. 4. Схема уравновешивания массы груза с помощью шарнирно-сочленённых стрел с прямым хоботом

Преимуществом данного варианта является возможность переноса груза больших габаритов, большая жесткость конструкции, небольшая длина и износ каната. К недостаткам относится невозможность достижения полного уравновешивания массы груза, большая масса оттяжки стрелы

Анализируя выше сказанное, следует отметить, что в портальных кранах применяются все перечисленные типы уравновешивания массы груза. Тем не менее, большее распространение для портальных кранов небольшой грузоподъемности получили прямые стрелы и системы уравновешивания массы груза с уравнительным полиспастом, системы с уравнительным барабаном используются реже вследствие сложности их изготовления. Для кранов большей грузоподъемности наиболее перспективным является применение шарнирно-сочлененных систем с прямыми хоботами, поскольку изготовление криволинейного профиля задней полки профилированных хоботов в условиях больших нагрузок является сложной технологической задачей. Применение в кранах большой грузоподъемности прямых стрел накладывает дополнительные ограничения по габаритам груза и рабочей зоне, что значительно сокращает функциональные возможности кранов.

Литература:

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации от 2011 г. , N 28 , ст. 4168.

2. Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Специальные грузоподъемные машины. Портальные, судовые и плавучие краны. Под ред. проф. Никитина К.Д.. Санкт-Петербург, Издательство политехнического университета, 2009. 160 с., ил.

3. Веремеенко Е.И. Портовые грузоподъемные машины. М.: Транспорт, 1984. 320 с., ил.

СЕКЦИЯ 3:
«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

УДК 621.891.8

Усовершенствование способа регистрации сигнала снимаемого с динамометра УДМ-600

[1]Арсентьева Елена Сергеевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;
[1]Севастьянов Дмитрий Александрович, студент направления подготовки «Машиностроение»;
[1]Рукина Екатерина Сергеевна, студентка специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатации и инжиниринг»;
[1]Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

В данной работе рассмотрен вариант усовершенствования измерительной установки, позволяющей регистрировать составляющие силы резания на операции механической обработки точением с использованием динамометра УДМ-600 [4]. Разработанная измерительная установка повышает точность и достоверность измерений, сокращает время на обработку экспериментальных данных, предоставляет в графическом виде измеряемые результаты в режиме реального времени.

Первоначальный комплект измерительной установки по измерению составляющих силы резания состоял из универсального динамометра УДМ-600, стабилизатора сетевого напряжения, усилителя для усиления сигнала с динамометра, пассивного фильтра отсеивающего высокочастотные колебания, шлейфового осциллографа с выводом данных на светочувствительную бумагу.

Первоначально динамометр УДМ-600 устанавливается на станину станка. На динамометре закрепляется заготовка. Общая структурная схема установки измерения составляющих силы резания показана на схеме 1. В качестве первичного датчика регистрации сил резания используется динамометр модели УДМ-600. По конструкции и принципу действия динамометр модели УДМ-600 способен одновременно измерять составляющие силы резания P_X, P_Y, P_Z и крутящий момент $M_{кр}$ на операциях точения, сверления, фрезерования. На операциях точения измеряются взаимоперпендикулярные

составляющие силы резания P_x, P_y, P_z, для сверления измеряется крутящий момент $M_{кр}$ и осевая сила $P_{ос}$.

Сам динамометр подключается к блоку балансировочных и согласующих сопротивлений. Далее подключаем к многоканальному усилителю напряжения ЛА-УН16. Сигнал после усиления поступает в каскад из микроконтроллеров ATmega 328. После обработки первичных данных, сигналы из микроконтроллеров поступают в микроконтроллер для обработки данных. После обработки поступивших данных, сигнал поступает на модуль Bluetooth или на USB порт. Далее значения, в случае передачи данных по каналу Bluetooth, выводятся на мобильный гаджет на базе ОС Android или iOS (существуют свободные приложения типа Bluetooth Serial Monitor, которые в бесплатном доступе находятся на AppStore или PlayMarket) [1]. В случае передачи данных по USB на мобильный девайс, потребуется модель смартфона по управлением операционной системой Google, поддерживающий стандарт USB OTG Android (устройства на операционной системе Apple iOS не поддерживают стандарт USB OTG), и приложение типа USB Serial Monitor, которое так же доступно в бесплатном доступе на PlayMarket [2]. Кроме того, можно передавать данные на ноутбук или компьютер. Операционная система может быть выбрана произвольно (MacOSX, Linux, Windws). Можно использовать для вывода информации свободное ПО Arduino IDE, преимущества данного ПО является: кроссплатформенность и поддержка широкого круга микроконтроллеров и имеет различные встроенные программаторы. Так же альтернативой выводу на различные устройства является вывод информации на встроенный дисплей. Но у данного варианта есть крупный недостаток: малое разрешение, то есть, мало места под вывод информации. Встроенного экрана будет не хватать, т.к. на экран выводятся одновременно 3 значения P_x, P_y, P_z , $M_{кр}$ (для точения, сверления и фрезерования).

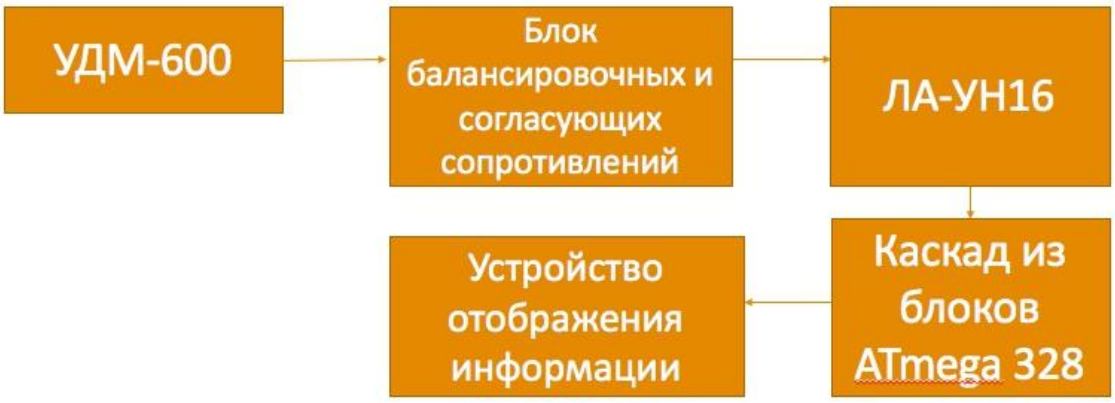


Схема 1. Принципиальная схема установки

В данной исследовательской работе мы рассмотрели один из способов усовершенствования датчика УДМ-600 с помощью современной микроэлектроники,

предложили альтернативные способы сбора, обработки и отображения данных, а так же были проанализированы технические и функциональные возможности смартфонов, с целью их применения в лабораторном практикуме машиностроения, разработана модель устройства на плате Arduino формата UNO [3].

Литература:

1. Кудрявцев А.В. Новые возможности использования мобильных устройств в учебном процессе ВУЗа. //Педагогическое образование в России.- 2015.- № 7.- С. 71-76.

2. Лозовенко С.В., Паутова А.А. Использование смартфонов и планшетных компьютеров в учебном физическом эксперименте.// Школа будущего. – 2014. – № 3. – с. 92-97.

3. Севастьянов Д.А., Ратушный В.И. Применение смартфона в физическом лабораторном практикуме//Современный физический практикум. МГТУ им. Н.Э. Баумана.

4. Шуляк Я. И., Васильев С.Г. Модернизация установки измерения сил резания на базе динамометра УДМ-600.// Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. No 01. С. 1–12.

УДК 681.514

Повышение точности токарной обработки путем применения электромагнитного исполнительного механизма

[1]Бирюков Владимир Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Атомная энергетика»;

[2]Мостовой Владимир Дмитриевич, аспирант кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»;

[1]Бурлаков Никита Иванович, студент кафедры «Атомная энергетика»;

[1]Балаковский инженерно- технологический институт, г. Балаково;

[2]Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Современные металлорежущие станки становятся все более точными, расширяются их функциональные возможности, что обусловлено повышением требований к точности и качеству обработки и усложнением геометрических форм обрабатываемых деталей. Однако стоимость их постоянно увеличивается, что остро ставят проблему повышения эффективности их использования. Одним из направления решения данной проблемы является автоматическое управление процессами резания, что позволяет увеличивать

основное время обработки. При этом процесс резания должен рассматриваться как управляемый объект, находящийся в условиях действия сильных возмущений.

Практически проще всего реализовать разработанные методы управления резанием на станках с ЧПУ. Однако подавляющее большинство таких систем решают только задачу геометрического формообразования. Тот факт, что поверхность образуется в результате резания в упругой технологической системе игнорируется или частично учитывается через отклонения положения и скоростей движения приводов подачи.

В настоящее время для решения задач компенсации деформации элементов упругой системы станка, изменения припуска, характеристик материалов, износа инструмента используют, так называемые адаптивные системы управления, которые путём корректировки режимных параметров производят подстройку процесса обработки. Профессором МВТУ им. Баумана Чернянским П.М. для таких систем введён термин «Автоматизация станков с ЧПУ» [1].

Наибольшее применение нашли системы стабилизации силы резания. Данные системы при колебаниях припуска, характеристик материала и других неконтролируемых возмущений, приводящих к изменению силы резания и взаимному перемещению заготовки и инструмента, путём корректировки режимных параметров обеспечивают стабилизацию силы резания и тем самым предотвращают получение дополнительных погрешностей обработки. К настоящему времени проведены обширные работы по моделированию систем управления силой резания путем изменения продольной подачи [2-4].

Однако часто эффективность таких систем не достаточна, и не скомпенсированная часть возмущений даёт дополнительную погрешность. Низкая эффективность связана с динамическими характеристиками станков как объектов управления, элементов систем управления, а также с дисперсиями и спектрами возмущающих воздействий. Вызвано это зачастую тем, что в данных системах в качестве исполнительных механизмов используются электрические двигатели продольных и поперечных подач, инерционность которых ограничивает быстродействие систем и не позволяет отрабатывать весь спектр возмущающих воздействий. При этом высокочастотные возмущения приводят к погрешностям в обрабатываемых изделиях, снижая их качественные показатели. Для поддерживания погрешностей обработки в допустимых пределах также приходится снижать режимы резания, что не позволяет использовать дорогостоящее оборудование на полную мощность.

Поэтому продолжает оставаться актуальным вопрос поиска путей повышения эффективности адаптивных систем. В работе [2] рассмотрена каскадная система управления силой резания, что позволило повысить быстродействие системы управления и расширить

частотный диапазон эффективной работы системы. Но полученные результаты остаются на уровне, не удовлетворяющем современным требованиям.

Возможным путем повышения быстродействия является разработка систем управления с использованием новых быстродействующих исполнительных механизмов. Примерами, подтверждающими возможность повышения быстродействия систем управления, являются системы, разработанные «Cedrat Technologies», построенные на основе пьезоэлектрических элементов [5].

В отечественной практике имеется опыт математического моделирования двухконтурной системы управления, в которой в качестве исполнительных механизмов на одно управляющее воздействие объекта управления одновременно используются электромагнитный двигатель привода продольной подачи и пьезоэлектрический микроактюатор. Приведенные в [6] результаты показывают работоспособность данной схемы управления и повышение эффективности системы управления в целом относительно результатов для каскадных систем по дисперсии управляемой величины и частотному диапазону эффективной работы системы по АЧХ. Однако такие элементы являются дорогостоящими, стоимость актюатора с необходимым для его работы оборудования может составлять до 5% от стоимости нового токарно-винторезного станка с ЧПУ китайского производства с возможностями аналогичными отечественному 1К62.

Бюджетным вариантом дополнительного исполнительного механизма может быть быстродействующий силовой электромагнитный двигатель, осуществляющий линейные перемещения вдоль одной оси.

Электромагнитные двигатели или - электромеханические преобразователи - это устройства, которые работают по принципу индукции. Существуют модели постоянного и переменного тока. По отношению к электрическим двигателям они имеют повышенное быстродействие. Недостатком данных преобразователей является большое выделение тепла.

На рисунке 1 представлен принцип действия линейного электромагнитного двигателя. На рисунке А представлены силовые поля, от направления движения которых зависит в какую сторону будет двигаться сердечник. Рисунки Б, В показывают крайние положения исполнительного органа. При включении в сеть возникает круговое магнитное поле, которое пронизывает обмотку и наводит в ней ток индукции. Частота колебаний исполнительного механизма зависит от частоты питающего напряжения и от числа пар магнитных полюсов.

В данной работе рассматривается задача повышения эффективности системы стабилизации силы резания путем расширения частотного диапазона эффективной работы за счет применения дополнительного высокочастотного контура управления.

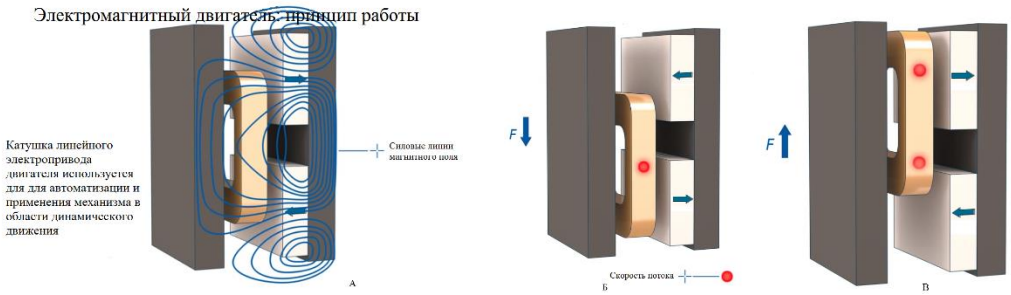


Рис. 1. Принцип действия электромагнитного двигателя:

А) Силовые поля; Б, В) Крайние положения

Построение математической модели быстродействующего исполнительного механизма.

В данной работе в качестве быстродействующего исполнительного механизма применен электромагнитный двигатель MICA300CM производства французской компании Cedrat Technologies рис. 2.

Данный линейный магнитный привод способен перемещаться с точностью до 0,5мкм. Относится к приводам с бистабильным линейным подвижным магнитом (BLMM), движущимся между двумя противоположными электромагнитами.

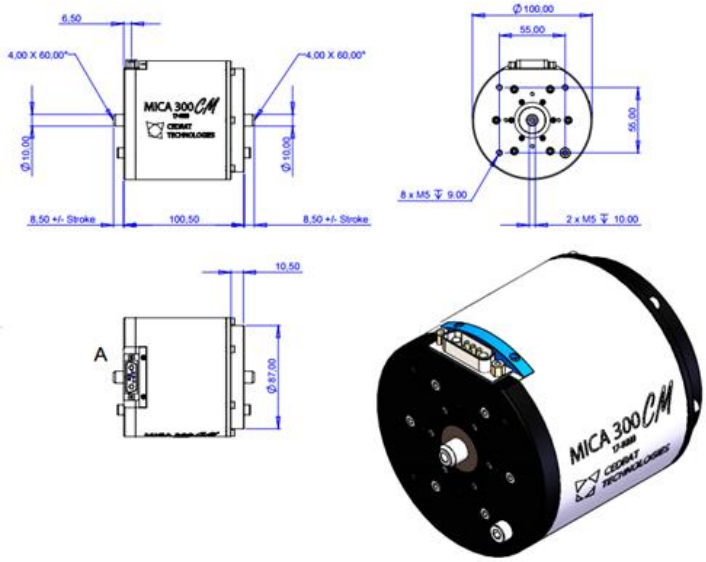


Рис. 2. Электромагнитный двигатель MICA300CM

Технические характеристики двигателя представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики электромагнитного двигателя

Характеристики	Значение	Единицы измерения
Сопротивление	0,41	Ом
Напряжение	±72	В
Переменный ток Fn	11	А
Переменный ток Fp	30	А
Чувствительность к силе	27,3	Н/А
Индуктивность	11	Гн
Пиковое усилие	550	Н
Рабочие усилие	300	Н

		Продолжение табл.1
Постоянная привода Fn	38,7	Н/Вт
Постоянная привода Fp	28,3	Н/Вт
Постоянная времени	27	мс
Теоретическое ускорение	99	G
Теоретическая скорость	1,96	м/с
Максимальная теоретическая частота	80	Гц
Мощность Fn	60	Вт
Мощность Fp	392	Вт
Перемещение	4	±мм
Максимальная допустимая температура обмотки катушки	155	°C
Вес движущейся части	580	г
Общий вес	3400	г

Согласно паспортным данным внутренняя система управления электромагнитного элемента обеспечивает положение штока в диапазоне -4…4мм, пропорциональное входному сигналу от -72 до 72В. Структурная схема элемента представлена на рисунке 3.

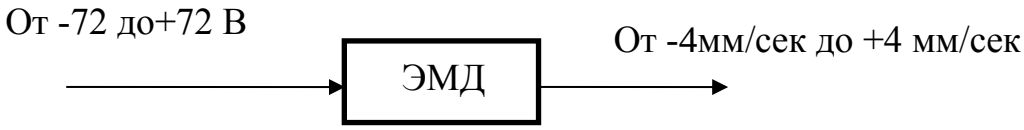


Рис. 3. Структурная схема ЭМД

Коэффициент передачи по каналу входное напряжение-положение штока будет равен:

$$k = \frac{4\text{мм/сек}}{72\text{В}} = 0{,}055\text{мм/В} \qquad (1)$$

Из паспортных данных время переходного процесса τ=0,027с. Из условия, что система настроена на апериодический переходной процесс постоянная времени системы будет равна T=3τ, T=0,009с.

Таким образом передаточная функция электромагнитного элемента будет иметь вид:

$$W(p) = \frac{0{,}055}{0{,}009p+1} \qquad (2)$$

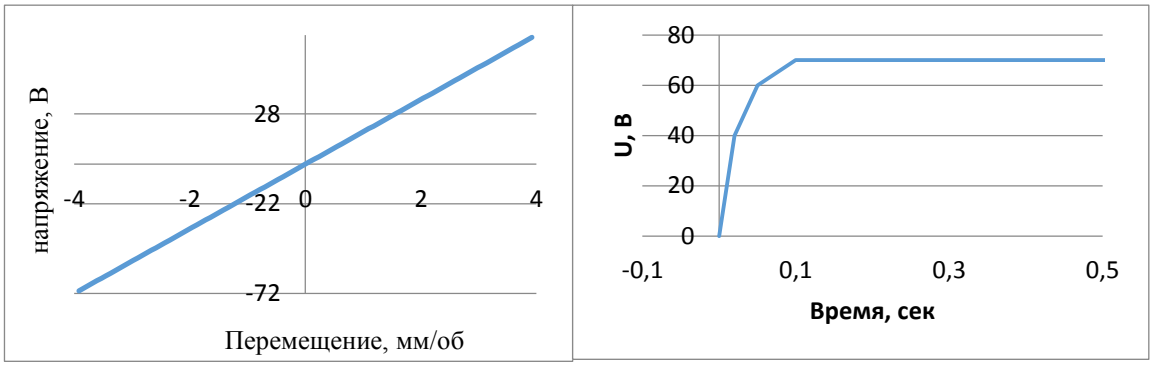


Рис. 4. Статическая и динамическая характеристики ЭМД

На рисунке 5 приведена структурная схема двухконтурной системы управления силой резания путем корректировки продольной подачи. Первый контур низкочастотный с электрическим двигателем в качестве исполнительного механизма. Второй контур

высокочастотный с дополнительным исполнительным механизмом продольной подачи с электромагнитным двигателем, находящимся на суппорте.

Математические модели элементов системы АЦП, ЦАП, датчика силы резания, электродвигателя и других определены по паспортным данным и приведены на структурной схеме.

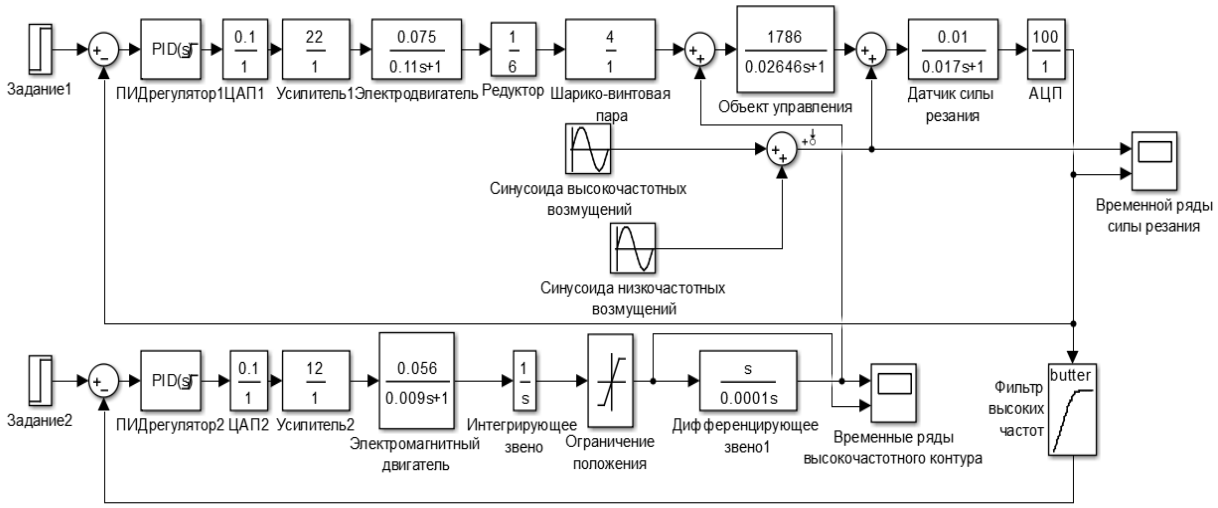


Рис. 5. Синтезированная система управления с установленным фильтром высоких частот

На первом этапе при помощи PIDtuner определялись значения коэффициентов PIDрегулятора. На рисунке 6 представлен листинг программы настройки с его коэффициентами.

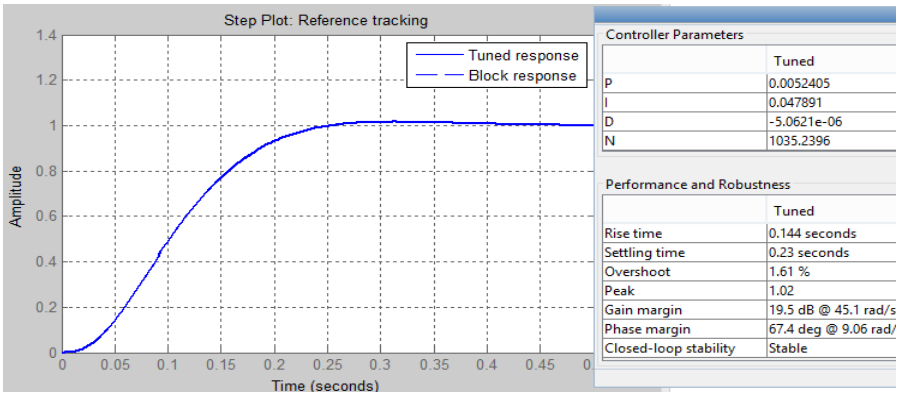


Рис. 6. Настройка PID регулятора контура управления с электродвигателем привода продольной подачи

Настройка PIDрегулятора второго контура производилась при помощи PIDtuner. Для этого разрывалась связь между сумматором и объектом управления со стороны низкочастотного контура управления (рис. 7).

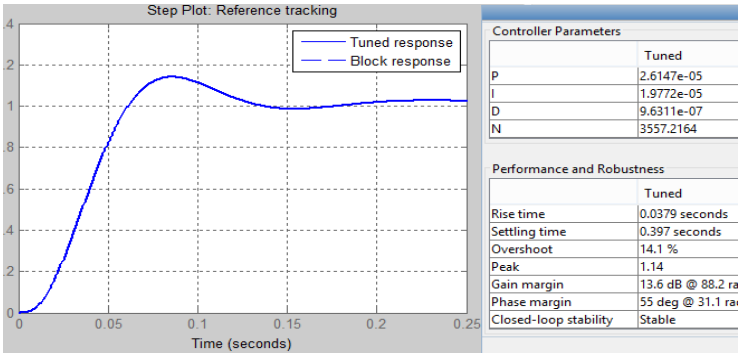


Рис. 7. Настройка PID регулятора контура управления с быстродействующим электродвигателем

Анализ эффективности системы проводился методом математического моделирования. Первый шагом математического моделирования является моделирование одного низкочастотного контура. Результаты моделирования представлены на рисунке 8. Система отработала низкочастотные возмущения и не отработала высокочастотные возмущения.

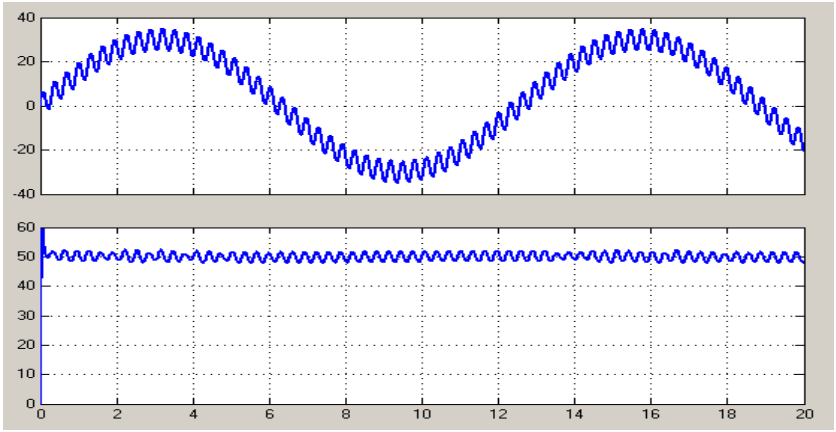


Рис. 8. Отработка низкочастотного контура возмущений

На втором шаге данные возмущения подавались на разработанную систему. Результаты моделирования систем управления приведены на рисунке 9.

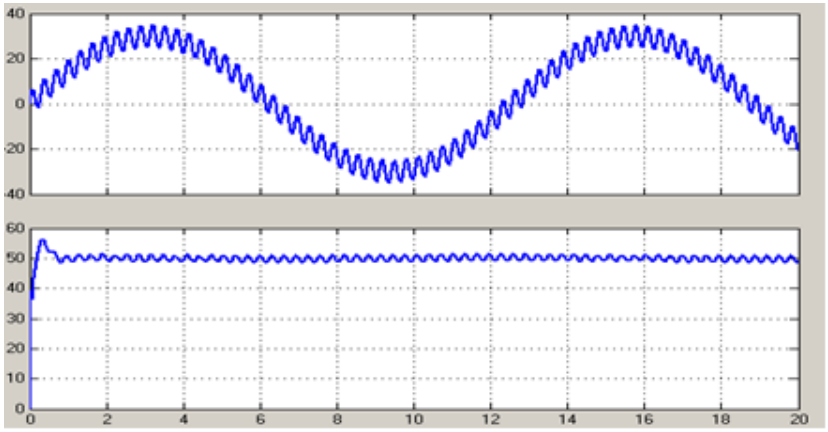


Рис. 9. Отработка возмущений системы автоматического управления с двумя контурами

Система полностью отработала низкочастотные возмущения и уменьшила влияние высокочастотных в 5 раз (с ±5Н до ±1Н).

Использование дополнительно быстродействующего исполнительного механизма позволило расширить частотный диапазон эффективной работы системы. Система эффективно отрабатывает ступенчатое и заданные синусоидальные возмущения разной частоты. Система способна отработать синусоидальные возмущения на силу резания почти в 20 раза. Это позволяет повышать режимные параметры без снижения качественных показателей обработанных изделий до значений, при которых не способны работать системы управления с классическими (электродвигатель) исполнительными механизмами.

При этом существует перспектива развития подобных систем управления и устранение с их помощью высокочастотных, резонансных и автоколебаний, возникающих в упругой системе металлообрабатывающего оборудования.

Литература:

1. Чернянский П.М. Основы проектирования точных станков. Теория и расчет: учебное пособие/ П.М. Чернянский, - М.: КНОРУС, 2010, 240 с.

2. Мостовой, В. Д. Уменьшение дисперсии ошибки системы управления силой резания путем повышения быстродействия управления / В. Д. Мостовой // Актуальные проблемы автоматизации и управления в технических и организационных системах : сб. тр. Междунар. науч. конф. – Саратов : Амирит, 2016. – С. 130–138.

3. Кравченко, С. А. Обеспечение точности автоматизированной системы управления продольным профилем нежестких валов при токарной обработке путем повышения эффективности обратной связи / С. А. Кравченко. – Саратов : Типография СГТУ, 2013. – С. 179.

4. Набилкин, А. Ю. Автоматизированная двушкальная каскадная система управления продольным профилем нежестких валов при токарной обработке : дис. …канд. техн. наук / Набилкин А. Ю. – Саратов : Типография СГТУ, 2013. – С. 188.

5. Harms, A. Tool adaptor for active vibration control in turning operations / A. Harms, B. Denkena, N. Lhermet // ACTUATOR 2004, 9th International Conference on New Actuators (14–16 June 2004). – Bremen, Germany, 2004. – С. 694–697.

6. Мостовой, В. Д. Моделирование и обоснование эффективности двухконтурной системы управления процессом токарной обработки с использованием быстродействующего исполнительного механизма / В. Д. Мостовой, В. П. Бирюков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 2 (22). – С. 205–221.

УДК 621.791.052

Установка для оценки влияния остаточных напряжений на склонность к образованию горячих трещин

[1] Колоколов Евгений Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;

[1] Кравченко Павел Давидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;

[1] Костина Дарья Андреевна, студентка направления подготовки «Машиностроение»

[1] Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

Главной целью технологического процесса сварки является получение бездефектного неразъемного сварного соединения, обладающего требуемыми для его эксплуатации свойствами. Наиболее распространенными и опасными дефектами являются горячие и холодные трещины.

Горячие трещины образуются при высоких температурах и связаны с процессами, происходящими при кристаллизации сплавов. Различают горячие трещины кристаллизационного и ликвационного происхождения [1, 2]. Кристаллизационные трещины образуются в процессе первичной кристаллизации металла шва. Образование трещин ликвационного происхождения связано с подплавлением участков основного металла, обогащенного легкоплавкими примесями и неметаллическими включениями, расположенными вблизи линии сплавления.

Образование кристаллизационных трещин можно описать следующей схемой (Рис.1). При затвердевании металл шва в процессе охлаждения проходит через так называемый эффективный интервал кристаллизации ($\Delta T_э$) [1]. Говорят, что в этом интервале температур металл находится в твердо-жидком состоянии. Здесь происходит переплетение и срастание ветвей соседних дендритов в жесткий каркас и заканчивается кристаллизация, в то время, как на первой стадии затвердевания (в верхней части температурного интервала между линиями ликвидус и солидус) жидкая фаза (расплав) свободно перемещается между растущими дендритными кристаллами.

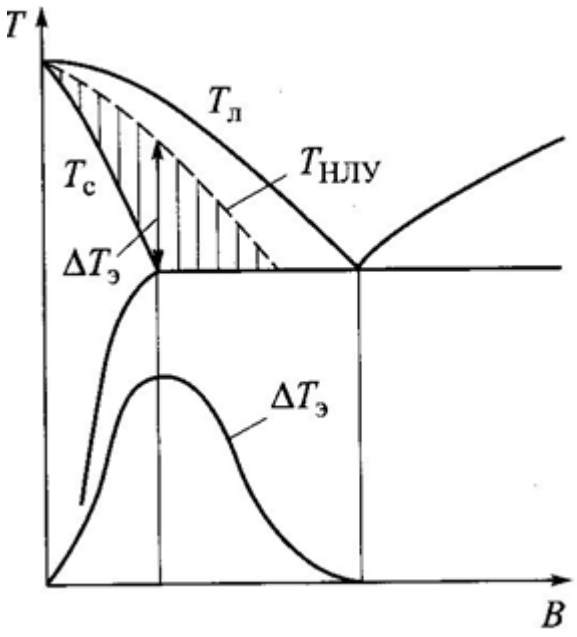


Рис.1. Зависимость склонности к образованию горячих кристаллизационных трещин от концентрации легирующего компонента В; ΔТэ – эффективных интервал кристаллизации; Тнлу – температура появления линейной усадки

Твердо-жидкое состояние металла характеризуется пониженной текучестью (пластичностью), в связи с чем эффективный интервал кристаллизации называют также температурным интервалом хрупкости (ТИХ или $\Delta T_{хр}$). При переходе через нижний предел ТИХ (температура реального солидуса) пластические свойства металла резко улучшаются (Рис.1).

Затвердевание металла шва происходит в условиях воздействия растягивающих напряжений, возникающих в результате неравномерного нагрева и охлаждения свариваемых заготовок, их жесткого закрепления и затруднения усадки металла шва. Наличие растягивающих напряжений вызывает пластическую деформацию металла шва, увеличивающуюся при снижении температуры. В случае, когда металл шва в ТИХ находится в состоянии пониженной пластичности и степень деформации превысит величину этой пластичности, произойдет разделение по границам дендритов, т.е. образуются трещины. Если же пластическая деформация не превзойдет величины пластичности металла шва, то кристаллизационные трещины не образуются.

В реальных условиях сварки практически невозможно полностью устранить влияние растягивающих напряжений на кристаллизующийся металл сварочной ванны. Поэтому задача сводится к уменьшению величины этих напряжений, к отдалению момента возрастания их до значений, которые могут вызвать пластические деформации, приводящие к разрушению шва. Решение этих задач можно существенно облегчить путем специальных технологических испытаний посредством наплавки по одному и тому же режиму

одинаковых валиков на нескольких одинаковых образцах, в каждом из которых заранее созданы растягивающие напряжения. Величина напряжений ступенчато увеличивается от образца к образцу. После охлаждений образцы подвергаются разрушающему и неразрушающему контролю. Сварной шов считается склонным к образованию горячих трещин при остаточных напряжениях, начиная с образца, на котором начинают появляться трещины.

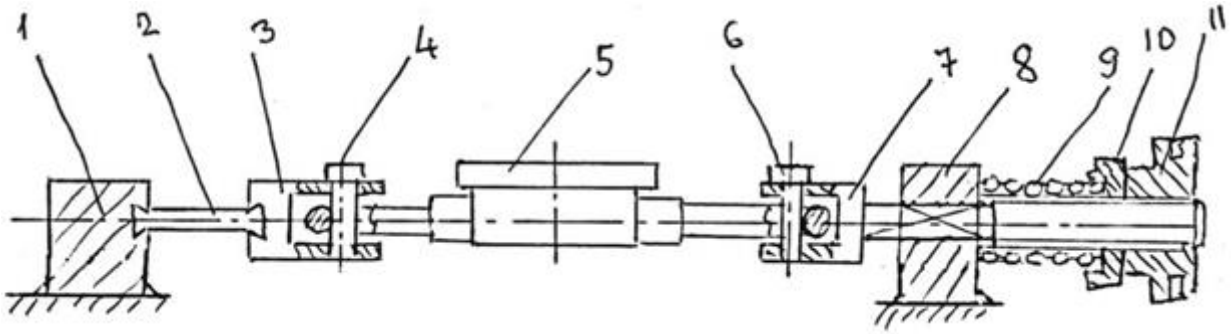


Рис.2. Эскиз установки: 1 – опора базовая; 2 – призматический образец; 3 – захват; 4, 6 – ось захвата; 5 – динамометр; 7 – винт силовой, состоящий из вилки захвата, направляющей квадратного сечения и винтовой части с упорной трапецеидальной резьбой; 8 – опора с квадратным отверстием под направляющую винта силового; 9 – пружина рабочая силовая; 10 – опора пружины; 11 – гайка нажимная с торцевыми отверстиями под гаечный ключ

Проведение испытаний предлагается проводить на установке (Рис.2), в которой последовательно соединены призматический образец (с рабочими размерами 90х90х8) с захватами, динамометр, упругий элемент (винтовая пружина сжатия по ГОСТ 13765) и нагружающее устройство (винт и гайка с упорной трапецеидальной резьбой). Нагружение пружины проводится путем вращения гайки гаечного ключа. Нагрузка на динамометре предварительно переводится в напряжение с учетом поперечного сечения образца. Наплавку валиков можно осуществлять как вдоль, так и поперек оси растяжения образца. На образцах можно предварительно выполнять разделку кромок для нивелирования разницы в напряжениях с участками, на которых наплавка не производится. Испытания по предлагаемой схеме относится к количественным методам оценки склонности к образованию трещин [2]. Во всех других методах влияние остаточных напряжений, играющих определяющую роль при появлении горячих трещин [1], не фиксируется и не выделяется.

Предложенную установку можно использовать и для оценки влияния остаточных напряжений на склонность к образованию холодных трещин. Для этого нагружение необходимо осуществить не до начала процесса сварки, а после того, как температура снизится до значений, значительно ниже линии солидус. Величина нагрузки при этом

должна быть выше, чем при оценке склонности к образованию горячих трещин. Можно оценивать и влияние напряжений на склонность к образованию трещин повторного нагрева и ламеллярных трещин.

Предлагаемая установка, таким образом, имеет универсальное применение при оценке влияния остаточных напряжений на склонность к образованию трещин при сварке.

Литература:

1. Теория свариваемости сталей и сплавов : [монография] / Макаров Э. Л., Якушин Б. Ф. ; ред. Макаров Э. Л. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 487 с.

2. Технологическая прочность и анализ причин ухудшения свариваемости и образования трещин / В.В. Дерломенко, К.А. Ющенко, В.С. Савченко, Н.О. Червяков // Автоматическая сварка. — 2010. — № 9 (689). — С. 26-30.

УДК 621.891

Применение наноматериалов в различных отраслях машиностроительного производства

Косогова Юлия Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;
Васильчук Ольга Алексеевна, студентка направления подготовки «Машиностроение»;
Бриж Виктория Викторовна, студентка направления подготовки «Энергетическое машиностроение»
Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

Материал – это вещества или множество веществ, которые связанны физическим или химическим взаимодействием. В свою очередь любое вещество является совокупностью атомов или молекул, которые в природе представляют собой распространенные нанообъекты. К нанообъектам относят как индивидуальные частицы, стержни, пленки или трубки, так и нанопористые материалы, которые могут быть получены с помощью компактирования нанопорошков, кристллизацией аморфных сплавов и интенсивной деформацией поликристаллов. Наночастицы образуются из связанных атомов или молекул с размерами от 1 до 100 нм. Такие наночастицы различаются по форме - сферические, игольчатые и др., по структуре - кристаллические или аморфные [1].

Уменьшение характеристических размеров зерен поликристаллов ведет к сильному изменению всех физических свойств. Из обычного и вполне доступного сырья удается создавать новые продукты – это вызвано экономическим потенциалом нанотехнологий.

Наноматериалы находят применение в таких отраслях промышленности, как электроника, автомобильная промышленность, авиастроение, медицина, косметика и др. Большие перспективы развития нанотехнологии имеют в машиностроении и металлообработке. Это относится к производству модернизированных металлорежущих инструментов с покрытием из наночастиц.

В настоящее время созданы новые наноконструированные покрытия высочайшего класса для деталей, нуждающихся в высокой износостойкости. Многоцелевое покрытие позволило режущим инструментам улучшить твердость и устойчивость к резким перепадам температуры и уменьшить износостойкость.

Способы нанесения наноразмерных покрытий на рабочую поверхность металлорежущего инструмента может осуществляться двумя способами: физическим осаждением из паровой фазы и электролитическим способом.

Установлено что микротвердость покрытий из алюминия-хром-нитрида составляет 1650 HV, титана-хром-нитрида - 1600 HV. Коэффициент трения по стали (сухой) для этих покрытий находится в интервале 0,30-0,35 [2]. Таким образом, при использовании наноразмерного покрытия продлевается срок службы изделия, достигаются высокие скорости резания и увеличивается производительность в широких масштабах.

Важной разработкой в сфере машиностроения является способ сваривания двух деталей (поверхностей) с использованием тугоплавких наночастиц. Экспериментально установлено, что применение наномодификаторов позволяет существенно увеличить скорость сварки при той же мощности луча, что позволяет повысить прочность неразъемного соединения, и существенно улучшить кристаллическую структуру шва. Влияние наноразмерных частиц карбидов вольфрама, хрома, титана, циркония, нанооксидов алюминия позволяет достичь мелкозернистой структуры, что приводит к повышению износостойкости и прочности наплавленного металла [3].

Основной причиной аварий самолетов (из 6000 случаев) являются повреждения металлических деталей. Главными причинами аварий являются различные виды усталости (авиационное оборудование – 25 %, конструкция планера – 55%) и коррозия (авиационное оборудование – 29 %, конструкция планера – 16%). Применение нанотехнологий в авиакосмической отрасли позволяет повысить прочность летательных аппаратов, чувствительность датчиков, время автономной работы, надежность, стойкость к перегрузкам, при одновременном снижении энергопотребления и вибрации [2].

Технология ревитализации позволяет защищать и восстанавливать поверхности машин и механизмов. В результате износа рабочей поверхности возникают царапины или сколы от посторонних частиц (пыли, грязи, стружки). В состав ревитализанта входят наночастицы сплавов меди, хрома, олова и серебра с диаметром не более 500 нм. При введении ремонтно-восстановительного препарата со смазочным материалом на поврежденную рабочую поверхность в цилиндропоршневой группе, начинает образовываться металлокерамическая заплата. Механизм действия препарата заключается в осаждении металлических компонентов между трущимися поверхностями. Полученный защищенный слой обладает уникальными эксплуатационными характеристиками такими как:

1) микротвердость без применения ревитализанта - 200-300 кг/мм^2, с применением ревитализанта - 650-750 кг/мм^2;

2) шероховатость (Ra) без применения ревитализанта - 0,9-2,1 мкм, с применением ревитализанта - до 0,06 мкм;

3) износостойкость без применения ревитализанта - нормальная, с применением ревитализанта – высокая.

Важная особенность данного металлического покрытия – способность к самовосстановлению. После применения ревитализанта снижается расход топлива до 10-15% и температура работающих узлов, увеличивается компрессия и мощность двигателя, повышается износостойкость деталей, а также экологическая рациональность, т.е. сокращение выброса вредных веществ в атмосферу и ряд других положительных характеристик [3, 4].

Нанотехнологии позволяют получить новые устройства и материалы с характеристиками, значительно превосходящими современный уровень. Наноматериалы могут стать мощным инструментом интеграции технологического комплекса высоких технологий во всем мире.

Литература:

1. Алымов М.И. и др. Физическое материаловедение. Том 5. Материалы с заданными свойствами // М.И. Алымов., М.А Бурлакова., Г.Н. Елманов., Б.А. Калин., А.Н. Калашников., В.В. Нечаев., А.А. Полянский., А.Н. Сучком., И.И. Чернов., Я.И. Штромбах, А.В. Шульга. Под общей редакцией Б.А. Калина // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2012. С. 478-494.

2. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. Москва: «Машиностроение», 2007. 496 с.

3. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. – Пер. с японск. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 134 с.

4. Косогова Ю.П., Бурлакова В.Э. Сравнение противоизносных свойств водно-органических растворов, содержащих наноразмерные частицы свинца и палладия // Инженерный вестник Дона: электрон. науч. журн. - 2016. -№ 2. – URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3606

УДК 621.436.-232.001.5

Динамическое нагружение прецизионных деталей высокофорсированного дизеля в условиях использования поверхностно-активных веществ

Кудашева И.О., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Голубев А.А., студент направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,г. Балаково

В системе смазки элементов регулятора высокофорсированного дизеля возникают гидродинамические колебания. Экспериментальными исследованиями, проведенными в ОАО «Волжский дизель им. Маминых», доказано, что на примере системы смазки дизеля 6ЧН 21/21 величина коэффициента динамичности $К_д$ в масляном слое элементов регулятора снижается с 1,2 до 1,18. Чтобы снизить $К_д$ с 1,18 до 1,0, применялось покрытие между образующей золотника и стенкой золотника поверхностно-активным веществом (ПАВ) с образованием на трущихся поверхностях элементов регулятора защитной антифрикционной пленки. При использовании ПАВ в условиях динамического нагружения масляного слоя элементов регулятора, характеризуемого продолжительностью воздействия путем учета фактора времени, очевидно, взаимовлияние динамики нагружения и демпфирования энергии на величину минимальной толщины масляного слоя h_{min}. Поэтому при оценке минимальной толщины нужны новые временные подходы. Принимая во внимание сказанное, с целью аналитического определения количественной величины h_{min} в элементах регулятора при сгорании топлива рассмотрим математическую модель поведения масляного слоя три использовании ПАВ. Приложенная масса колеблющейся системы жёстко опирается на пластину, покрытую антифрикционной пленкой, взаимодействующей с масляным слоем. Физическую картину последнего представим идеализированной максвелловой моделью (рис.

1), состоящей из последовательно включенных цилиндрических пружин, эквивалентных масляному слою с динамической жесткостью $C_м$ (определяется усилием, требуемым для создания единичного перемещения между слоями смазочной жидкости), и поршня, перемещающегося в вязкой среде (антифрикционная пленка) – коэффициент динамической вязкости η (для выражения абсолютных сил сдвига, действующих в антифрикционной пленке).

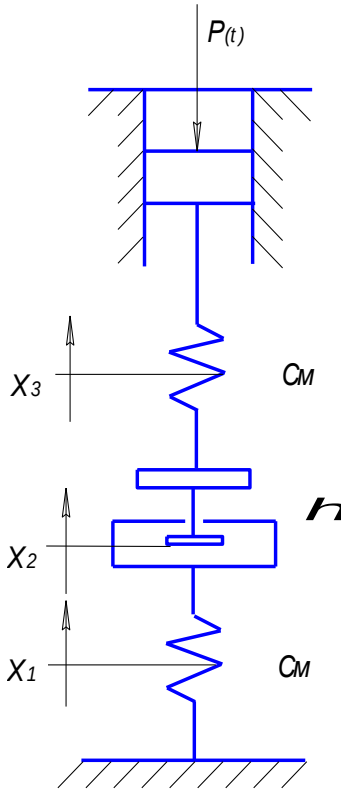


Рис.1. Математический эквивалент – максвеллова модель масляной пленки элементов регулятора при использовании ПАВ

Обозначив давление сгорания, приложенное к масляному слою, через $P_{(t)}$, полное перемещение модели смазочного слоя суммируем из двух перемещений по участкам, т. е.

$$X=X_1+X_2+X_3 \tag{1}$$

Продифференцировав (1) по t, найдем

$$C_M \frac{dx}{dt} = C_M \frac{dx_1}{dt} + C_M \frac{dx_2}{dt} + C_M \frac{dx_3}{dt} \tag{2}$$

$$\eta \frac{d^2x}{dt^2} = \eta \frac{d^2x_1}{dt^2} + \eta \frac{d^2x_2}{dt^2} + \eta \frac{d^2x_3}{dt^2} \tag{3}$$

Сложив (2) и (3), получим зависимость

$$C_M \frac{dx}{dt} + \eta \frac{d^2x}{dt^2} = C_M \frac{dx_1}{dt} + C_M \frac{dx_2}{dt} + C_M \frac{dx_3}{dt} + \eta \frac{d^2x_1}{dt^2} + \eta \frac{d^2x_2}{dt^2} + \eta \frac{d^2x_3}{dt^2} \tag{4}$$

Перегруппируем составляющие (4)

$$C_M \frac{dx}{dt} + \eta \frac{d^2x}{dt^2} = C_M \frac{d}{dt}\left\lfloor \frac{P_{(t)}}{C_M} \right\rfloor + C_M \frac{P_{(t)}}{\eta} + C_M \frac{d}{dt}\left\lfloor \frac{P_{(t)}}{C_M} \right\rfloor + \eta \frac{d^2}{dt^2}\left\lfloor \frac{P_{(t)}}{C_M} \right\rfloor +$$
$$+ \eta \left\lfloor \frac{d}{dt} \frac{P_{(t)}}{\eta} \right\rfloor + \eta \frac{d^2}{dt^2}\left\lfloor \frac{P_{(t)}}{C_M} \right\rfloor = P_{(t)} \frac{C_M}{\eta} + 3 \frac{dP_{(t)}}{dt} + 2 \frac{d^2 P_{(t)}}{dt^2} \left(\frac{\eta}{C_M}\right). \quad (5)$$

Уравнение (5) – дифференциальное уравнение второго порядка, связывающее функционально по времени перемещение масляного слоя и динамическую нагрузку, приложенную к нему. Принимая во внимание, что нагрузка $P_{(t)}$ есть константа P_0 мгновенного давления, уравнение (5) преобразуем к виду

$$C_M \frac{dx}{dt} + \eta \frac{d^2x}{dt^2} = P_0 \frac{C_M}{\eta} \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой динамическое уравнение движения пластины с антифрикционной пленкой в масляном слое. Анализируя его, можно заключить, что масляный слой при использовании ПАВ ведет себя как вязкоупругий материал в условиях знакопеременного динамического нагружения. Следовательно, решение (6) можно представить как сумму частного и общего решений однородного уравнения без правой части. Общее решение однородного уравнения

$$C_M \frac{dx}{dt} + \eta \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

имеет вид

$$x_c = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} \quad (7)$$

где r_1 и r_2 – корни многочлена $C_м r + \eta r^2 = 0$.

При $r_1 = 0$ $r_2 = -C_м / \eta$ и решение (7) будет иметь вид

$$x_c = C_1 + C_2 e^{(-C_M t/\eta)} \quad (8)$$

Частное решение уравнения (6) определяется выражением

$$x_p = \frac{P_0 t}{\eta} + \frac{P_0 t^2}{C_м} \quad (9)$$

Сумма зависимостей (8) и (9) дает общее решение уравнения (6), т. е.

$$x_c = C_1 + C_2 e^{(-C_M t/\eta)} + \frac{P_0 t}{\eta} + \frac{P_0 t^2}{C_м} \quad (10)$$

Принимая $x = h_{min}$, получим

$$h_{\min} = C_1 + C_2 e^{(-C_M t/\eta)} + \frac{P_0 t}{\eta} + \frac{P_0 t^2}{C_м} \quad (11)$$

Так как мгновенное усилие P_0 прикладывается через определенный промежуток времени ($t > 0$), то

$$x_1 = \frac{P_0}{C_м}; \qquad x_2 = \frac{P_0 t}{\eta}; \qquad x_3 = \frac{P_0 t^2}{C м} \tag{12}$$

Поэтому

$$h_{\min} = P_0 \left(\frac{1}{C_м} + \frac{t}{\eta} + \frac{t^2}{C м} \right) \tag{13}$$

где $1/C_м$ – мгновенная упругость масляного слоя (при $P_0 = 0$ часть h_{min} восстанавливается мгновенно); η – коэффициент динамической вязкости, выражаемый как усилие, необходимое для перемещения антифрикционной пленки с единичной скоростью; t – время резкого нарастания давления в цилиндре дизеля.

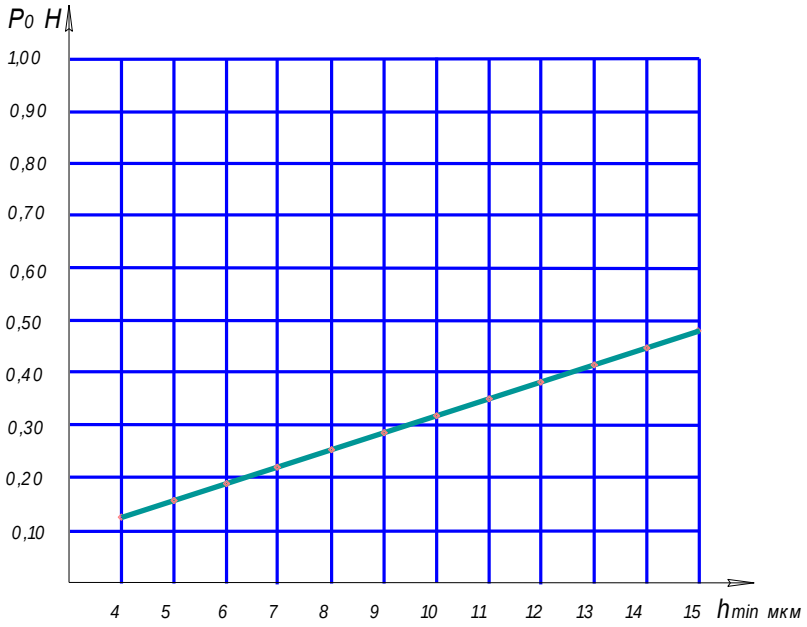


Рис.2. Зависимость h_{min} в элементах регулятора при использовании ПАВ от нагрузки

В качестве примера определения h_{min} по приведенной методике используем данные по высокофорсированному дизелю 6ЧН 21/21 при t = 1,46 мс, η = 800 МПа·с, n = 25 $с^{-1}$. Динамическая жесткость $C_м$ при толщине масляного слоя 10 – 15 мкм выбирается из соотношения $C_м$ = 0,1 – 1,0 ГН/м. Так как для регулятора дизеля ЧН 21/21 h_{min}= [4…15] мкм, т. е. это большее значение толщины масляного слоя, то к нему относится меньшая динамическая жесткость $C_м$ = 0,1 ГН/м.

Результаты расчета h_{min} по (13) представлены графически на рис. 2. Экспериментальные исследования, проведенные в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» на высокофорсированном дизеле 6ЧН 21/21, согласуются с расчетными результатами определения h_{min} в условиях применения ПАВ.

Выводы:

1. Проведенные расчеты по рассмотренной методике для высокофорсированного дизеля 6ЧН 21/21 показывают, что при p_{max} = 0,48 МПа величина h_{min} составляет 14,5– 15,5 мкм, что ≈ на 18% ниже значений h_{min} *в* масляном слое элементов регулятора без ПАВ.

2. Форсирование современных дизелей по параметрам термодинамического цикла требует проведения большого комплекса работ по оценке и увеличению несущей способности масляного слоя в элементах регулятора.

Литература**:**

1. Кудашева И.О. Совершенствование технологии изготовления прецизионных деталей "тело вращения" на основе применения ультразвукового упрочнения и поверхностно-активных веществ. / Кудашева И.О. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Саратов, 2008.

2. Кудашева И.О. Оценка виброударного нагружения и начальных остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования поршней и золотников регуляторов скорости форсированных дизелей / И.О. Кудашева, С.П. Косырев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 3 (27). Вып. 2. С. 48-52.

УДК 62.192:621.43-233

Методика построения начальных технологических остаточных напряжений в пластически-деформированном поверхностном слое образца-свидетеля

[1]Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

[2]Овчинникова Екатерина Владимировна, аспирант

[1]Николаенко Анастасия Сергеевна, [1]Акимова Элеонора Константиновна, студенты

[1]Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

[2]Саратовский государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина, г. Саратов

В настоящее время для определения начальных технологических остаточных напряжений (НТОН) в теории упругости и в технической литературе рекомендован метод [1], объектом исследования которого являются образцы-свидетели (пластины) прямоугольного поперечного сечения, обработанные при ППД односторонне и поверхностно

и имеющие, таким образом, некоторый прогиб. Величина последнего зависит от интенсивности режима обработки. Изменение стрелы прогиба образца с упрочнённой стороны последовательным удалением слоев металла электрохимическим травлением является более предпочтительным, чем шлифование, так как не связано с механическим воздействием, искажающим распределение напряжений в образце, и не вызывает дополнительных НТОН.

Рассмотрим чистый изгиб стержня и схему формирования НТОН в пластически-деформированном поверхностном слое образца-свидетеля прямоугольного сечения после разгрузки из предельного состояния. Для этого согласно теории упругости и пластичности примем положение, что момент от чистого изгиба образца вызывает упруго-пластические деформации последнего без упрочнения. Пусть на образец действует изгибающий момент М (рис. 1а). Стержень работает в области пластической деформации при условии, что в результате увеличения изгиба с возрастанием момента в крайних, наиболее удаленных от нейтральной линии точках создается пластическая деформация. Полагая. Что выполняется гипотеза плоских сечений Бернулли, согласно которой относительные деформации волокон ε распределяются по высоте поперечного сечения по линейному закону,

$$\varepsilon = \frac{y}{\rho}, \tag{1}$$

где y – координата волокна в системе xOy, связанной с главными центральными осями поперечного сечения, $\frac{1}{\rho}$ - кривизна изогнутой оси стержня, ρ – радиус кривизны.

Нормальные напряжения σ связаны с изгибающим моментом М соотношением

$$M = \int_F \sigma y b dy \ . \tag{2}$$

Здесь b – ширина сечения на уровне y. При линейности связи между напряжениями и деформациями $\sigma = \mathrm{E}\varepsilon$ следует обычная формула теории упругости, пластичности и сопротивления материалов для изгиба стержня

$$\sigma = \frac{M}{J_x} y, \tag{3}$$

где J_x – осевой момент инерции поперечного сечения относительно оси *Ox*.

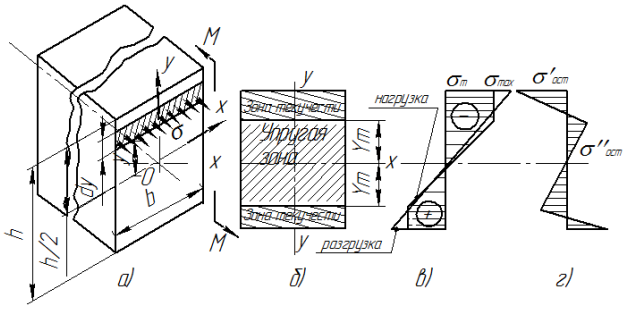


Рис. 1. Упругопластический изгиб образца-свидетеля прямоугольного сечения (пластичность без упрочнения)

а) поперечное сечение образца с двумя осями симметрии

б) упругая зона и зона текучести образца

в) эпюры напряжений σ при нагружении образца моментом М

г) эпюры НТОН после пластического изгиба образца

Образец работает при упругих деформациях с напряжениями $\sigma \le \sigma_T$. Наибольшие нормальные напряжения возникают в наиболее удаленных от нейтральной линии точках поперечного сечения и определяются как [2]

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{w_x}. \qquad (4)$$

Во время работы элемента конструкции на изгиб при расчетах на усталостную прочность по допускаемым напряжениям в условие $\sigma_{\max} \le [\sigma] = \frac{\sigma_T}{\eta}$ подставляются $\sigma_{\max}$, определяемые формулой (4).

В этом случае за опасное принимается состояние элемента, соответствующее достижению $\sigma_{\max}$ предела текучести σ_T (рис.1в). Опасное значение момента при этом $M = \sigma_T W_x$. Однако, при таком значении изгибающего момента несущая способность образца-свидетеля не исчерпывается, и он сохраняет способность воспринимать внешнюю нагрузку.

При дальнейшем увеличении момента М пластическое состояние материала распространяется внутрь сечения по направлению к нейтральной оси. В поперечном сечении образуются зоны текучести в верхней и нижней частях, а в окрестности нейтрального слоя остается упругая зона, где $\sigma \prec \sigma_T$ (рис. 1б). Границам указанных зон соответствует значение координаты y_T, которое при соблюдении гипотезы Бернулли (1) можно определить из условия

$$\varepsilon_T = \frac{y_T}{\rho} = \frac{\sigma_T}{E}; \quad y_T = \frac{\sigma_T \rho}{E}. \tag{5}$$

Формула (2), определяющая изгибающий момент M при нагрузке, справедлива при любом законе распределения нормальных напряжений по высоте любого поперечного сечения. Используем ее для случая упругопластического деформирования материала стержня. Принимая во внимание, что рассматриваемое поперечное сечение имеет две оси симметрии, получаем

$$M = b \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma y dy . \tag{6}$$

Разбивая материал по зонам на две части (упругую и текучести), получим

$$M = 2b\left(\int_0^{y_T} \sigma y dy + \sigma_T \int_{y_T}^{\frac{h}{2}} y dy \right). \tag{7}$$

Так как на упругом участке $\sigma = E \frac{y}{\rho}$, после интегрирования определяем

$$M = 2b\left[\frac{E}{\rho}\frac{y_T^3}{3} + \frac{\sigma_T}{2}\left(\frac{h^2}{4} - y_T^2\right)\right]. \tag{8}$$

При помощи выражения (5) исключаем y_T.

Тогда

$$M = b\sigma_T\left(\frac{h^2}{4} - \frac{1}{3}\sigma_T^2 \frac{\rho^2}{E^2}\right). \tag{9}$$

Откуда

$$\frac{1}{\rho} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}\frac{b\sigma_T}{E^2}}{\frac{1}{4}bh^2\sigma_T - M}}. \tag{10}$$

Применимость формулы (1) ограничивается величиной момента M. При малых значениях последнего и отсутствии пластической зоны кривизна образца $\frac{1}{\rho}$ определяется по формулам сопротивления материалов и теории упругости из предположения линейности между σ и ε, т.е.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ} = \frac{12M}{bEh^3}. \tag{11}$$

Это соотношение справедливо при условии

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6M}{bh^2} \le M \le \frac{bh^2}{4}\sigma_T .$$

С возрастанием момента М кривизна $\frac{1}{\rho}$ образца увеличивается и при $\frac{bh^2}{4}\sigma_T = M$ обращается в ∞ (рис. 2). При этом y_T=0, а ρ=0. Следовательно, все сечение охватывается пластической деформацией и в образце-свидетеле образуется пластический шарнир.

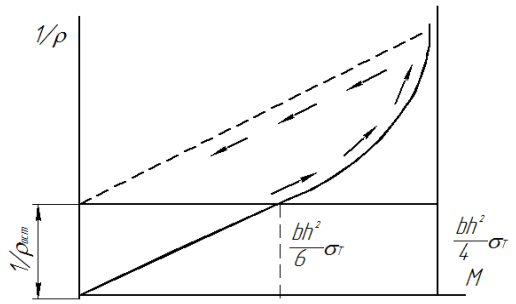


Рис.2. Зависимость кривизны $\frac{1}{\rho}$ образца-свидетеля от изгибающего момента М

Из выражений (10) и (11) можно найти остаточную кривизну $\frac{1}{\rho}$, которую сохраняет образец-свидетель $\rho_{ост}$ после разгрузки

$$\frac{1}{\rho_{ост}} \sqrt{\frac{b\sigma^3}{3(\frac{1}{4}bh^2\sigma_T - M)}} - \frac{12M}{Ebh^3}, \qquad (12)$$

Структурный вид формул (12) показывает, что при изгибе образца-свидетеля моментом сил М возникающие НТОН по своей абсолютной величине значительно ниже напряжений от чистого изгиба. Докажем это геометрически. Пусть отрезок GF на диаграмме деформирования (рис.3) представляет собой относительную деформацию удлинения нагруженного слоя на образце-свидетеле, вызванную изгибом, а отрезок OG – относительную деформацию удлинения $\varepsilon_{удл}$. Тогда величина НТОН после разгрузки выразится отрезком CD. Вместе с тем равномерная по сечению образца CD необходимо вычесть отрезок CE. Оставшаяся часть ED является НТОН

ED=CD-CE.

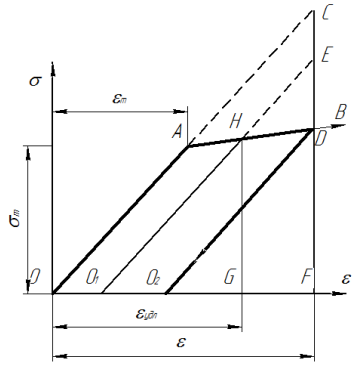


Рис.3. Диаграмма деформирования прямоугольного линейно упрочняющегося образца-свидетеля после разгрузки

Это доказывается следующей схемой. Пусть вначале образец-свидетель без изгиба получил удлинение $\varepsilon_{удл}$. Тогда напряжения по сечению образца достигнут величины GH. Разгрузив образец по линии O_1H, НТОН при этом не возникнут. Затем нагрузим образец изгибающим моментом М. В этом случае напряжения будут расти по линии O_1H, Если по достижении точки Н нагрузка возрастает, то в наружных слоях образца-свидетеля появятся НТОН.

По достижении, например, точки D и снятии момента сил М разгрузка образца-свидетеля пойдет по линии DO_2. В основе определения НТОН после пластических деформаций лежит известная в теории упругости и пластичности теорема о разгрузке (после снятия момента М). Согласно этой теореме (Генки, 1924 г.) НТОН выражаются отрезком

ED=EF-DF.

Такой характер приложения изгибающего момента М означает сложное нагружение образца-свидетеля. В данном случае образец сначала удлиняется, затем разгружается. За счет приложения момента сил М необходимо получить определенные напряжения (точка Н, рис.3). Дальнейшее нагружение создает условия для формирования НТОН. Пластическая деформация от изгиба распространяется по всему сечению образца. Поэтому НТОН при простом нагружении оказываются значительно меньше, чем при сложном нагружении.

По исходным данным в качестве примера при h=20мм, b=2,35мм [1], М=1880 кгс·см, ρ=175 см, σ_T=800 Мпа НТОН в поверхностном слое образца-свидетеля по формуле (2.36) $\sigma_{ост}$= - 400 Мпа, что соответствует уровню технологически расчетного значения НТОН [1] после одностороннего ППД образцов дифференцированным гидродробеструйным упрочнением при обработке шариками Ø2мм и глубине наклепа поверхностного слоя в 0,2 мм.

Анализ основных опубликованных материалов по методам и средствам ППД элементов коленчатых валов и усталостных изломов последних показывает, что в настоящее время проблема технологического обеспечения повышения эксплуатационной надежности коленчатых валов форсированных дизелей решается деформационным упрочнением – ППД, но имеющийся опыт нельзя привнести в практику без дополнительных исследований [3].

Результаты исследований эксплуатационной надежности образцов-свидетелей и элементов коленчатых валов показывают:

- Механизм разрушения коленчатого вала при его работе на двигателе и на безмоторном стенде одинаков и аналогичен картине практических поломок образцов-свидетелей .

- Металлографические исследования образцов-свидетелей подтверждают, что причиной зарождения усталостных трещин является постепенное накопление несовершенств кристаллической решетки в результате многократного повторения.
- Опыты доказывают, что усталостные трещины возникают только при динамических напряжениях изгиба, при этом усталостному разрушению коленчатых валов присущи все закономерности усталостного разрушения образцов-свидетелей и, следовательно, взаимозависимость распределения энергии во время разрушения образца с достаточной точностью может быть использована для элементов коленчатых валов.
- Методики оценки НТОН в образцах-свидетелях позволяют на стадии проектирования оценить их уровень и внести соответствующие корректировки в запасы усталостной прочности коленчатых валов форсированных дизелей в условиях форсировки и обработки ППД.
- Анализ эпюр напряженного состояния и НТОН показывает, что при дифференциальном ППД гидродробеструйной обработкой неравномерность распределения результирующих напряжений по отдельным сечениям элементов коленчатых валов снижается в 5-5,5 раз, и соответственно, повышается равнопрочность и эксплуатационная надежность конструкции по критерию «усталостная прочность».

Литература:

1. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени// М.: Машиностроение, 1977. С.11.

2. N. L. Mar’ina. Finite Element Solution of Contact Problems in Elasticity Theory, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 4, pp. 277–281. Allerton Press, Inc., 2015. ISSN 1068_798X

3. Марьина Н.Л. Исследование напряженно-деформированного состояния шатунного болта методом конечных элементов, СТИН, Москва, №9, 2014. С. 36-40 ISSN 0042-4633.

УДК 62.192:621

Определение запаса усталостной прочности шатунного болта форсированного дизеля

[1]Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

[1]Акимова Элеонора Константиновна, [1]Коблова Елена Александровна,

[1]Николаенко Анастасия Сергеевна, [1]Попова Юлия Александровна, студенты

[1]Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Значение напряжений в головках и в местах сопряжения стержня с головками практически не превышают уровня напряжений в стержне, у которого коэффициент запаса усталостной прочности составляет:

$$n = \frac{2\sigma_{-1P}}{\sigma_{aj} - \sigma_{СЖ} + \alpha\left(\sigma_{aj} + \sigma_{СЖ}\right)} = \frac{2 \cdot 360\ ,0}{43\ ,5 - \left(-\ 137\ ,5\right) + 0\ ,2\left(43\ ,5 - 137\ ,5\right)} = 4\ ,4$$

при $[n] = 3 \div 5$,

где σ_{-1P} = 360 МПа – предел усталости материала шатуна (сталь 18Х2Н4ВА); σ_{aj} = 43,5 МПа – наибольшее напряжение цикла;

$\sigma_{СЖ}$ = - 137,5 – наименьшее напряжение цикла;

$\alpha \approx 2$ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла.

Расчет запаса усталостной прочности болтового соединения шатуна ведем по [1]. Объектом расчета служит шатунный болт с материалом 18Х2Н4ВА с термообработкой заготовки до твердости HRC 33 – 37. Механические свойства материала после термической обработки: σ_B = 1100 МПа; σ_T = 800 МПа; σ_{-1P} = 360 МПа; E = $2 \cdot 10^5$ МПа.

Усилия в стержне болта:

- напряжения затяжки

$\sigma_3 = \left(0\ ,5 \div 0\ ,7\right)\sigma_{\grave{O}} = 0\ ,6 \cdot 800\ = 480$ МПа

- момент, закручивающий стержень болта

$$M_K = Q_3 \frac{d_2}{2}\left(\frac{s}{\pi d_2} + \mu'\right) = 13450\ \cdot \frac{2\ .1}{2}\left(\frac{15}{3,14} + 0\ ,1\right) = 1730$$ кгсм,

где $Q_3 = \sigma_3 F_{CT} = 4800\ \cdot 2\ ,8 = 13450$ кгс – усилие затяжки;

μ' = 0,1 – коэффициент трения в резьбе;

s = 1,5 мм – шаг резьбы;

d_2 = 23 мм – средний диаметр резьбы;

F_{CT} = 2,8 $см^2$ – площадь поперечного сечения стержня болта;

- касательные напряжения

в стержне болта

$$\tau_{CT} = \frac{M_K}{0\ ,2\ d^3} = \frac{1730}{0\ ,2 \cdot 1,90^3} = 126\ ,5$$ МПа

в резьбовой части болта

$$\tau_P = \frac{M_K}{0,2 d_1^3} = \frac{1730}{0,2 \cdot 2,21^3} = 80 \quad \text{МПа}$$

где $d_1 = 2,21$ см – внутренний диаметр резьбы болта;

- приведенные напряжения в стержне болта:

$$\sigma'_{CT} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau_{CT}^2} = \sqrt{4800^2 + 3 \cdot 1265^2} = 528 \quad \text{МПа}$$

в резьбовой части болта

$$\sigma'_P = \sqrt{\sigma_{3P}^2 + 3\tau_{CT}^2} = \sqrt{3500^2 + 3 \cdot 800^2} = 378 \quad \text{МПа}$$

где $\sigma_{3P} = \frac{Q_3}{0,785\ d_1^2} = \frac{13450}{0,785\ \cdot 2,21^2} = 3500 \ \frac{кгс}{см^2} = 350$ МПа

Запас усталостной прочности по пластическим деформациям

- в стержне болта

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma'_{CT}} = \frac{800}{528} = 1,52$$

- в резьбовой части болта

$$n_T = \frac{\sigma'_T}{\sigma'_P} = \frac{880}{378} = 2,33\,,$$

где $\sigma'_T = 1,1\sigma_T = 1,1 \cdot 800 = 880$ МПа.

Запасы усталостной прочности удовлетворены, т.к. $[\sigma_T] \geq 1,3$.

Запас статической прочности

- в стержне болта:

$$n_в = \frac{\sigma_B}{\sigma'_{CT}} = \frac{1100}{528} = 2,08$$

- в резьбовой части болта:

$$n_в = \frac{\sigma'_B}{\sigma'_{CT}} = \frac{1210}{378} = 3,2$$

где $\sigma'_B = 1,1\sigma_B = 1210$ МПа

Полученные запасы усталостной прочности можно признать удовлетворительными.

Амплитуда переменных напряжений цикла найдено по напряженному состоянию болта верхнего стыка, у которого размах переменных напряжений наибольший.

- в стержне болта:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{j\max} - \sigma_{j\min}}{2} = \frac{15 - (-22)}{2} = 18,5 \ \text{МПа},$$

где $\sigma_{j\max}$ = 15 МПа - максимальное значение переменных напряжений в стержне болта;

$\sigma_{j\max}$ = - 22 МПа – минимальное значение переменных напряжений в стержне болта.

- в резьбовой части болта

$$\sigma_{ap} = \sigma_a \left(\frac{d_{ст}}{d_1}\right)^3 = 18{,}5\left(\frac{1{,}9}{2{,}21}\right)^3 = 11{,}6 \text{ МПа}$$

где d_{cm} = 1,9 см – диаметр стержня болта.

Среднее напряжение цикла в резьбовой части болта:

$\sigma_{TP} = \sigma_{3P} + \sigma_{ap} = 350 + 11{,}6 = 361{,}6$ МПа

Теоретический коэффициент концентрации напряжений определяется по графику для $r/s = 0{,}12\ s; K_T = 7$, где r - радиус закругления во впадине резьбы.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений

$$K_\sigma = [1 + q(K_T - 1)]\frac{1}{\varepsilon_\sigma \beta_\sigma j} = [1 + 0{,}8(7 - 1)]\frac{1}{0{,}65 \cdot 1 \cdot 1{,}2} = 7{,}45,$$

где q = 0,8 – коэффициент чувствительности болта к концентрации напряжений (для легированных сталей q = 0,7 ÷ 0,8);

ε_σ = 0,65 – коэффициент, учитывающий влияние масштабного фактора;

β_σ = 1 – коэффициент конструктивного упрочнения;

j = 1,2 – коэффициент технологического упрочнения; j = 1,2 ÷ 1,3 – для сталей с накатанной резьбой.

Предел выносливости резьбового соединения

$$\sigma_{AП} = \frac{\sigma_{-1P}}{K_\sigma} = \frac{360}{7{,}45} = 48{,}5 \text{ МПа}$$

В случае выполнения условий $\sigma_m \succ 0{,}5\sigma_T$ (в данном расчете это условие выполняется) запас усталостной прочности по переменным напряжениям определяется выражением

$$n_a = \frac{\sigma_{an}}{\sigma_{ap}} = \frac{48{,}5}{11{,}6} = 4{,}15$$

Расчет усталостной прочности болтов по традиционной методике [2].

Ограничиваем расчет определением коэффициентов запасов усталостной прочности только в резьбовой части болта, как наиболее подверженной разрушению.

Приведенное среднее значение напряжения цикла

$$\sigma'_{TP} = \sqrt{\sigma^2_{TP} + 3\tau^2_P} = \sqrt{361{,}6 + 3 \cdot 80} = 389 \text{ МПа}$$

Тангенс угла граничного луча сектора усталости

$$tg\,\beta_{SK} = \frac{\sigma_0\left[1 + K_{Д\sigma}\right] - 2\sigma_{-1}}{K_{Д\sigma}\sigma_T - \sigma_{-1}} \cdot \frac{\sigma_T}{\sigma_0} = \frac{640\,[1 + 5{,}5] - 2 \cdot 380}{5{,}5 \cdot 800 - 380} \cdot \frac{800}{640} = 1{,}07\ ,$$

где σ_0 = 640 МПа – предел выносливости при пульсирующем цикле нагружения;

σ_{-1} = 380 МПа – предел выносливости на изгиб при симметричном цикле нагружения;

$K_{Д\sigma}$ = 5,5 – коэффициент концентрации в резьбе.

Тангенс угла асимметрии цикла

$$tg\,\beta = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{TP}} = \frac{\sigma_{TP} + \sigma_{ap}}{\sigma_{TP}} = 1{,}035\ ,$$

где $\sigma_{\max} = \sigma_{TP} + \sigma_{ap}$.

Так как $tg\,\beta \prec tg\,\beta_{SK}$, то коэффициент запаса усталостной прочности по подобному циклу определяется по формуле

$$n_{\sigma\beta} = \frac{\sigma_T}{\sigma'_{TP} + \sigma_{ap}} = \frac{800}{389 + 11{,}6} = 2$$

Запас усталостной прочности по переменным напряжениям

$$n_{\sigma\beta} = \frac{\sigma_{-1P} - \psi\sigma'_{TP}}{K_{Д\sigma} \cdot \sigma_a} = \frac{360 - 0{,}2 \cdot 389}{5{,}5 \cdot 11{,}6} = 4{,}4$$

Здесь: ψ = 0,2 – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла напряжений.

Таким образом, требуемые коэффициенты запасов усталостной прочности $[n_{\sigma\beta}] = 1{,}3 \div 2; [n_K] = 2{,}5 \div 4$.

Литература:

1. Чапчаев А.А. Определение запаса усталостной прочности стержней шатунов автомобильных двигателей с учетом динамичности внецентренно приложенной нагрузки//Исследование прочности и надежности деталей автомобильных двигателей .- Элиста .-1979 .-Вып. 1. -С.71-76.

2. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчеты прочности дизелей / В.А. Ваншейдт. Л.: Судостроение, 1969. 639 с.

УДК 62.192:621.43

Повышение эксплуатационной надежности шатунных болтов форсированных дизелей

[1]Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

[1]Акимова Элеонора Константиновна,[1]Коблова Елена Александровна,

[1]Николаенко Анастасия Сергеевна, [1]Попова Юлия Александровна, студенты

[1]Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В результате затяжки стержень болта испытывает наряду с напряжениями растяжения изгибающие напряжения. Последние являются следствием общей деформации кривошипной головки, вызванной самой же затяжкой. Расчетные значения изгибающих напряжений равнялись 20 МПа в болтах верхней и нижней частей стыка, что составило почти половину от экспериментальных. Разность расчетных и экспериментальных напряжений (Таблица 1) объясняется причинами технологического характера. Как показало экспериментальное исследование, при затяжке резьбового соединения кривошипной головки шатуна из–за не параллельности соответствующих упорных поверхностей бурта головки болта и шатуна или несоосность центрирующей расточки и резьбы в пределах существующих допусков изгибающие напряжения в стержне болта могут составлять до 15% от растягивающих.

Таблица 1

Место тензодатчика	№ тензодатчика	Размах напряжений	$\varphi_к$ при		σ при $\varphi_к$=0º		σ при $\varphi_к$=250º		σ при $\varphi_к$=310º		σ при $\varphi_к$=360º		σ при $\varphi_к$=410º		σ при $\varphi_к$=460º	
			σ_{min}	σ_{max}	Расчет	Экспер	Расчет	Экспер	Расчет	Экспер	Расчет	Экспер	Расчет	Экспер	Расчет	Экспер
			градус		МПа		МПа		МПа		МПа		МПа		МПа	
1	2	3	4		5		6		7		8		9		10	
Болт 1	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^р$	10	0	48	-2	-5	2,5	2,5	0,5	8,4	13	2	2,8	2,5	5,5	5
	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^п$	23	25	34	11	16	19,5	20	5,2	2,5	2,5	8	4,5	3	12,3	9

Продолжение табл.1

Болт 2	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^p$	8	0	4,8	-2,2	-4	2,5	2	0,5	8,4	8,4	1,5	2,8	3	5,5	4
	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^n$	30	25	34	11	8	19,5	17,5	5	2,5	2,5	6	4,5	4	12	9,5
Болт 3	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^p$	12,5	0	35	-2	2	2,7	3,5	5,5	7	9,3	10,5	4	3	-1	1
	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^n$	24	24	47	4	6	13,5	14	9	5,5	2,5	7	12,2	12	8	8,5
	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^p$	12,5	0	3,5	-2	2,5	2,7	3	5,5	5,5	9	10	4	3,5	-1	1,5
	$(1\text{-}3,2\text{-}4)^n$	2,2	24	47	4	6	13,5	14,5	9	5	2,5	7,5	12	10	8	7,5

Испытания шатунов и шатунных болтов дизелей типа ЧН21/21 проводилось на пульсаторе ЦДМ – 200ПУ растягивающими силами по способу Веллера на базе $7 \cdot 10^6$ циклов. Как показали исследования, разрушение болтов произошло на базе $2{,}6 \cdot 10^6$ циклов под головками по галтелям (рис. 1). На рис. 1 излома болта видны зоны: а – развитие усталостной трещины; б – хрупкого излома.

Рис.1. Усталостный излом шатунного болта: а – зона развития усталостной трещины; б – зона хрупкого излома

Так как усталостный излом наступил до базового числа цикла, представляет интерес изыскания и разработка принудительно нового подголовочного перехода шатунного болта форсированного дизеля.

Известно, что максимальная сила, растягивающая шатунный болт при эксплуатации дизеля, выражается зависимостью

$$P_{Б} = P_{З} + \chi P_{j},$$

где $P_{З i}$ - сила начальной затяжки болта;

χP_{j} - динамическая составляющая инерционной нагрузки;

P_{j} - сила инерции;

χ - коэффициент действующей нагрузки ($\chi = 0{,}15 \div 0{,}25$).

Разрушение шатунных болтов в подголовочных переходах связано со спецификой характера изменения напряжений при меняющейся динамической составляющей инерционной нагрузки χP_{j} - ее вибрации. Изменение амплитуды вибрации в процессе эксплуатации приводит к падению затяжки в болтовом соединении кривошипной головки шатуна, к самоотвинчиванию винтовых деталей. При этом изменяется коэффициент асимметрии цикла переменных динамических напряжений, увеличивается амплитуда динамической составляющей инерционного нагружения, что снижает надежность болтового соединения и кривошипной головки в целом.

На рис. 2 представлен шатунный болт форсированного дизеля, содержащий резьбовой стержень 1 с центровочным пояском 2 и головкой 3 с кольцевым буртом 4, на торцевой поверхности которого в месте соединения со стержнем выполнена кольцевая выемка 5, плавно сопряженная с центровочным пояском; торцевая поверхность кольцевого бурта выполнена конической под углом 1 - 2° к опорной поверхности В и плавно сопряжена с кольцевой выемкой 5 по радиусу r.

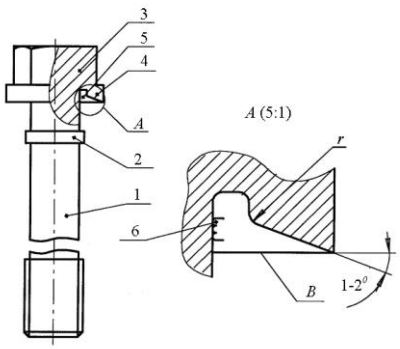


Рис. 2. Шатунный болт форсированного дизеля патентованной конструкции

Доказательство достижения положительного эффекта – повышения надежности можно проиллюстрировать на рис. 3, где представлены осциллограммы напряженного состояния, записанные тензорезистром 6 в подголовочном переходе шатунного болта (рис. 3): 1 – амплитуда динамической составляющей $\chi P_j = A$ в зоне подголовочного перехода базовой конструкции шатунного болта; 2 – амплитуда динамической составляющей $\chi P_j = a$ в зоне подголовного перехода предложенной конструкции шатунного болта в зоне инерциального нагружения кривошипной головки; 3 – индикаторная диаграмма давления газов в цилиндре дизеля; 4 – динамическая деформация стержня шатуна (по осциллограммам 3 и 4 контролируется правильность нагружения шатунного болта).

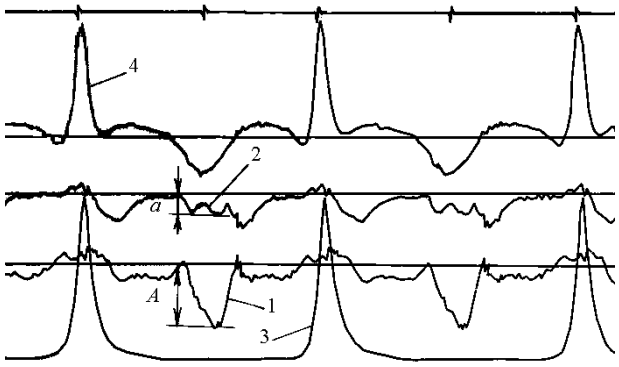


Рис. 3. Осциллограмма напряженного состояния в подголовочном переходе шатунного болта

При нагружении затянутого шатунного болта на стержне в зоне подголовочного перехода происходит знакопеременный динамический изгиб (осциллограмма 1 на рис. 3) до величины а (осциллограмма 2 на рис. 3) в предложенной конструкции. В результате применения подголовочного перехода с выполненной на торцевой поверхности кольцевого бурта выемки. плавно сопряженной с центровочным пояском, эксплуатационная надежность шатунного болта повышается за счет снижения динамической составляющей в 2,4 раза и уменьшения эффективного коэффициента концентрации напряжений в 1,4 раза.

Верхний предел конической торцевой поверхности кольцевого бурта нецелесообразно превышать > 2°, так как в этом случае резко снижается усталостная прочность шатунного болта в зоне изголовного перехода.

Нижний предел конической торцевой поверхности кольцевого бурта (< 1°) нецелесообразно уменьшать ввиду того, что в этом случае значительно падает эффект постоянного упругого контакта опорной поверхности бурта шатунного болта с крышкой кривошипной головки шатуна и одновременного демпфирования (сглаживания) амплитуды динамической составляющей инерционного нагружения. Необходимость плавного сопряжения кольцевого бурта по радиусу r с кольцевой выемкой обусловлена повышением надежности конструкции путем нейтрализации концентрации напряжений, которая

неизбежно возникает, если указанное сопряжение будет выполнено в виде острой кромки без радиуса r.

УДК 62.192:621

Определение запасов прочности коренных шеек коленчатого вала форсированного дизеля

[1]Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
[2]Овчинникова Екатерина Владимировна, аспирант
[1]Николаенко Анастасия Сергеевна, [1]Акимова Элеонора Константиновна, студенты
[1]Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково
[2]Саратовский государственный технический университет имени Ю.А.Гагарина, г. Саратов

К исследованиям коленчатого вала относятся: определение исходной силовой схемы, отвечающей действительным условиям работы коленчатого вала, изучение фактического распределения напряжений и их концентрации в элементах вала, определение усталостной прочности вала в зависимости от применяемого материала, формы вала, технологической обработки, особенно термохимической (азотирование, цементация и др.), сильно влияющей на сопротивляемость материала усталости в зонах концентрации напряжений. Сравнительные испытания колен вала дизеля 6ЧН 21/21 одинаковой геометрической формы (неазотированных и азотированных) показали, что азотирование повышает прочность колена при переменном кручении на 20-40%, а при переменном изгибе — на 25-60%. Степень этого упрочнения зависит от формы и материала вала.

Эти исследования пока еще не дали полного разрешения проблемы расчета коленчатого вала, но внесли больше ясности, чем это было раньше. Результаты этих исследований уже и теперь позволяют конструировать валы тех же габаритов, но значительно более прочные.

В современных методах расчета на прочность коленчатого вала форсированного дизеля учитываются основные факторы, влияющие на прочность: изменяемость нагрузок по времени, эффективные коэффициенты концентрации напряжений, усталостные характеристики материала и др. Результаты расчета еще не дают абсолютно правильной оценки прочности; они скорее характеризуют сравнительную прочность аналогичных

конструкций. С уточнением влияния на прочность отдельных факторов расчет позволяет определять абсолютные значения запасов прочности, более близкие к действительным.

Одним из существенных моментов расчета коленчатого вала является уточнение величин действующих на него нагрузок. Коленчатый вал и связанные с ним массы, как известно, образуют упругую систему, в которой возникают дополнительные инерционные нагрузки от различного вида вибраций. В расчете вала пока не может учитываться динамическое усиление изгибающих радиальных нагрузок, так как изгибные колебания недостаточно изучены.

В расчете на прочность обычно исходят из условия, что все существенные резонансы крутильных колебаний коленчатого вала должны быть устранены путем изменений системы или применением демпферов. Однако все же остается динамическое усиление сил, действующих на вал, определяемых из динамического расчета двигателя без учета вибраций. Обычно при расчете коленчатого вала на прочность за расчетный режим принимается номинальный режим; при этом динамическое усиление действующих нагрузок не учитывается.

С другой стороны, определяется, допустимы ли попадающие в эксплуатационную область оборотов резонансные колебания; при этом исходят из весьма упрощенного критерия прочности, а именно, допускаемой величины амплитуды напряжений, не учитывая, что эта величина зависит от формы вала, материала, технологической обработки и т. д.

Таким образом, в практике установились две системы расчета: одна - пытающаяся учесть ряд основных факторов, влияющих на прочность, но не учитывающая динамическое усиление нагрузок, другая - учитывающая более точно нагрузки, но зато вводящая менее точно в расчет влияние остальных факторов.

Предлагаемая работа ставит целью объединить эти две системы при расчете на номинальном режиме, коленчатого вала рядного двигателя, т. е. ввести в расчет уточнение нагрузок. Это уточнение касается только крутящих моментов, действующих на коленчатый вал. Как показывают расчеты ряда современных двигателей [1], роль изгиба при определении запасов прочности коренных и шатунных шеек невелика; основное значение имеют переменные напряжения кручения. Очевидно, что в дальнейшем, в процессе разработки метода расчета изгибных колебаний, можно уточнить нагрузки от действующих на шатунные шейки радиальных сил, играющих основную роль при определении запаса прочности щек вала.

Учитывать динамическое усиление нагрузок при номинальном режиме (нагрузки при резонансных режимах должны определяться торсиографированием) было всегда возможно. Методы расчета вынужденных крутильных колебаний системы вала хорошо разработаны.

Желательно было найти упрощенный способ оценки динамически усиленных крутящих моментов.

Для этого надо было предварительно произвести ряд расчетов вынужденных крутильных колебаний вне резонанса для достаточно большого числа коленчатых валов, а потом обобщить результаты этих расчетов. При этом громадной связанной с этим вычислением счетной работы удалось избежать благодаря использованию стенда для электромоделирования крутильных колебаний. Все нагрузки определялись экспериментально на электрических моделях. Это позволило количественно учитывать динамическое усиление крутящих моментов рядного мотора.

Коренные шейки вала форсированного дизеля 6ЧН 21/21нагружаются главным образом крутящими моментами; запасы прочности с учетом изгиба получаются всего на 2-3% меньшими, чем при определении их только от кручения. Поэтому запасы прочности коренных шеек можно определять только от одного кручения. Из расчета большого числа коленчатых валов рядных двигателей выяснено, что наиболее напряженными шейками являются шейки 3-я и 5-я (считая от винта); при этом запасы прочности в этих шейках получаются почти одинаковыми. Этот результат получается при расчете без учета динамического усиления крутящих моментов, передаваемых эти ми шейками. С учетом динамического усиления наиболее напряженной оказывается 3-я шейка; ее запас прочности следует определять из расчета вала.

Из составляемой при расчете двигателя таблицы крутящих моментов, передаваемых коренными шейками, выбираются максимальное и минимальное значения крутящих моментов($M_{кр.max}$, $M_{кр.min}$), передаваемых 3-й коренной шейкой за цикл работы двигателя. По этим значениям крутящих моментов определяется их амплитуда.

$$M_{кр} = \frac{Mкр\ .\max\ -\ M\,кк\ .\min}{2}, \qquad (1)$$

Эта амплитуда умножается на коэффициент динамического усиления, значение которого (как будет показано ниже) можно взять равным 1,33, и определяется амплитуда напряжений:

$$\tau_a = \frac{1{,}33\ M\,ккр}{Wp}, \qquad (2)$$

где W_P — полярный момент сопротивления коренной шейки.

Среднее напряжение равно:

$$\tau_m = \frac{M\,кк\ .\max\ +\ M\,кк\ .\min}{2Wp}. \qquad (3)$$

Запас прочности при асимметричном цикле изменения напряжений определяется (2) по формуле

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau}\tau_a + \alpha_\tau \tau_m}, \quad (4)$$

где τ_{-1}—предел усталости материала на кручение при симметричном цикле напряжений, полученный на обычных лабораторных образцах.

k_τ — эффективный коэффициент концентрации напряжений при переменном кручении, в данном случае для вала с поперечным масляным отверстием.

ε_z — коэффициент, учитывающий снижение предела усталости при кручении от влияния абсолютных размеров детали.

α_τ — коэффициент, определяемый из следующего выражения:

$$\alpha_\tau = \frac{\tau_{-1} - \tau_{a0}}{\tau_{a0}}, \quad (5)$$

где τ_{a0} — предельная амплитуда напряжении материала при пульсирующем цикле, т. е. при изменении напряжений от нуля до максимума.

С ростом среднего напряжения предельная амплитуда при переменном кручении уменьшается незначительно и α_τ имеет значение порядка 0,02—0,10, величина $\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau}$ в формуле (4) имеет значение порядка 2—3, а среднее напряжение τ_m меньше, чем амплитуда τ_a, поэтому вторым слагаемым в знаменателе формулы (4) можно пренебречь и запас прочности определять по формуле:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau}\tau_a}. \quad (6)$$

Для сталей коленчатых валов τ_{-1} обычно лежит в пределах 300—330 *МПа,* коэффициент ε_τ для шеек коленчатых валов авиационных двигателей может быть принят 0,8—0,7. Эффективный коэффициент концентрации напряжений k_τ мало зависит от диаметра шейки и значительно от чистоты обработки стенок отверстия и закругления краев. Этот коэффициент для шеек коленчатых валов лежит обычно в пределах 1,5—2.

Литература:

1. Ваншейдт В.А. Дизели: Справочник / В.А. Ваншейдт, Н.Н. Иваноченко, В.К. Колеров. М.: Машиностроение, 1999. 599 с.

УДК 621.941.01

Исследование влияния углов резца на процесс резания при токарной обработке

Мурин С.В., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»
Саввин А.С., студент направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

При составлении технологического процесса перед технологом ставится задача выбора инструмента. Инструмент должен удовлетворять набору ограничений (по жесткости детали, станка, твердости обрабатываемого материала, требований по качеству поверхности) и при этом производительность обработки должна быть максимальной.

Рассмотрим резцы с различными главными задними углами и главными углами в плане (рис.1.).

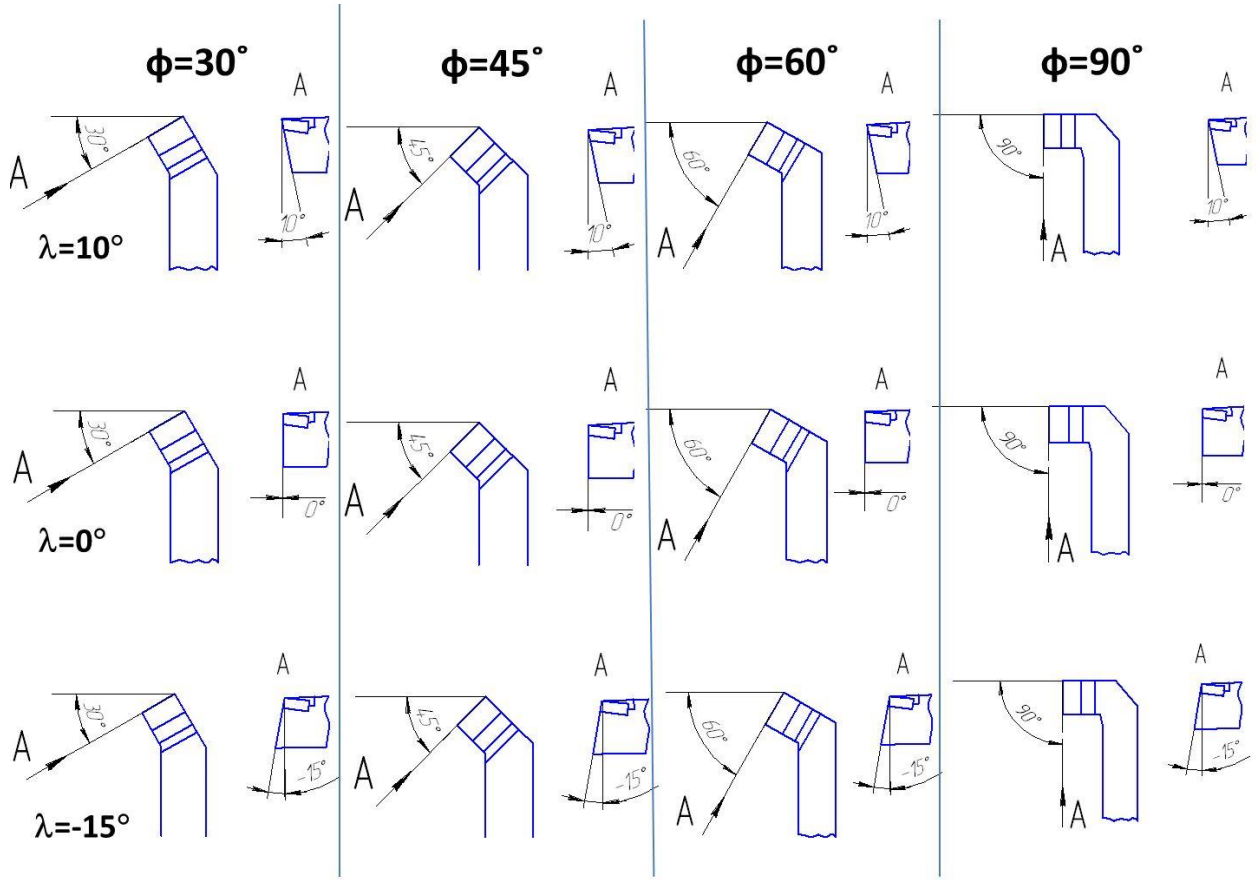


Рис.1. Группы резцов с различными главными задними углами и углами в плане

Резцы были разбиты на 4 группы главных углов в плане резца, с различными главными задними углами.

В итоге было получено 12 типов резцов. Остальные параметры резцов, (радиус закругления режущей кромки и другие углы резца) были приняты постоянными и одинаковыми для всех.

Для данных типов резцов был произведен теоретический расчет значений сил резания по следующей формуле:

$$Pz = 10 * Cp * t^x * S^y * V^n * Kp \quad (1)$$

где Ср – эмпирический коэффициент;

x - показатель степени при глубине резания;

y - показатель степени при подаче;

n - показатели степени при скорости резания;

Kp - поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

По исходным данным из справочника [2] были получены следующие значения коэффициентов: Ср=300, x=1, y=0.75, n=-0.1.

Поправочный коэффициент Kp определяется по формуле [2]:

$$Kp = KMp*K\phi p*K\gamma p*K\lambda p*Krp \quad (2)$$

где, KMp - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости;

Kφp - поправочный коэффициент на главный угол в плане;

Kγp - поправочный коэффициент на передний угол;

Kλp - поправочный коэффициент на главный задний угол;

Krp - поправочный коэффициент на радиус при вершине.

Численные значения коэффициентов Kφp,Kγp,Kλp,Krp полученные из табл. 23 справочника [2] приведены в табл 1.

Таблица 1

	30˚ 10˚		45˚ 10˚		60˚ 10˚		90˚ 10˚
Kp	0,972	Kp	0,9	Kp	0,846	Kp	0,801
KMp	1	KMp	1	KMp	1	KMp	1
Kφp	1,08	Kφp	1	Kφp	0,94	Kφp	0,89
Kγp	1	Kγp	1	Kγp	1	Kγp	1
Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1
Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9
	(-15˚)		(-15˚)		(-15˚)		(-15˚)
Kp	1,215	Kp	1,125	Kp	1,0575	Kp	1,00125
KMp	1	KMp	1	KMp	1	KMp	1
Kφp	1,08	Kφp	1	Kφp	0,94	Kφp	0,89
Kγp	1,25	Kγp	1,25	Kγp	1,25	Kγp	1,25
Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1
Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9

						Продолжение табл.1	
	0˚		0˚		0˚		0˚
Kp	1,0692	Kp	0,99	Kp	0,9306	Kp	0,8811
KMp	1	KMp	1	KMp	1	KMp	1
Kφp	1,08	Kφp	1	Kφp	0,94	Kφp	0,89
Kγp	1,1	Kγp	1,1	Kγp	1,1	Kγp	1,1
Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1	Kλp	1
Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9	Krp	0,9

Результаты расчетов сил резания при различных углах в плане и главного заднего угла представлены на рисунке 2

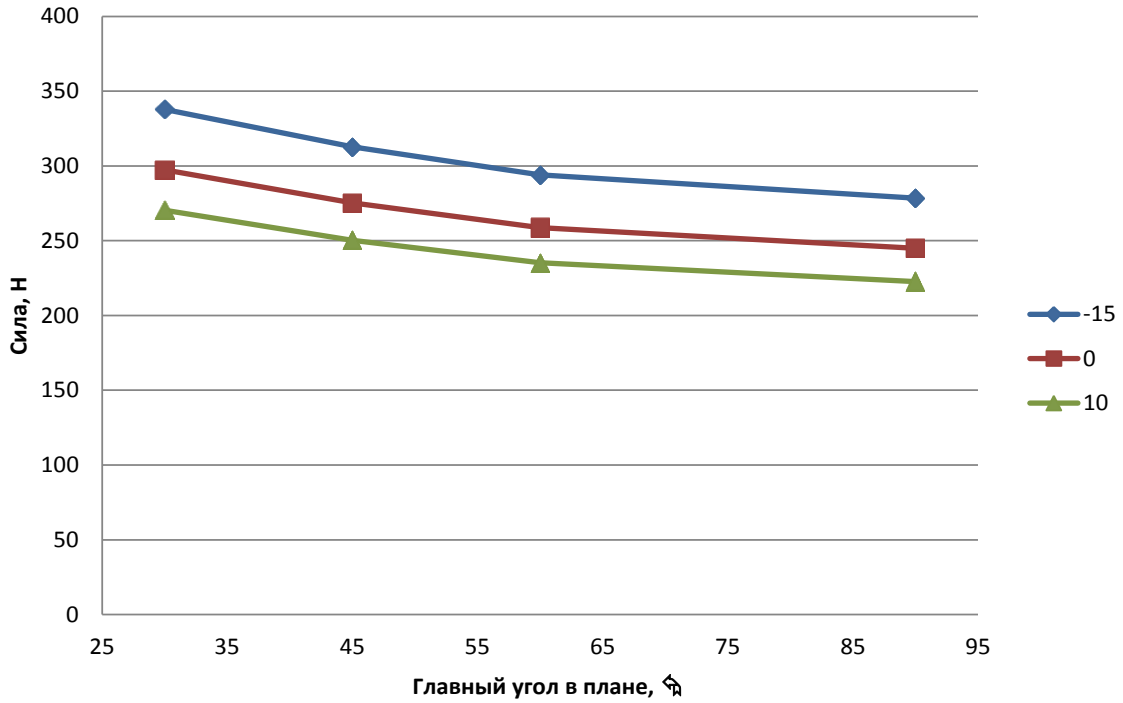


Рис. 2. График зависимости угла в плане и заднего угла на силу резания

На полученном графике видно, что при увеличении угла в плане сила резания уменьшается.

Однако, сила резания это не единственный фактор оказывающий влияние на процесс резания. Рассмотрим, влияние угла в плане на температуру резания. В справочнике [1] приведена зависимость температуры от главного угла в плане изображенную на рисунке 3.

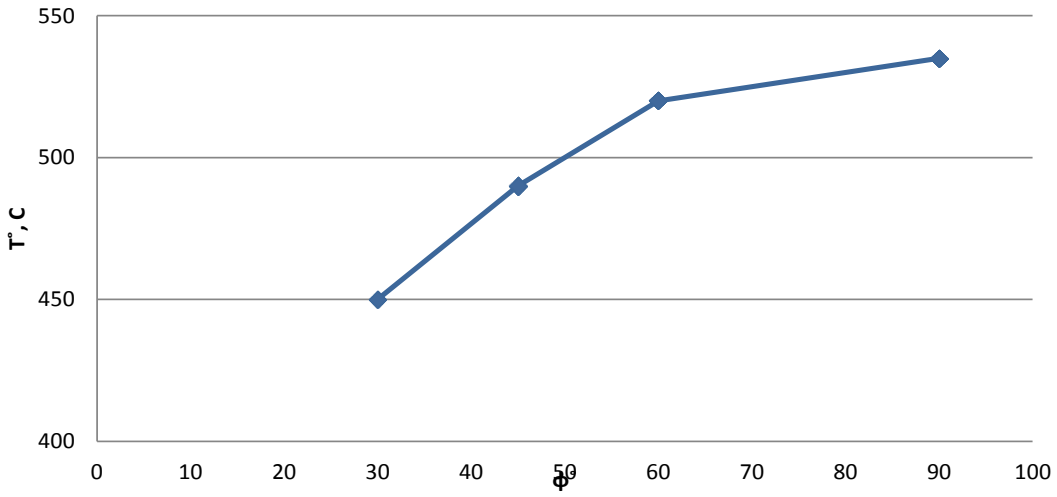


Рис. 3. График влияния угла в плане на температуру резания

По графику видно, что чем больше главный угол в плане, тем больше температура резания. С увеличением главного угла при одинаковой глубине резания происходит сокращение длины активной части режущей кромки (рис 4.). Это приводит к меньшему теплоотводу, теплота накапливается у вершины резца, и температура повышается.

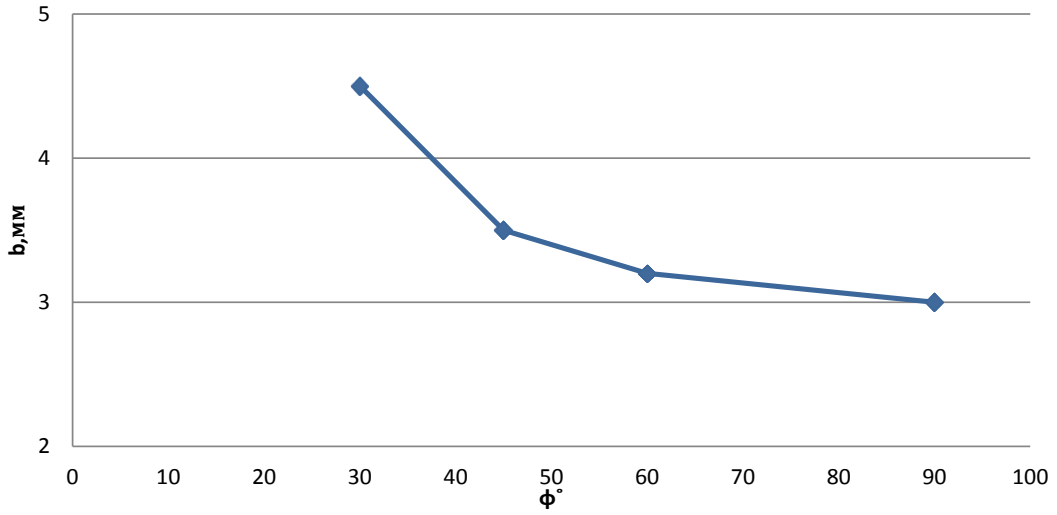


Рис. 4. График влияния угла в плане на длину режущей кромки резца

Рассмотрев приведенные факторы, можно сказать, что при увеличении главного угла в плане увеличивается температура резания, от этого падает стойкость режущей кромки, но уменьшается сила резания, что уменьшает отгиб детали и повышает точность обработки (не жестких деталей). Также при увеличении главного заднего угла падает сила резания, но также снижается прочность резца.

Для повышения производительности в токарной обработке, необходимо применять резцы с малыми главными углами в плане. А для повышения точности обработки особенно нежестких валов, необходимо применять резцы с большими главными углами в плане.

Литература:

1. Аршинов В.А., Алексеев Г.А.Резание металлов и режущий инструмент./Аршинов В.А., Алексеев Г.А. - М.: Изд-во Машиностроение, 1975

2. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. Т. 1,2, М.: Машиностроение, 2001

УДК 531

Определение нестандартных реакций связи

Попова Анастасия Викторовна, студентка направления подготовки «Машиностроение»;
Артёмова Дарья Викторовна, студентка направления подготовки «Строительство»
Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

Различают тела свободные и несвободные. Твердое тело принято называть свободным, в случае если его положение тела можно произвольно менять. Несвободным принято называть тело, перемещение которого ограничено.

Связями называют тела или устройства, препятствующие перемещению данного тела [1]. При освобождении от связей несвободное тело становится свободным и находящемся под действием разных сил - сил приложенных и реакций связей. Приложенные силы называются активными силами, а реакции связей - пассивными силами, поскольку они заранее неизвестны и всецело зависят от величин, направлений и точек приложения активных сил.

Для расчета прочности конструкций необходимо знать силы, действующие на них. Направление реакций связей не всегда определяется типовыми связями. В случае контакта двух цилиндрических поверхностей направление реакции определяется линией пересечения плоскостей, перпендикулярных осям цилиндров.

Это направление задает вектор

$\bar{n} = \bar{n}_1 \times \bar{n}_2$

где $\bar{n}_1, \bar{n}_2$ - единичные векторы осей цилиндров.

Тогда вектор реакции можно записать

$\bar{R}_C = R_C \cdot \bar{n}^o$

Например, однородная балка АВ весом Р, прикрепленная к полу шарниром А, опирается концом В на гладкую вертикальную стенку, а промежуточной точкой С на гладкий стержень DC, заделанный в стену перпендикулярно к ее плоскости (рис. 1).

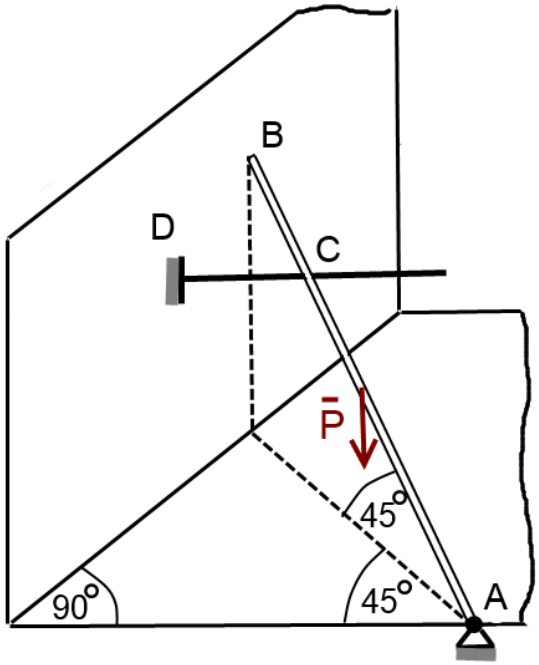


Рис.1. Однородная балка АВ

Балка с плоскостью пола и ее горизонтальная проекция с плоскостью стены составляет равные углы по 45°. Определить реакцию шарнира А и реакции опор в точках В и С, если АВ = 4 ВС.

Рассмотрим равновесие балки. На нее будут действовать: сила тяжести $\bar{P}$, реакции шарнира А: $\bar{R}_{AX}$, $\bar{R}_{AY}$, $\bar{R}_{AZ}$, реакция стены $\bar{R}_B$, реакция стержня $\bar{R}_C = \bar{R}_{CX} + \bar{R}_{CY} + \bar{R}_{CZ}$, которая лежит в плоскостях перпендикулярных стержням АВ и CD (рис. 2). Направление реакции $\bar{R}_C$ определяет вектор

$\bar{n} = \bar{n}_1 \times \bar{n}_2$,

где $\bar{n}_1, \bar{n}_2$ - единичные векторы: $\bar{n}_1$ (0;1;0) и $\bar{n}_2$ ($-cos^2 45^o$; $-cos^2 45^o$; $\cos 45^o$).

$$\bar{n} = \begin{vmatrix} \bar{\imath} & \bar{\jmath} & \bar{k} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2}\bar{\imath} + \frac{1}{2}\bar{k},$$

$$|\bar{n}| = \sqrt{\frac{2}{4} + \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$\bar{n}^o = (\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}; 0 ; \frac{1}{\sqrt{3}})$, где $\bar{n}^o$ -единичный вектор.

$\bar{R}_C = R_C \cdot \bar{n}^o = R_C \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\bar{\imath} + R_C \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}\bar{k}$,

$R_{CX} = R_C \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$,

$R_{CY} = 0$,

$R_{CZ} = R_C \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$.

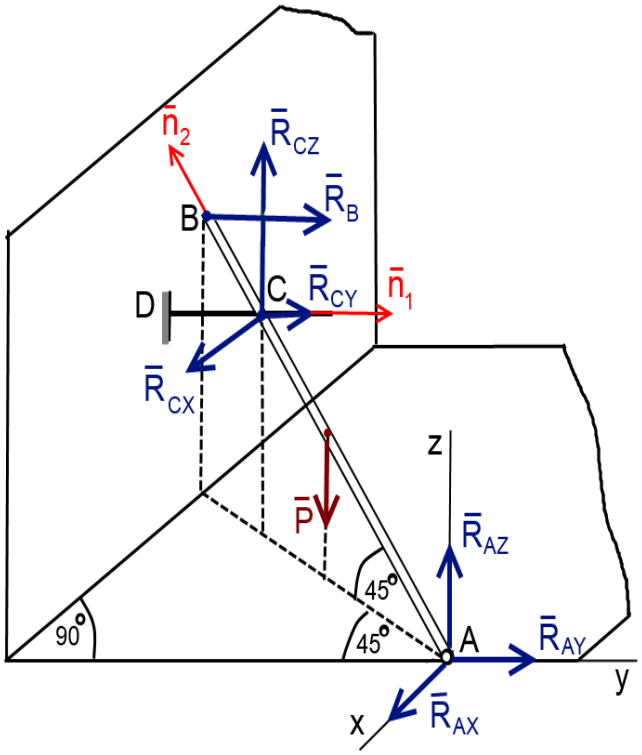


Рис.2. Реакции связей, действующих на балку AB

Составляем уравнения равновесия:

$\sum F_{kx} = 0 \quad R_{AX} + R_{CX} = 0,$

$\sum F_{ky} = 0 \quad R_{AY} + R_B = 0,$

$\sum F_{kz} = 0 \quad R_{AZ} - P + R_{CZ} = 0,$

$\sum M_x = 0 \quad P \cdot \frac{l}{2} (\cos 45°)^2 - R_{CZ} \cdot \frac{3}{4} l (\cos 45°)^2 - R_B \cdot l \cos 45° = 0,$

$\sum M_y = 0 \quad -P \cdot \frac{l}{2} (\cos 45°)^2 + R_{CX} \cdot \frac{3}{4} l \cos 45° + R_{CZ} \cdot \frac{3}{4} l \cdot cos^2 45^o = 0.$

Решив систему, определяем

$R_C = \frac{2\sqrt{3}}{9} P, \quad R_B = \frac{\sqrt{2}}{6} P, \; X_A = -\frac{2\sqrt{2}}{9} P, \quad Y_A = -\frac{\sqrt{2}}{6} P, \quad Z_A = \frac{7}{9} P.$

В машиностроительном производстве часто используются трубопроводы, возможные виды нагружения которых могут определяться по предложенному способу.

Литература:

1. Поляхов Н. Н. Теоретическая механика [Текст] : учеб. для акад. бакалавриата / Н. Н. Поляков, С. А. Зегжда, М. П. Юшков ; под ред. П. Е. Товстика. – 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2015. – 592 с.

2. Теоретическая механика [Текст]: учеб. для вузов / Н. Г. Васько [и др.]. – Изд. 2-е, испр. и доп. - Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 302 с.

УДК 672

Способы устранения отбела чугуна при литье в кокиль

Соколова Е.А., ассистент кафедры «Атомная энергетика»,
Третьяков С.С., студент направления
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Мировое производство чугуна и чугунных отливок в 2015 году составило 898,3 млн. тонн, при производстве отливок были использованы как новые, так и давно зарекомендовавшие себя способы.

Литье чугуна в кокиль по сравнению с песчаной формой имеет ряд преимуществ. Это относительная долговечность формы , резкое сокращение или практическое полное исключение формовочных материалов, повышение производительности туда в 1,5-6 раз, увеличение уровня возможной механизации, улучшение условий труда, уменьшение шероховатости поверхности, повышение точности отливок, увеличение их плотности [1,2].

К недостаткам процесса относятся: ограничение по геометрической сложности и массе, требования к серийности отливок, увеличенная продолжительность подготовки производства, повышенная чувствительность к изменению параметров процесса, большая трудоемкость изготовления оснастки, поверхностный отбел отливок [1,2].

Вопросам устранения отбела чугунных отливок или уменьшения толщины отбеленного слоя при их охлаждении в кокиле посвящены работы ряда авторов [1,3,4].

Одним из способов снижения твердости отбеленного слоя является применение легирующей обмазки внутренней поверхности кокилей, что позволяет получать чугунные отливки с заданными свойствами поверхностного слоя. Метод поверхностного легирования чугуна пока не получил распространения из- за неизученности процесса,. но следует отметить, что тепловые параметры заливаемого металла, температура плавления обмазки и ее теплоаккумулирующие свойства являются определяющими при поверхностном легировании [3] .

Другим способом снижения толщины отбеленного слоя или его устранения является медленное снижение температуры жидкого металла [1].

В настоящее время существует три схемы температурных полей отливки и кокиля (рис.1).

Принцип исследования термических явлений в системе «отливка-кокиль» реализуется с помощью параметрическое критерия X_2/X_1 [1].

Для тонкостенных кокилей соблюдается условие:

$$\frac{X2}{X1} \ll 1$$

Согласно этому условию количество теплоты, аккумулированное кокилем, пренебрежимо мало по сравнению с количеством теплоты, отдаваемом отливкой в окружающую среду. Поэтому роль кокиля в процессе теплообмена сводится к дополнительному термическому сопротивлению между двумя телами – отливкой и средой (рис.1а).

Для массивного кокиля соблюдается условие:

$$\frac{X2}{X1} \approx 1,$$

что означает соизмеримость теплоаккумулирующих способностей отливки и кокиля (рис.1б).

Если аккумулирующая способность кокиля много больше, чем способность отливки, то

$$\frac{X2}{X1} \gg 1$$

и роль среды, в которой охлаждается отливка, играет кокиль (рис.1в).

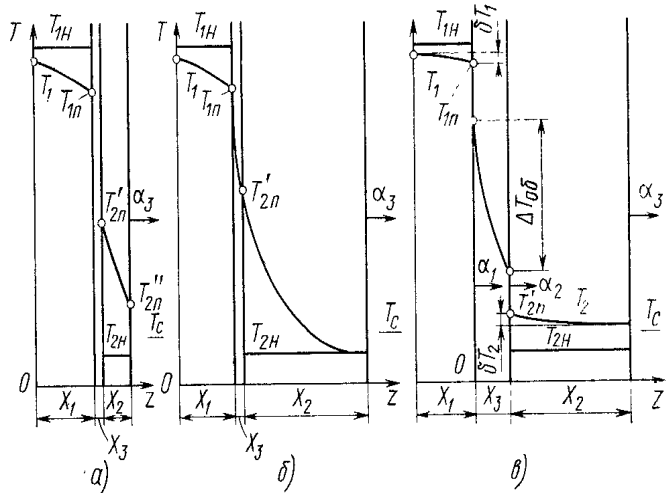


Рис.1. Схемы температурных полей в отливке и в кокиле

а- тонкостенный кокиль с тонкослойным покрытием, б- массивный кокиль с тонкостенным покрытием, в- облицованный кокиль

При исследовании процесса охлаждения отливки в кокиле аналитическими методами рассматриваются следующие этапы: охлаждение потока металла, отвод теплоты перегрева, затвердевание отливки и ее охлаждение после затвердевания [1,2].

При рассмотрении каждого из этапов необходимо знание ряда параметров, таких, как темп кристаллизации, отливки, значение коэффициентов теплоотдачи для каждого из этапов, площадь поверхности отливки, температура фиктивной среды, которая выбирается заранее и является постоянной величиной, а также безразмерных критериев тепловых и гидродинамических процессов, в частности критерия Био и критерия Фурье.

Расчет каждого из этапов охлаждения кокиля ведется по специальным зависимостям, которые имеют достаточно сложный вид [1].

Наряду с аналитическими методами в последние годы разрабатываются компьютерные численные методы расчета процесса затвердевания отливок в кокиле. Не смотря на неизбежные в этом случае упрощающие допущения, численные методы расчета позволяют решать задачи по затвердеванию отливок как в рамках научных исследований, так и при разработке технологии производства отливок [4].

Таким образом, в настоящее время с целью снижения скорости охлаждения отливки и уменьшения толщины отбеленного слоя широко применяют массивные кокили с тонкостенным покрытием и облицованные кокили. Глубокое изучение тепловых параметров заливаемого металла, температуры плавления обмазки кокилей и ее теплоаккумулирующих свойств и численные методы исследования процесса охлаждения отливки в кокиле помогут при разработке новых технологий производства чугунных отливок, свойства которых будут формироваться с учетом требований потребителя.

Литература:

1.Вейник А.И. Литье в кокиль/ А.И. Вейник,- М.: Машиностроение.- 1980 -415с.

2.Гиршович Н.Г. Справочник по чугунному литью/Н.Г. Гиршович,- Л.: Машиностроение.- 1978 -758с.

3. Оно А. Затвердевание металлов/ Пер. с английского Э.В. Захарченко, -М.: Металлургия.- 1980-152с.

4.Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок/М.В, Пикунов,- М.: МИСИС.- 2005 -416 с.

УДК 6705

Применение промышленных роботов на автоматизированном участке литья в кокиль

Соколова Е.А., ассистент кафедры «Атомная энергетика»,
Скробов С.П., Рог Д.Н., студенты направления
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В современных условиях роста требований к качеству изделий машиностроения автоматизация заготовительных операций становится актуальной задачей.

Ряд заготовок в машиностроении получают литьем в кокиль. Можно назвать следующие преимущества автоматизации процессов литья в кокиль: высокая скорость заливки кокилей, уменьшение доли ручного труда в производстве, возможность регулирования теплового режима кокилей [1,2,3].

При проектировании автоматических и автоматизированных участков, предназначенных для производства отливок в кокилях большое место уделяется применению промышленных роботов.

При автоматизации участка литья в кокиль роботами могут быть решены следующие задачи: сборка кокилей, перемещение их к литьевой машине и на участок охлаждения после заливки [2,3].

При подборе роботов для автоматизированного участка литья в кокиль следует отдавать предпочтение промышленным роботам агрегатно-модульного типа. Данный принцип предполагает создание роботов на базе унифицированных узлов или модулей и имеет следующие преимущества: возможность построения специальных и специализированных роботов для конкретной технологической операции, сокращение времени и трудоемкости проектирования специальных роботов, повышение надежности робота, вследствие отработанности входящих в него унифицированных узлов, удешевление производства роботов вследствие ограниченности номенклатуры узлов и деталей, улучшение условий эксплуатации и ремонта роботов вследствие уменьшения разнообразия конструкций узлов и деталей, сокращение сроков подготовки обслуживающего персонала [4,5].

К недостаткам промышленных роботов агрегатно-модульного типа следует отнести отказ в некоторых случаях от конструктивно более выгодных решений в пользу менее выгодных, но соответствующих принципу агрегатного построения, увеличение габаритов и

массы конструкции, увеличение числа стыков, что повышает трудоемкость сборки роботов, снижает жесткость и точность [5] .

Портальные подвесные роботы относятся к промышленным роботам агрегатно-модульного типа и могут быть использованы на автоматизированном участке литья в кокиль.

В частности, при транспортировке кокилей для заливки к литьевой машине могут быть примененные портальные роботы с гидроприводом типа М40П (рис.1). Данные роботы предназначены для операций загрузки-разгрузки [5].

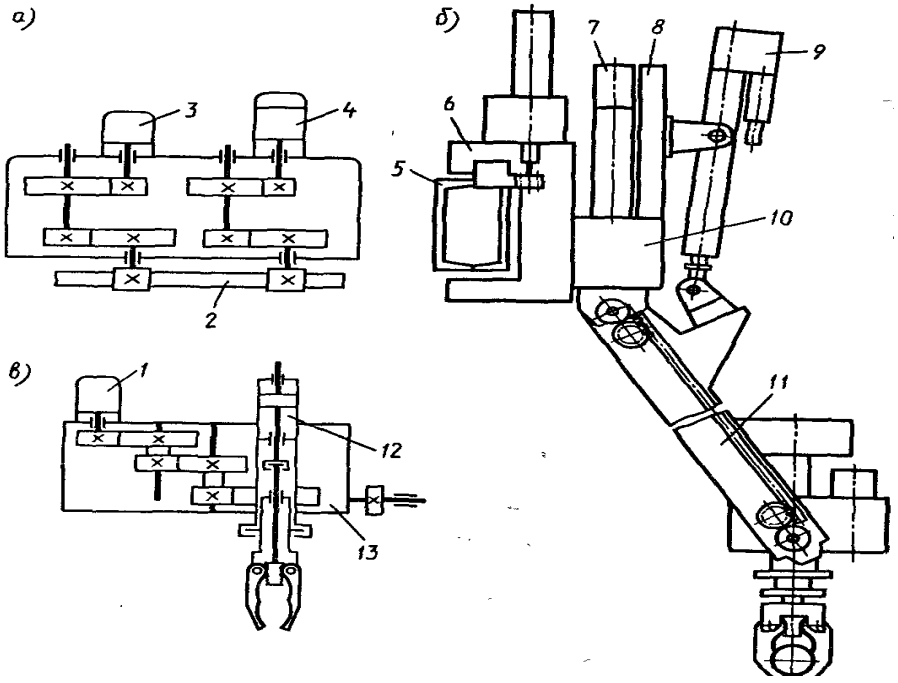


Рис.1. Схема портального робота с гидроприводом М40П
1-гидродвигатель поворота шпинделя захвата, 2- зубчатая рейка, 3- гидродвигатель выбора люфтов, 4 – шаговый двигатель привода каретки, 5- секция монорельсов, установленных на колоннах, 6- подвижная каретка, 7- шток линейного электрогидравлического шагового привода, 8- ползун, 9- линейный электрогидравлический привод качания руки, 10—корпус ползуна, 11- рука робота в виде двуплечего рычага, 12- привод перемещения губок захвата, 13- головка для установки захвата робота

При сборке кокилей могут быть применены промышленные роботы мостового типа. Характерным признаком этой группы роботов является наличие подвижного моста, по которому перемещается каретка с рукой. Роботы мостового типа более жестки и динамически устойчивые по сравнению с роботами другого типа. Однако, они более громоздки, , у них велики массы опорной системы и перемещающихся частей [5].

Автоматизированный участок литья в кокиль – это первый этап проведения комплексной автоматизации, при которой наряду с применением промышленных роботов автоматизируется работа всех остальных механизмов, а функции человека сводятся только к контролю и управлению. Полная автоматизация участка кокильного литья позволит

получать отливка с заданными свойствами и высокой точности, и освободит персонал участка от тяжелого монотонного труда [1].

Литература:

1.Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства пер.с английского М.Ю. Евстигнеев, , Б.И. Копылов, А.С, Чубуков М. 1989, 448с.

2.Вейник А.И. Литье в кокиль/ А.И. Вейник,- М.: Машиностроение.- 1980 -415с.

3.Гиршович Н.Г. Справочник по чугунному литью/Н.Г. Гиршович,- Л.: Машиностроение.- 1978 -758с.

4.Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение/Г.А. Спыну,- Киев.- 1991- 311с.

5.Фролов К.В. Механика промышленных роботов/К.В. Фролов, Е.И Воробьев.- М.: Высшая школа,- 1989-383с.

УДК 531: 514.18

Эластичная механика торовых поверхностей

Таранов Сергей Сергеевич, студент направления подготовки «Машиностроение»
Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

В курсе «Начертательной геометрии и инженерной графики» мы изучали торовую поверхность (Рис.1). Проводили всевозможные процессы (проецировали, рассекали и пересекали тор с другими поверхностями). Об этой фигуры можно говорить много.

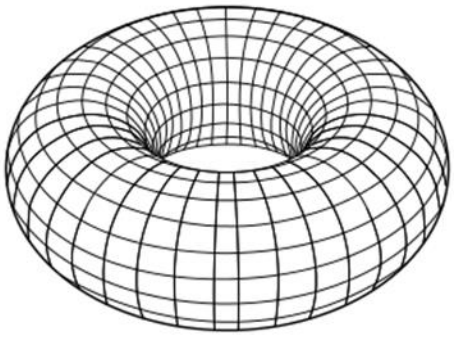


Рис.1. Торовая поверхность

Приведу некоторые примеры уникальности торовой поверхности:

- состоит из двух перпендикулярно вращающихся по отношению друг к другу окружностей, имеет три формы (сфера, открытый и закрытый тор), в зависимости от радиусов этих окружностей.
- с помощью вихревой формы, способен существовать в любой среде;
- формула описывающая объём тора, такая же, что и у гиперсферы.

В настоящее время очень актуален эластичный тороид – это оболочка, основанная на тороидальном движении, состоящая из однокомпонентных и многокомпонентных тороидов заполненных жидкой или газообразной средой. Имеет не менее пяти степеней свободы. На внешней поверхности содержит две рабочие среды – внутреннюю и внешнюю периферию.

Под действием внутренних или/и внешних сил, эластичный тороид имеет свойства перемещаться по жесткой, или любой другой поверхности; обладает регулируемой площадью контакта; наволакивается на предмет, независимо от его формы; при наволакивании/выворачивании скорость поступательного движения внутренней поверхности в два раза больше, чем внешней; преобразовывает поступательное движение во вращательное и наоборот.

Эластичная механика строится на топологии тора. Топология – это математическая наука, изучающая непрерывную деформацию. Идеи топологии можно объяснить на следующем примере. Предположим, возьмем резиновый куб, что имеет свойства деформироваться без разрывов, а так же растягивается и сжимается, после чего куб можно преобразовать в шар путем непрерывной деформации, вдавив углы. Эластичными называются те машины и механизмы, что имеют в своем составе оболочку, выполненную из интеллектуального полимерного материала, заполненную интеллектуальной рабочей либо текучей средой (Рис. 2). Также объединяют механическую и электронную системы.

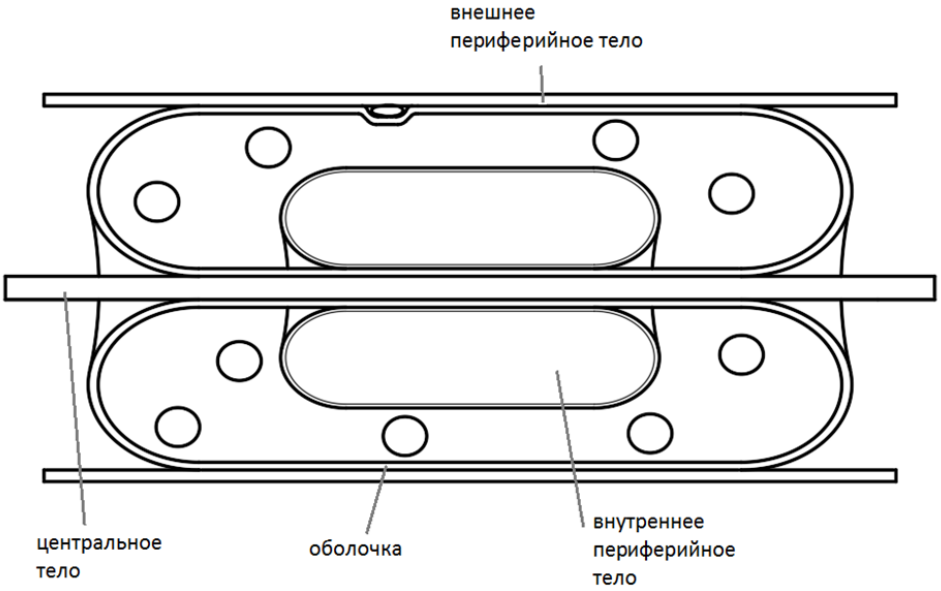


Рис.2. Строение эластичного тора

Преимущества эластичных тороидов: экологическая чистота и бесшумность работы; минимальные габариты и масса (при транспортировании и хранении); изменяющиеся геометрические размеры; преобразование энергии, замена трения скольжения на трение качения, что дает более высокий КПД; простота эксплуатации, монтажа и отсутствие смазки; кажущаяся на первый взгляд ненадежность и уязвимость оболочки от внешних воздействий, а также износостойкость, приводит к поиску или разработке новых композиционных материалов оболочки; непредсказуемость, неустойчивость его движения определяется по определенным законам и может контролироваться.

Р.З. Кожевников – изобретатель-самоучка, положил начало эластичным торовым машинам и механизмам. Главными изобретениями являются:

- «Пневмозолотник» применяется по сегодняшний день в токарных, фрезерных и сверлильных станках;
- «Тороидальные движители транспортных средств» включает в себя, погрузочно-разгрузочные операции, с широким функциональным диапазоном.

Эластичная механика торовых поверхностей – это молодое направление в машиностроении, и возможно оно станет определяющим вектором развития отрасли в будущем.

Литература:

1. Торовые технологии – основа эластичной механики: http://arbuz.uz/t_tor.html (дата обращения 02.03.17)

2. Наглядная топология / В. Г. Болтянский, В. А. Ефремович. – Москва: Наука, 1982 . – 159 с.

УДК 621.86.06

Особенности системы управления процессом подъема упавших кассет в реакторе типа ВВЭР с помощью автоматических грузозахватных устройств

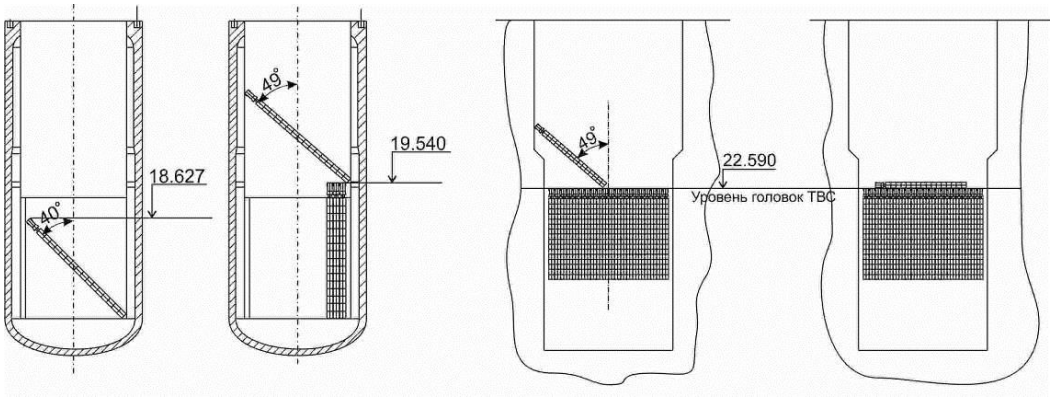
Чернышев Илья Александрович, магистрант 1 курса направления подготовки «Системный анализ и управление»;

Кравченко Павел Давидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Россия, г. Волгодонск

Перегрузка топливных кассет в ядерном реакторе типа ВВЭР обычно происходит согласно штатному режиму [1, 2]. Однако возможна нештатная ситуация, когда кассеты могут упасть в процессе перегрузки.

На рисунке 1 приведена исходная схема возможных положений упавших кассеты или гермопенала, в аппарате а и в бассейне выдержки б.



а) б)

Рис.1. Возможные положения упавшей кассеты в реакторе (а) и в бассейне выдержки (б)

На рисунке 2 изображена головка упавшей расположенной горизонтально кассеты со всеми необходимыми для проектирования АГЗУ размерами. Точка *К* и размеры 105, Ø170, 355 представлены в качестве опорных элементов. Точка *К* является базовой опорной точкой, на которую будет опираться захватный элемент в начале операции захвата. Эти размеры являются базовыми, определяющими точку контакта разрезной втулки захватного устройства с цилиндрической поверхностью Ø170 кассеты. Этого достаточно для построения исходной конструктивной схемы захвата.

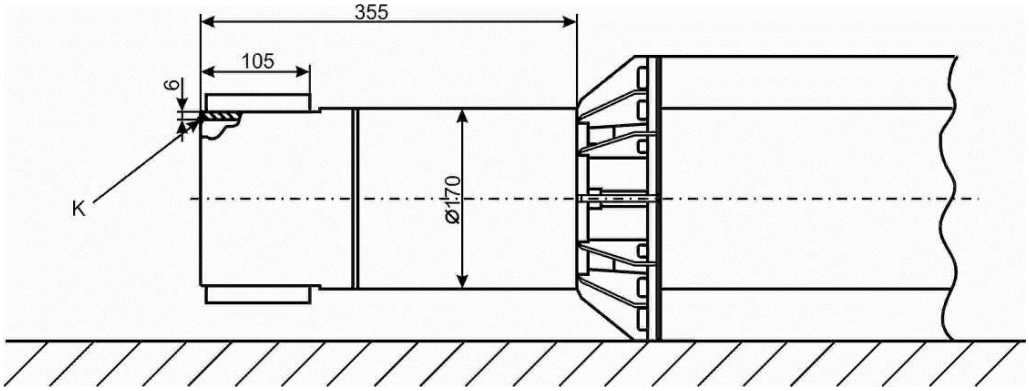
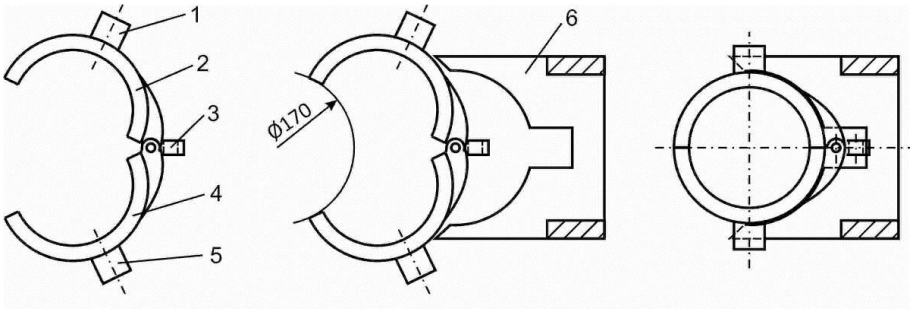


Рис.2. Размеры головки упавшей кассеты, расположенной горизонтально

Для подъёма кассеты целесообразно использовать перегрузочную машину МПК [4], имеющую в своей конструкции гибкие канаты, на которых подвешивают АГЗУ. Для взаимодействия захватного устройства с головкой кассеты используется разрезная втулка с

подъёмными шипами, за которые и будет осуществляться захват кассеты, поворот её в вертикальное положение и транспортировка на заданную технологическую позицию.

Основные элементы АГЗУ с использованием разрезной втулки с опорными шипами и фиксирующей вилкой представлены на рисунке 3.



а) б) в)

Рис.3. Положение разрезной втулки при захвате головки кассеты за цилиндрическую часть Ø170 мм: а) открытое положение в момент наведения на объект; б) положение в момент начального контакта втулки с объектом; в) положение втулки, замкнутой на цилиндр Ø170 мм головки кассеты. 1 – шип подъёма; 2 – полувтулка; 3 – проушина; 4 – полувтулка; 5 – шип подъёма; 6 – вилка фиксирующая

Исходные элементы конструктивной схемы является базой для создания конструкции АГЗУ; процесс конструирования представляет существенную новизну, «*know-how*» и здесь не представлен.

Представленные ниже особенности системы управления являются модификацией в связи с модернизацией объекта управления, а также с повышением точности и надежности работы оборудования за счет применения современных средств и принципов построения систем управления технологическим оборудованием. Поставленная задача достигается путем применения новой системы управления перегрузочной машиной (СУПМ) с гибким подвесом АГЗУ с объектами перегрузки [3].

На рисунке 4 представлена структурная СУПМ машины МПК. Здесь в системе применена ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). Целевое задание вводится с клавиатуры, ЭВМ отправляет это задание на ПЛИС блока УЧПУ (устройство числового программного управления) через микроконтроллер. Задания поступают на электроприводы через блоки связи, одновременно с этим на ПЛИС блока УЧПУ поступают данные из системы контроля нейтронного потока, блока путевых датчиков, с датчиков веса и линейных перемещений.

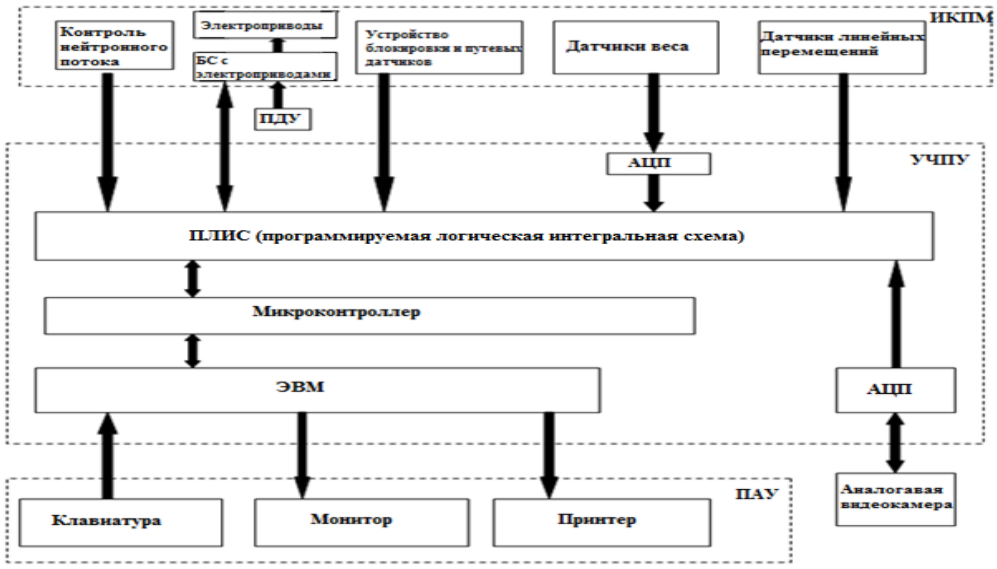


Рис.4. Упрощенная функциональная схема системы управления МПК

Система блокировки используется для предотвращения поломок в системах автоматики и электроприводов. Сигнал о блокировке поступает на ПЛИС, которая связана блоком связи с электроприводами, для подачи на них сигналов остановки.

Видеокамера предназначена для визуализации процесса перегрузки топлива в реакторе, сигнал от которой поступает на ЭВМ, через АЦП, ПЛИС, микроконтроллер.

Технология перегрузки определяется совокупностью функций, возлагаемых на СУПМ[1-4]:

1. Ввод заданий с соответствующими шифрованными кодами;

2. Преобразование заданий в последовательности команд на элементарные движения рабочих органов в соответствии с заданными алгоритмическими программами;

3. Ввод информации о положении, нагрузках и других параметрах состояния ПМ;

4. Отображение информации об изменениях параметров состояния внешней среды, определяющих надёжность технологического процесса перегрузки объектов;

5. Точное определение управляющих воздействий на исполнительные устройства ПМ на основе команд и данных о состоянии ПМ, СУПМ и параметров внешней среды;

6. Передача управляющих воздействий на исполнительные устройства ПМ;

7. Контроль выполнения каждой операции;

8. Представление в удобной для процесса управления форме сведений о ходе технологического процесса, состоянии внешней среды, ПМ и СУПМ;

9. Регистрация всех элементов процесса перегрузки объектов;

10. Связь с АСУ высшего уровня (например, с АСУ энергоблока);

11. Мониторинг исправности всех блоков, обеспечивающих технологический процесс перегрузки;

12. Контроль правильности выполнения всех операций процесса перегрузки.

Вышеизложенная информация является базовой для создания реальных конструкций АГЗУ и системы управления процессом перегрузки упавших кассет в реакторе типа ВВЭР.

Литература:

1. Шиянов А.И. и др. Системы управления перегрузочных манипуляторов. М: Энергоатомиздат. 1987.

2. Портной Ю.Т. Системы управления перегрузочными машинами АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Известия ТулГУ. Технические науки. 2010.

3. Валюкевич Ю. А., Кравченко П. Д., Толстунов О. Г., Яблоновский И. М. Система управления перегрузочной машиной с гибким подвесом объектов в ядерном реакторе типа ВВЭР. Пат. 2397556 Рос. Федерация: МПК G21C 19/10. - № 2009102240/06; заявл. 23.01.2009; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 23.

4. Кравченко П.Д., Федоренко Д.Н. Подвесные грузозахватные и манипулирующие устройства. Москва: НИЯУ МИФИ; Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – 284 с.

СЕКЦИЯ 4:
«IT – ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТМАХ И УПРАВЛЕНИИ»

УДК 004.9

Электронные образовательные ресурсы как базовый компонент информационно-образовательной среды

Виштак О.В., доктор педагогических наук, профессор кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Фролов М.В., студент направления «Информационные системы и технологии»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково.

Для получения новых знаний и изучения нового учебного материала, для подготовки к олимпиадам, конкурсам, для контроля знаний и приобретенных навыков учебных задач, для реализации дистанционного обучения, то есть как неотъемлемая часть образовательного процесса в настоящее время используются образовательные ресурсы (ЭОР). Электронный образовательный ресурс (ЭОР) рассматриваем как образовательный ресурс, представленный в электронно-цифровой форме и включающий в себя структуру, предметное содержание и метаданные о них. Электронный образовательный ресурс может включать в себя данные, информацию, программное обеспечение, необходимые для его использования в процессе обучения [1].

В настоящее время разработано большое многообразие ЭОР. Так Босова Л.Л., анализируя типологию ЭОР, как основополагающий компонент информационно-образовательной среды, выделяет информационные источники, информационные инструменты и педагогические ЭОР [2]:

- ✓ простые информационные источники (звук, изображение, текст, видеоматериалы, модели) и комплексные, содержащие простые информационные источники, связанные гиперссылками (например, мультимедиа энциклопедии);
- ✓ информационные инструменты учебной деятельности (программные продукты, позволяющие учащемуся или учителю производить активные действия над информационным источниками (объектами), создавать их, менять, связывать, передавать и т.д.);

✓ педагогические ЭОР (электронные учебные издания и электронные учебные материалы).

По цели создания информационные источники условно разделены на общекультурные информационные источники (ресурсы), существующие независимо от учебного процесса (культурное и историческое наследие, природные объекты и явления); педагогические информационные источники (ресурсы, разработанные специально для целей учебного процесса) [2].

К информационным образовательным ресурсам относятся Федеральные образовательные ресурсы, которые включают [3]:

1. Федеральный портал "Российское образование" (http://www.edu.ru/)
2. Единое окно доступа к образовательным ресурсам (http://window.edu.ru/)
3. Российский совет олимпиад школьников (http://www.rsr-olymp.ru/)
4. Официальный информационный портал ЕГЭ (http://ege.edu.ru/ru/) и др.

Каждый из этих ресурсов содержит различные документы и свои главы, помогающие в том или ином виде деятельности. Например, Федеральный портал "Российское образование" (http://www.edu.ru/), содержит следующие главы:

- Вузы: Каталог университетов, академий, институтов;
- Ссузы: Каталог колледжей, техникумов, училищ;
- Учебные карты: карты России и мира, контурные карты, образовательная статистика;
- Актуальное для выпускников школ и абитуриентов: Нормативные документы, ЕГЭ, ГИА, рейтинги, тестирование, профориентация;
- Атрибутный и контекстный поиск документов: Распорядительные и нормативные документы системы российского образования;
- Федеральные государственные образовательные стандарты: ФГОС общего; среднего, высшего профессионального; послевузовского образования;
- Новости: Новости в сфере образования;
- Демонстрационные варианты тестов ЕГЭ и ГИА on-line.

Среди федеральных ресурсов данный сайт является лучшим образовательным ресурсом.

К региональным образовательным ресурсам относят [4]:

1. Сайты региональных органов управления образованием
2. Региональные информационно-образовательные порталы
3. Проекты «Образование» и «Информатизация»
4. Школьные сайты

К таким образовательным ресурсам, как учебное книгоиздание и образовательная пресса относят [5]:

1. СМИ образовательной направленности;
2. Издательства учебной литературы;
3. Учебное книгоиздание;
4. Книготорговые предприятия;
5. Интернет-магазины образовательной направленности.

Наиболее распространнеными изданиями в области образования являются следующие [6]:

1. Газета «Первое сентября»;
2. Журнал «Образование: исследовано в мире»;
3. МИФ: журнал по математике, информатике и физике для школьников;
4. Журнал «Наука и жизнь;
5. Журнал «Кван»;
6. Журнал «Знание сила»;
7. Журнал «Право и образование»;
8. Журнал «e-Learning World - Мир электронного обучения»;
9. Издательская группа «Основа»
10. Журнал «Соросовский образовательный журнал»;
11. Учительская Газета»;
12. Журнал «Техника - молодежи - научно-художественный журнал.

Ко второму классу ресурсов информационно-образовательной среды относятся инструментальные программные средства, включая :

✓ текстовые и графические редакторы для подготовки текстов, графиков, диаграмм [7];

✓ табличные процессоры или электронные таблицы для автоматизированной обработки информации, представленной в табличной форме;

✓ системы управления базами данных для автоматизации работ по созданию базы данных, поиска необходимых сведений для аналитических расчетов;

✓ интегрированные пакеты, включающие текстовый и графический редакторы, табличный процессор, СУБД.

Готовые инструментальные программные средства, позволяющие методом интерпретации быстро разрабатывать собственные программно-ориентированные продукты, наиболее востребованы преподавателями, которые являются специалистами в своей предметной области и в меньшей степени владеют программированием. Недорогие и очень

мощные инструментальные программные средства для создания прототипов выпускаются на коммерческой основе для множества платформ, включая микрокомпьютеры (Visual Basic и Visual C (Micro-soft Corp). Библиотеки статистических программ содержатся, например, в табличном процессоре Microsoft Excel, в пакетах прикладного программирования автоматизированных систем LabVIEW, Lab Windows.

Преподаватели, владеющие навыком программирования, как правило, используют метод прямого программирования, что позволяет создавать авторские ЭОР, учитывать специфику изучаемого курса, учитывать индивидуальные особенности обучающихся. Этот класс педагогических ЭОР является очень востребованным и, как правило, охватывает все этапы дидактического цикла обучения [7,8,9.10,11,12,13,14,15 и др.].

Таким образом, электронные образовательные ресурсы являются эффективным и базовым компонентом информационно-образовательной среды, при помощи которого можно значительно обогатить учебный процесс, как для обучающихся, так и для преподавателей, стимулировать деятельность преподавателей к созданию и использованию ЭОР на всех этапах дидактического цикла обучения, воспитать творческие личности, адаптированные к жизни в современном информационном обществе.

Литература:

1. ГОСТ Р 52653-2006 Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения. Дата введения 2008-07-01.

2. Босова Л.Л. Типология электронных образовательных ресурсов как основополагающего компонента информационно-образовательной среды. /Материалы II Всероссийская конференция «Применение ЭОР в образовательном процессе». 2012. [Электронный ресурс]: http://msk.ito.edu.ru/2012/section/188/95548/.

3. http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm

4. http://edu-top.ru/katalog/?cat=2

5. http://edu-top.ru/katalog/?cat=3

6. http://www.edu.ru/db/portal/sites/ejornal/e_jornal.htm

7. Виштак Н.М. Яковлева Е.А. Особенности подготовки презентационных материалов для слушателей детской компьютерной школы. В сборнике Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества. Ответственный редактор: Г.М. Садчикова. 2016. С. 93-95.

8. Виштак Н.М., Ротанов Ю.А. Тестирующий модуль компьютерной обучающей системы для проверки знаний персонала предприятия. В сборнике Проблемы развития

предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества. Ответственный редактор: Г.М. Садчикова. 2016. С. 72-75.

9. Виштак О.В. Интерактивный электронный образовательный ресурс по основам программирования. В сборнике Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития. Сборник статей участников международной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобаческого, Арзамасский филиал; под общей редакцией С.В.Мироновой, С.В.Напалкова. 2016.С 77-80.

10. Виштак Н.М. Информационная система тестирования знаний обучающихся центра дополнительного образования на основе Web-технологий. В сборнике Современные - технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития. Сборник статей участников международной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобаческого, Арзамасский филиал; под общей редакцией С.В.Мироновой, С.В.Напалкова. 2016.С 40-43.

11. Штырова И.А. Интерактивное Web-приложение по информатике. В сборнике Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития. Сборник статей участников международной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобаческого, Арзамасский филиал; под общей редакцией С.В.Мироновой, С.В.Напалкова. 2016.С 258-261.

12. Фролов Д.А. Разработка интерактивной обучающей системы по архитектуре ЭВМ на основе Web-технологий. В сборнике Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития. Сборник статей участников международной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.Н.И.Лобаческого, Арзамасский филиал; под общей редакцией С.В.Мироновой, С.В.Напалкова. 2016.С 62-65.

13. Михеев И.В., Кондратов Д.В., Виштак О.В. Анализ функциональных возможностей тестирующего программного комплекса для обучения программированию: сб. науч. тр. // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 65-69.

14. Vishtak O.V. The use of the computer training system as the factor of effective formation of information competence of future IT-specialists / O.V. Vishtak, I.V. Mikheyev, I.A. Shtyrova // American Institute of Physics Inc.

15. Vishtak N.M. Methodical and technological aspects of creation computer learning system / N.M. Vistak, D.A. Frolov // American Institute of Physics Inc.

УДК 004.942

Моделирование электромагнитного поля гидроэлектрического преобразователя расхода

Грицюк Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и управление в технических системах»;
Максимова Екатерина Александровна, студентка направления «Управление в технических системах»;
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет» МИФИ», г. Балаково

Моделирование является важным процессом при исследовании объекта или явления. Это процесс замещения объектной сферы некоторой моделью и проведение исследований с помощью модели для получения информации об объекте. Модели могут использоваться для определения наилучшего способа управления объектом и прогнозирования последствий воздействий на объект.

Проведен анализ методов моделирования, по результатам которого выбран наиболее предпочтительный для построения картины электромагнитного поля гидроэлектрического преобразователя расхода с магнитожидкостным сенсором (МЖС) - компьютерный метод, позволяющий наилучшим образом визуализировать электромагнитное поле преобразователя.

Анализируя существующие компьютерные программы, можно отметить, что для реализуемого случая могут быть использованы ELCUT, ANSYS, JMAG-Designer, COMSOL MULTIPHYSICS [1].

ELCUT – программа, предназначенная для расчета магнитных полей, имеет русскоязычный интерфейс, сравнительную быстроту вычислений, высокую степень автоматизации всех процессов и простоту задания геометрической модели объекта [2].

ANSYS позволяет решать смешанные задачи. Кроме вычисления картины поля с помощью этой программы можно провести анализ и расчет напряжения, деформации конструкции, изучить теплообмен, гидрогазодинамику [1].

JMAG-Designer наиболее эффективен для 3D моделирования, обладает высокой скоростью и точностью решения задач, широкими настройками построения сетки.

COMSOL MULTIPHYSICS использует метод конечных элементов, обладает возможностями, схожими с ANSYS, и является инструментом пакета MATLAB, работающим под его управлением. Программа имеет архитектуру, обеспечивающую простоту и гибкость использования, содержит различные решатели [1].

В результате сравнительного анализа выбран пакет моделирования ELCUT, как обладающий возможностями, необходимыми для решения поставленной задачи. ELCUT - эффективная программа конечно-элементного анализа и расчёта полей, которая позволяет рассчитывать поля электрической, магнитной, тепловой природы, а также механические упругие напряжения и деформации [2].

В качестве моделируемого объекта используется гидроэлектрический преобразователь расхода с магнитожидкостным сенсором (ГЭПР с МЖС), схема которого приведена на рисунке 1.

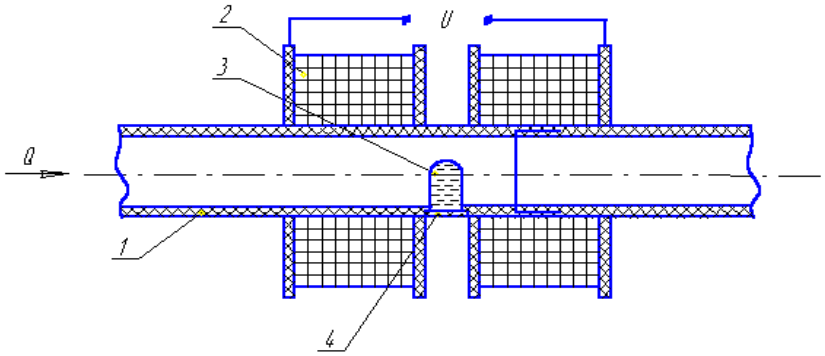


Рис. 1. Конструкция ГЭПР с МЖС: 1 – корпус; 2 – электромагнитные катушки; 3 – магнитожидкостный сенсор; 4 – крышка

ГЭПР - это разъемный корпус цилиндрической формы из оргстекла минимальной толщины. В корпусе преобразователя жестко крепится магнитожидкостный сенсор, представляющий собой тонкостенную оболочку из эластичной резины, заполненную магнитной жидкостью. На корпусе ГЭПР расположены катушки постоянного тока. Для соединения преобразователя с трубопроводом экспериментального стенда применяются переходники, выполненные из латуни [3].

Принцип действия гидроэлектрического преобразователя расхода основан на использовании закономерностей, определяющих зависимость энергии потока, а значит и его скорости, от физического состояния среды. Под действием напора рабочей жидкости под определенным давлением происходит смещение магнитной массы, фиксируемое индуктивным датчиком (магнитное поле катушек влияет на форму сердечника – тонкостенной оболочки, заполненной магнитной жидкостью). По диапазону смещения и деформации магнитожидкостного сенсора можно судить о расходе измеряемой жидкости. Магнитная жидкость (МЖ), заключенная в упругую оболочку, используемая в качестве чувствительного элемента конструкции, является динамически управляемым элементом, что обеспечивает достаточно высокое быстродействие ГЭПР [3].

При разработке математической модели ГЭПР решены задачи определения величины воздействия со стороны потока жидкости, набегающей на магнитожидкостный сенсор, и

взаимодействия механических сил с силами, действующими при приложении электромагнитного поля. Теоретической базой при исследовании физических явлений, происходящих в гидроэлектрическом преобразователе расхода, служат уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности потока, а также уравнения Максвелла, описывающие характер электромагнитного поля. Расчет параметров электромагнитного поля гидроэлектрического преобразователя показал, что наибольшая концентрация магнитной индукции находится в центре проточной части устройства. Магнитное поле на поверхности магнитожидкостного сенсора изменяется при наличии потока жидкости, то есть при отклонении сенсора от своего первоначального состояния.

Процесс моделирования электромагнитного поля в программном продукте ELCUT включает в себя ряд этапов: создание геометрической модели на базе технических параметров моделируемого объекта; задание начальных и граничных условий; построение конечно-элементной сетки с помощью встроенных функций программы. Решением задачи является картина поля, отражающая распределение вектора магнитной индукции.

Исследуемое устройство обладает как горизонтальной, так и вертикальной осевой симметрией, что дает право считать задачу моделирования параметров электромагнитного поля ГЭПР осесимметричной.

В результате моделирования ГЭПР получена картина поля двух катушек индуктивности, проточной части и МЖС в потоке жидкости, представленная на рисунке 2.

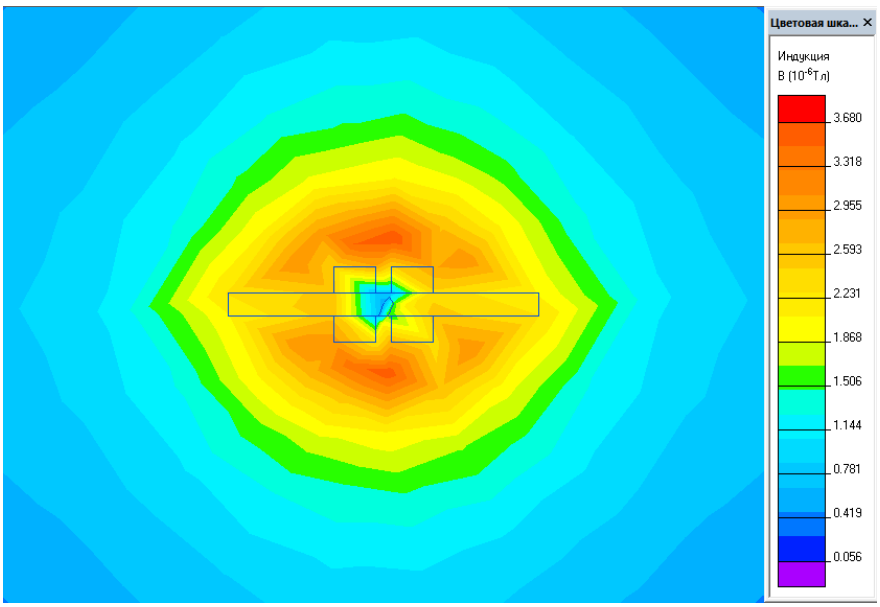


Рис.2. Картина поля катушек, проточной части и магнитожидкостного сенсора

При рассмотрения плоской задачи получена картина поля, позволяющая сделать вывод о повышенной концентрации вектора магнитной индукции в области катушек индуктивности и проточной части, а также слабого поля магнитожидкостного сенсора.

Моделирование электромагнитного поля на поверхности магнитожидкостного сенсора в среде ELCUT показало, что при максимальном смещении сенсора от первоначального положения происходит резкое возрастание магнитной индукции МЖС, что обуславливается наибольшей концентрацией магнитного поля в центре магнитожидкостного сенсора. Полученные результаты позволяют предположить, что для наиболее эффективного применения данного устройства и улучшения показателей его работы необходимо использовать магнитные жидкости, обладающие высокой магнитной проницаемостью.

Таким образом, было проведено моделирование гидроэлектрического преобразователя с магнитожидкостным сенсором в программном продукте ELCUT, проанализированы картины электромагнитного поля преобразователя при различных положениях сенсора и даны рекомендации по изменению конструкции расходомера, что позволит улучшить работу гидрофицированного оборудования в целом.

Литература:

1. Беззубцева М.М. Аналитический обзор пакетов прикладных программ для моделирования энергетических процессов потребительских энергосистем АПК / М.М Беззубцева, В.С. Волков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6-2. – С. 191-195

2. Elcut. Моделирование двухмерных полей методом конечных элементов. Версия 6 Руководство пользователя [Электронный ресурс]. / ООО «ТОР». – СПб: ООО «ТОР», 2013. — 259 с. Режим доступа: http://elcut.ru/demo/manual.pdf (дата обращения: 10.05.17)

3. Грицюк С.Н. Магнитожидкостный измеритель расхода диэлектрических жидкостей / С. Н. Грицюк // Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей. Сб. докладов 8 Междунар. науч. конф. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2006. – С.263-266.

УДК 004.382.7

Программная реализация лабораторного стенда для изучения микроконтроллеров

Грицюк Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»;
Самсонов Андрей Алексеевич, Симонов Виктор Васильевич,
студенты направления «Управление в технических системах»;
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет» МИФИ», г. Балаково

Микроконтроллеры (МК) находят применение в различных сферах деятельности, и приборы, построенные на их основе, являются высокоэффективными при решении широкого спектра задач. Устройства на базе микроконтроллеров конструктивно проще традиционных аналогов благодаря тому, что сложные аппаратные схемотехнические решения переносятся в плоскость программного кода, что открывает широкие возможности перед производителем технических устройств.

Среди компаний-разработчиков МК можно выделить Texas Instruments, Atmel, Microchip, STMicroelectronics. Микроконтроллеры различают по разрядности, типу и объёму памяти, потребляемой мощности, особенностям архитектуры, тактовой частоте, составу периферийных устройств. Архитектура современных МК содержит постоянную память для хранения программ и оперативную для хранения промежуточных результатов работы, имеется возможность программного управления режимами энергопотребления.

Проведен анализ современных микроконтроллеров и сделан вывод, что в образовательных целях целесообразно использовать восьмиразрядные МК, вследствие их доступности, легкопрограммируемости, что позволяет в полной мере изучить их архитектуру и способы программной реализации. Для настоящей задачи выбран восьмиразрядный микроконтроллер ATmega8A-PU.

Существуют различные интерфейсы для программирования микроконтроллеров.

Программирование при высоком напряжении требует большого числа выводов и дополнительный источник напряжения +12В, что приводит к усложнению конструкции программаторов. Однако высоковольтное программирование позволяет достигать наибольшей скорости записи и предоставляет максимальный доступ к ресурсам AVR.

Интерфейс JTAG используется в случае, когда программирование и отладка ведутся в одном цикле разработки.

Низковольтное последовательное программирование реализуется через аппаратный модуль SPI, что позволяет использовать минимальное количество выводов, а также изменять алгоритм работы устройств, расположенных на плате. Данный вид программирования также называют внутрисхемным программированием или ISP.

Программирование микроконтроллеров возможно на языке Assembler и на языке C. Assembler – язык низкого уровня, для написания программы требуется знание системы команд и архитектуры микроконтроллера. Преимущества Assembler’а заметны при необходимости программирования микроконтроллеров с ограниченными ресурсами, например, с малым объёмом памяти. В случае сложных программ или при работе с тридцатидвухразрядными МК предпочтительнее использовать языки высокого уровня, что значительно упрощает написание кода и улучшает его читаемость.

Язык программирования С – язык высокого уровня, являющийся основным для программирования микроконтроллеров, что обусловлено большим количеством библиотек и программных средств. Недостатком является то, что программы, написанные на С, имеют достаточно большой объём.

Возможно использование и других языков программирования, таких как Pascal, Basic, а также визуальных языков FlowCODE и Scratch. В рамках реализуемой задачи был выбран язык высокого уровня С.

Разработка программ для микроконтроллеров производится с помощью специализированных сред разработки, которые включают в себя компилятор/интерпретатор, отладчик и текстовый редактор. Такие среды разработки принято называть IDE (integrated development environment).

Проведён анализ сред программирования для микроконтроллера ATmega8A-PU (таблица 1). Для реализуемой задачи выбрана среда Atmel Studio 7 от компании Microchip.

Таблица 1

Сравнительный анализ сред разработки

Наименование	Производитель	Языки программирования	Ограничение бесплатной версии	Описание
Atmel Studio 7	Atmel/Microchip	C/C++, Assembler	Нет	Бесплатная профессиональная IDE, предназначенная для работы с линейкой микроконтроллеров AVR
WinAVR	Open Source	C/C++	Нет	Бесплатная открытая IDE. В настоящее время устарела и большая часть наработок используется в Atmel Studio
CodeVisionAVR	HP Infotech	C	Ограничение размера кода программы до 3 Кб	Коммерческая IDE с встроенным мастером автоматической генерации программы
IAR Embedded Workbench	IAR Systems	C/C++	30-дневная пробная версия. Ограничение размера кода программы до 4 Кб	Высококачественная коммерческая профессиональная IDE

Программирование микроконтроллера проводится в рамках работы с лабораторным стендом по изучению восьмиразрядных микроконтроллеров.

В качестве примера представлена программа, демонстрирующая подключение периферии (в данном случае диодов) к трём портам микроконтроллера A, B, C. Диоды загораются в «случайном» порядке и со «случайной» задержкой.

Программа имеет вид:

```
1. //Atmega8A Зажигаем светодиоды в случайном порядке
2. #define F_CPU 8000000
3. #include <avr/io.h>
4. #include <util/delay.h>
5. #include <stdlib.h>
6. //Настраеваем порты B, C, D на выход. По умолчанию значения на портах - 0.
7. void preset() {
8.     DDRB = 0xFF;
9.     PORTB = 0x00;
10.    DDRC = 0xFF;
11.    PORTC = 0x00;
12.    DDRD = 0xFF;
13.    PORTD = 0x00;
14. }
15.
16. // Подача сигнала на "случайный" порт с задержкой
17. void led_on_off(int num_port, int delay) {
18.     switch(num_port) {
19.         case 1:
20.         PORTB = 0xFF;
21.         break;
22.         case 2:
23.         PORTC = 0xFF;
24.         break;
25.         case 3:
26.         PORTD = 0xFF;
27.         break;
28.     }
29.     switch(delay){
30.         case 1:
31.         _delay_ms(1000);
32.         break;
33.         case 2:
34.         _delay_ms(2000);
35.         break;
36.         case 3:
37.         _delay_ms(3000);
38.         break;
39.         case 4:
40.         _delay_ms(500);
41.         break;
42.     }
43. }
44.
45. int main(void) {
46.     preset();
47.     while (1) {
48.         int port_num = rand()%3+1; //Выбор "случайного" порта
49.         int delay_num = rand()%4+1; //Выбор "случайной" задержки
50.         led_on_off(port_num, delay_num);
51.         PORTB = 0x00; //Убираем сигнал с портов
52.         PORTC = 0x00;
53.         PORTD = 0x00;
54.         _delay_ms(1000);
55.     }
56. }
```

Схема подключения периферийных устройств выполнена в пакете программ для автоматизированного проектирования Proteus Design Suit (рисунок 1).

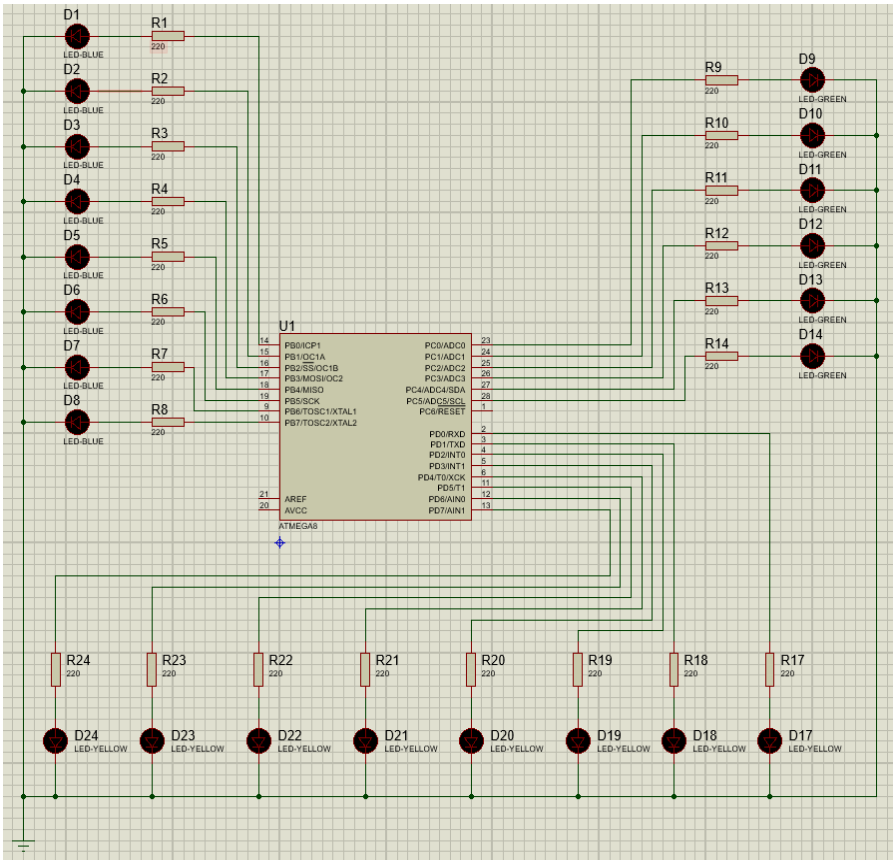


Рис.1. Схема подключения диодов к портам A, B, C микроконтроллера ATmega8A-PU

Литература:

1. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. / Р. Болл Стюарт. - М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2010.

2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel / А.В. Евстифеев. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2013.

3. Керниган Б. Язык программирования Си. / Б. Керниган, Д. Ритчи. - Пер. с англ., 3-е изд., испр. - СПб.: «Невский Диалект», 2008.

УДК 681.53

Учебный лабораторный стенд для изучения микроконтроллеров

Грицюк Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и управление в технических системах»;
Симонов Виктор Васильевич, Самсонов Андрей Алексеевич студенты направления «Управление в технических системах»;
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет» МИФИ», г. Балаково.

Немаловажным в процессе вузовской подготовки специалистов высокого уровня является отработка практических навыков на лабораторном оборудовании, отвечающем современным требованиям. Анализ существующих учебных лабораторных стендов для изучения микроконтроллеров позволил выделить некоторые модели:

- стенд «Микроконтроллерные системы», выпускаемый компанией Флагман ПРО, позволяющий изучать принципы работы микроконтроллера Atmega16A фирмы AVR. В качестве периферийных устройств могут использоваться жидкокристаллический дисплей, семисегментный индикатор, матричная клавиатура, фильтры низких частот, потенциометр, электродвигатель и другие устройства. Программирование осуществляется через USB порт с персонального компьютера;

- комплект учебно-лабораторного оборудования «Изучение микроконтроллеров и периферийных устройств», состоящий из модуля периферийных устройств и четырех модулей микроконтроллера. Помимо обширного набора периферийных устройств стенд комплектуется динамиками и датчиками (датчик освещенности, датчик температуры и другие), что позволяет говорить об универсальности данной модели;

- портативный комплекс с микроконтроллерами, внешний вид которого представлен на рисунке 1. Модель SCM DLDP-SX1 представляет собой полностью законченную лабораторную установку, не требующую дополнительных соединений элементов либо монтажа. Стенд содержит периферийные устройства и позволяет выполнять достаточно большое количество лабораторных работ. Недостатком является невозможность замены микроконтроллера, что делает стенд менее универсальным.

Анализ представленных устройств позволяет сделать вывод, что для изучения микроконтроллеров необходима разработка универсального стенда с возможностью замены микроконтроллера и изучением различных способов подключения периферийных устройств.

Рис.1.Портативный комплекс SCM DLDP-SX1

Основой разрабатываемого учебного лабораторного стенда выбран 8-разрядный микроконтроллер фирмы AVR ATmega8A, вычислительная система которого строится по гарвардской архитектуре, имеет сокращенный набор команд (RISC-архитектура) и содержит универсальный набор выполняемых функций [1].

Разработана функциональная схема лабораторного стенда (рисунок 2).

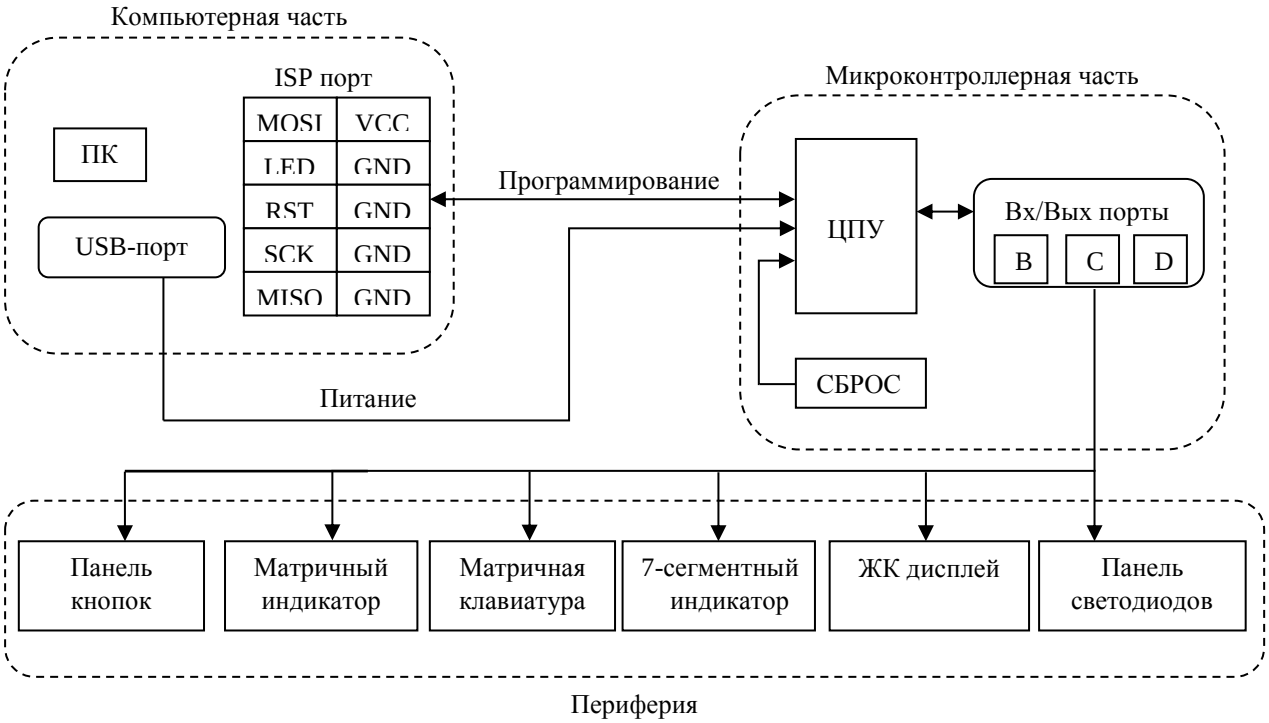


Рис.2.Функциональная схема лабораторного стенда

Стенд состоит из трех основных модулей: микроконтроллерной части, компьютерной части и блока периферийных устройств. В качестве периферийных устройств используются

жидкокристаллический дисплей, матричный и семисегментный индикатор, матричная клавиатура, кнопки, светодиоды.

Основная плата микроконтроллера включает 28-контактную DIP панель с нулевым усилием для монтажа микроконтроллера, гнездо USB A для подачи питания на плату, линейку PIN контактов для подачи питания на дополнительные устройства управления периферией, выключатель, кнопку для осуществления сброса микроконтроллера, кварцевый резонатор, светодиоды для сигнализации подачи питания на микроконтроллер и включения режима программирования, ISP-порт для соединения основной платы с программатором с помощью шлейфа; а также набор резисторов и конденсаторов. Схема основной платы микроконтроллера представлена на рисунке 3.

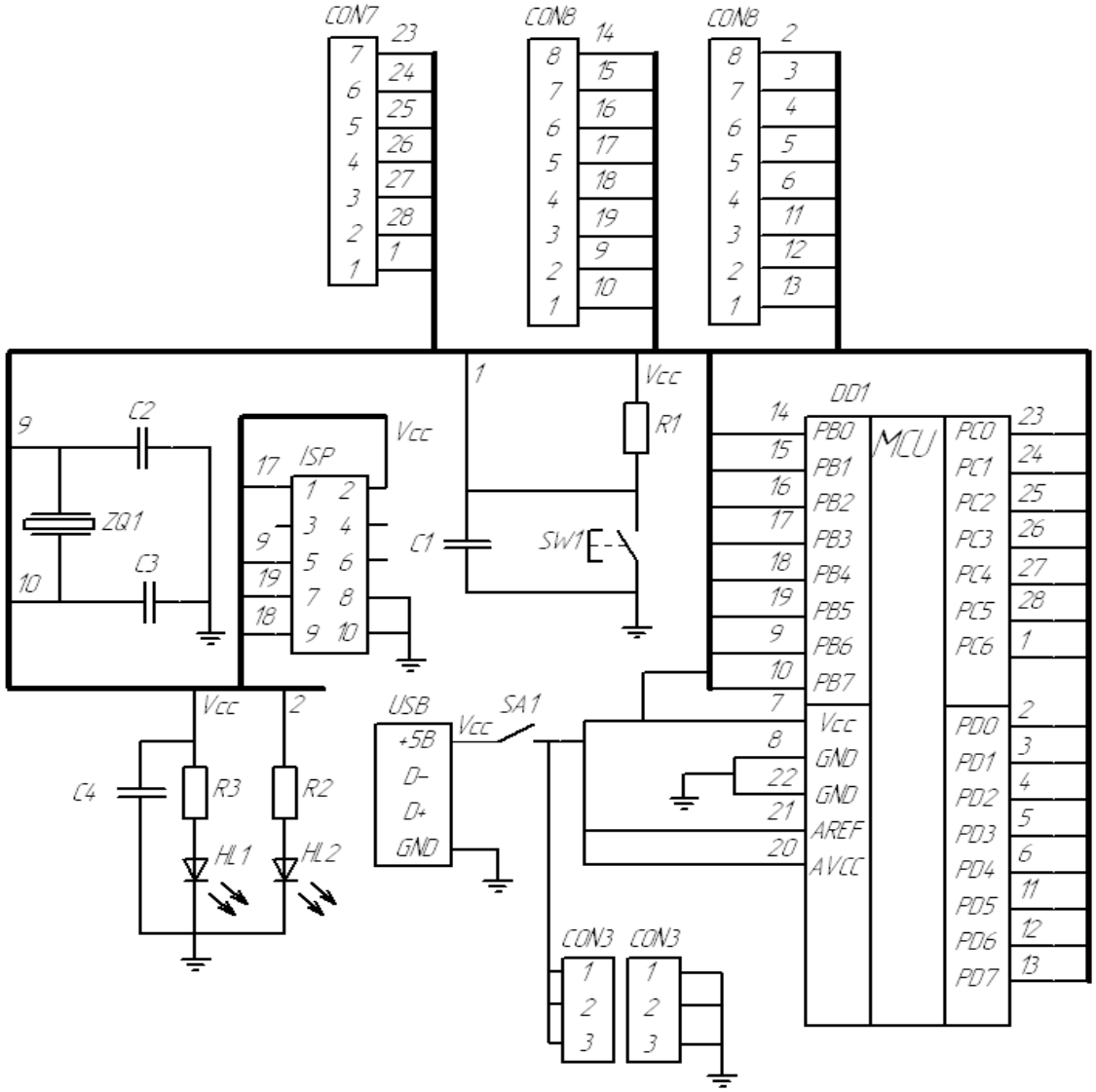


Рис. 3. Схема основной платы микроконтроллера

Питание микроконтроллера и основной платы осуществляется через USB-порт. Плата микроконтроллера снабжена кварцевым резонатором на 8 МГц, осуществляющим задание тактовых импульсов. В плату встроена дополнительная кнопка сброса микроконтроллера

SW1, которая позволяет осуществлять останов и удаление программы из микроконтроллера без отключения питания. Светодиоды отображают информацию о подаче питания на схему основной платы, а также об активации режима программирования микроконтроллера [2].

Микроконтроллер ATmega8A имеет 3 порта входа/выхода (B, C, D), каждый из которых состоит из портов GPIO (general purpose input output – универсальный вход/выход), что позволяет организовать взаимосвязь между модулями стенда и управление периферийными устройствами. Для портов B и D число портов GPIO равняется восьми, а для порта C – семи. Каждый из выводов микроконтроллера может программироваться под определенную задачу. С компьютерной частью микроконтроллер соединен посредством линий программирования и питания, подключаемых к «своему» порту [1].

Программирование микроконтроллера осуществляется при помощи USB программатора. Соединение программатора и МК производится через ISP порт (порт внутрисхемного программирования), подключенный к плате программатора и состоящий из десяти портов.

Соединение основной платы и периферийных устройств осуществляется через PIN выходы, подключенные непосредственно к портам микроконтроллера, на схеме обозначены как CON7 и CON8 [3].

Таким образом, учебный стенд позволит ознакомиться будущим специалистам с принципами программирования микроконтроллера, подключения к нему периферийных устройств ввода и вывода информации, а также создавать аналоги реально существующих систем.

Литература:

1. Белов А.В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR. / Белов А.В. – М.: Наука и техника, 2013.

2. Васильев А.Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений. / А.Е. Васильев. – СПб.: БХВ - Петербург, 2012.

3. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. /Пер. с англ. / Дж. Мортон. - М.: ДМК Пресс, 2015.

4. Шагурин И.И. Микроконтроллеры и их применение в электронной аппаратуре: учебное пособие / И.И. Шагурин, М.О. Мокрецов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013.

УДК 62-52

Расчет надежности участка автоматизированной системы технического учета электроэнергии предприятия

Ефремова Т.А. кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах;
Давыдов Р.М. студент направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

АСТУЭ – автоматизированная система технического учета электроэнергии предназначена для осуществления автоматизированного технического (контрольного) учета генерации и потребления электрической энергии и мощности. АСТУЭ обеспечивает определение и прогнозирование составляющих баланса электроэнергии, выполняет расчетные задачи, обеспечивает хранение, документирование, вывод информации для отображения, подготовку, формирование и передачу отчетных данных в автоматизированное рабочее место пользователя (АРМ) [5].

Основные принципы функционирования АСТУЭ:

- исходной информацией для системы служат данные, получаемые от многофункциональных микропроцессорных счетчиков электрической энергии по цифровому интерфейсу RS-485;

- сбор, обработка, накопление, хранение, отображение и передача информации об электроэнергии и мощности производится с помощью сертифицированной и защищенной от несанкционированного доступа автоматизированной информационно-измерительной системы;

- информация об учете электроэнергии и мощности формируется системой с метками единого календарного времени, что обеспечивает единые временные срезы измеряемых и вычисляемых данных;

- АСТУЭ функционирует, как отдельный самостоятельный комплекс, защищенный от несанкционированного доступа [5].

Объектом автоматизации является система технического учета электроэнергии распределительной подстанции 10 кВ (РП-10 кВ) металлургического завода. Распределительные подстанции РП-10 кВ используются с целью распределения электроснабжения основных и вспомогательных цехов завода.

На этапе проектирования АСТУЭ расчет надежности производится с целью прогнозирования ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для обоснования предполагаемого проекта, а также для выбора оптимального варианта структуры системы, выбора способа резервирования оборудования, выявления глубины и методов контроля параметров системы, определения количества запасных элементов, а также определения периодичности проведения профилактических работ. Актуальность расчета надежности АСТУЭ объясняется тем, что он дает ответ на вопрос о целесообразности затрат на ввод в эксплуатацию или модернизацию рассматриваемой автоматизированной системы, или ее участка [2].

Требования по надежности предъявляемые к АСТУЭ: коэффициент готовности ИВК не менее 0,99; коэффициент готовности СОЕВ не менее 0,95; коэффициент готовности каналов передачи данных не менее 0,95, время наработки на отказ счетчиков электроэнергии не менее 35 000 часов.

В работе проводится расчет надежности участка АСТУЭ металлургического завода. Металлургия на сегодняшний момент является одной из ключевых, динамично развивающихся отраслей национальной промышленности, является одним из нескольких направлений инновационного развития.

На рисунке 1 отображена схема передачи информации АСТУЭ, включающая в себя приборы учета электроэнергии и шкаф сбора передачи данных (ШСПД), который содержит асинхронный сервер COM портов, GSM/GPRS коммуникатор, сервер АСТУЭ, NTP сервер синхронизации времени (СОЕВ).

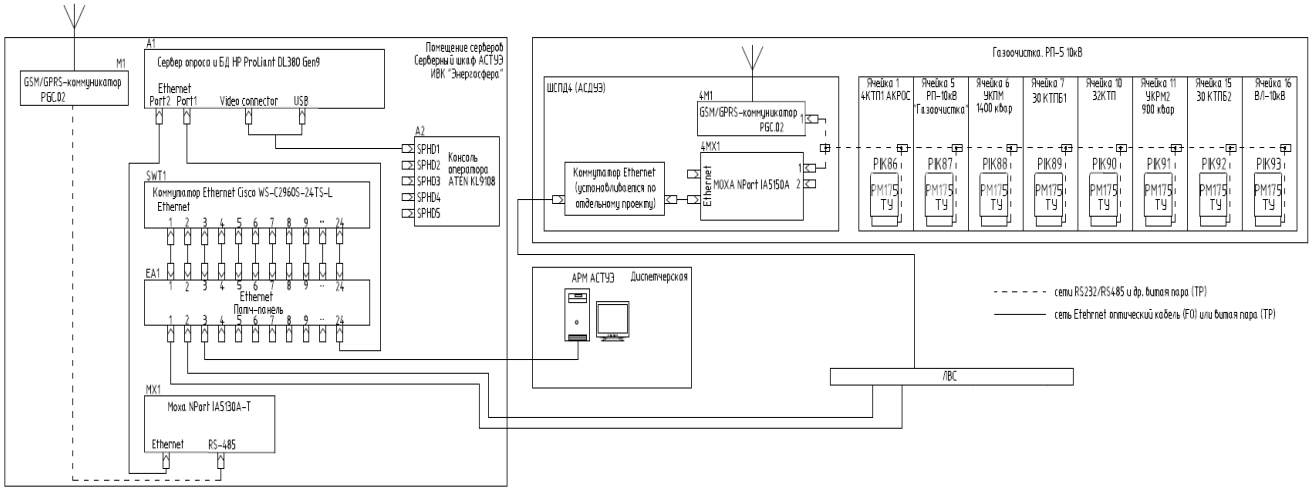


Рис. 1. Схема передачи информации от нижнего уровня к верхнему уровню АСТУЭ

Для расчета выбран участок автоматизированной системы технического учета электроэнергии в состав которой входят элементы, представленные в таблице 1.

Информационно-вычислительный комплекс (ИВК) с точки зрения надежности рассматривается как последовательная цепочка входящих в него элементов. В состав ИВК входят сервер АСТУЭ, коммутатор Cisco WS-C2960S-24TS-L, коммуникатор PGC и сервер последовательных портов NPort.

К показателям надежности при проектировании автоматизированных систем предъявляется ряд требований. При этом показатели должны соответствовать следующим значениям время наработки на отказ счетчиков электроэнергии должно быть не менее 35000 часов, время восстановления счетчиков электроэнергии не более 72 часов, время восстановления ИВК не более 1 часа, время восстановления СОЕВ не более 1 часа, коэффициент готовности ИВК не менее 0,99, коэффициент готовности СОЕВ не менее 0,95, коэффициент готовности каналов передачи данных не менее 0,95.

Таблица 1

Аппаратная часть участка АСТУЭ

№ п/п	Наименование оборудования, материала	Тип марка	Время наработки на отказ То, час	Кол-во	Время восстановления Тв, час	Интенсивность отказов λ, 1/ч
1	GSM/GPRS коммуникатор	PGC.02	76000	2 шт	1	$13{,}158 \cdot 10^{-6}$
2	Прибор учета электроэнергии	PM175	160000	8	72	$6{,}25 \cdot 10^{-6}$
3	Сервер COM-портов MOXA	NPortIA 5250A	262805	2 шт.	1	$3{,}805 \cdot 10^{-6}$
4	Сервер АСТУЭ	HP ProLiant DL380p Gen9	160165	1 шт	72	$6{,}244 \cdot 10^{-6}$
5	NTP сервер синхронизации времени (СОЕВ)	Метроном-300	100000	1 шт.	72	$10 \cdot 10^{-6}$
6	Коммутатор	Cisco WS-C2960S-24TS-L	349824	1 шт	1	$2{,}859 \cdot 10^{-6}$
7	Коммутатор	RSG2100	198416	1 шт.	1	$5{,}040 \cdot 10^{-6}$

Наиболее универсальной количественной характеристикой надежности для восстанавливаемых систем является коэффициент готовности $К_г$. Он характеризует соотношение времени работоспособного состояния систем и времени ее простоев [3].

Коэффициент готовности рассчитывается по выражению:

$$К_г = \frac{Т_о}{Т_о + Т_в}, \quad (1)$$

где То-время наработки на отказ; Тв- время восстановления.

По результатам расчетов получено, что коэффициент готовности СОЕВ 0,99928, коэффициент готовности ИВК 0,999974.

Основные каналы связи в АСТУЭ измерительно-информационного комплекса с информационно-вычислительным комплексом организованы по интерфейсу RS-485 использованием проводных линий связи типа «витая пара» и в среде Ethernet по волоконно-оптической линии связи с использованием преобразователей RS-485/Ethernet и коммутаторов Ethernet.

Резервные каналы связи организованы по интерфейсу RS-485 с использованием проводных линий связи типа «витая пара» и по сети сотовой связи с использованием GSM/GPRS коммуникаторов.

Для расчета коэффициента готовности канала связи «ИИК - ИВК» учитываются возможные отказы участвующего в передаче данных оборудования: счетчика электроэнергии, преобразователей RS-485/Ethernet, коммутаторов Ethernet, сервера баз данных [3].

Исходные данные для расчета надежности каналов связи представлены в таблице 1.

Суммарная интенсивность отказов канала "ИИК-ИВК" по ВОЛС рассчитывается как сумма интенсивностей отказов элементов канала:

$$\lambda_{ИИК-ИВК} = \lambda_{Сч} + \lambda_{NPort} + \lambda_{RSG} + \lambda_{Cisco} + \lambda_{Серв} \quad (2)$$

где $\lambda_{Сч}$ - интенсивность отказов счетчика электроэнергии; λ_{NPort}- интенсивность отказов сервера COM-портов MOXA; λ_{RSG} - интенсивность отказов коммутатора RSG1200; λ_{Cisco} - интенсивность отказов коммутатора Cisco; $\lambda_{Серв}$ - интенсивность отказов сервера АСТУЭ.

Подставив значения интенсивности отказов элементов в выражение (2), получим интенсивность отказов канала связи организованного по ВОЛС $\lambda_{ИИК-ИВК} = 24{,}198 \cdot 10^{-6}$ $с^{-1}$. Согласно расчетам, средняя наработка на отказ канала связи составит $Т_о$ =41 325 ч, при этом время восстановления $Т_в = 24$ ч. Коэффициент готовности канала передачи данных «ИИК – ИВК» по ВОЛС составляет 0,99941.

Проведем расчет канала «ИИК – ИВК» по сети GSM.

Суммарная интенсивность отказов канала рассчитывается как сумма интенсивностей отказов элементов канала:

$$\lambda_{\text{ИИК}-\text{ИВК}} = \lambda_{\text{Сч}} + 2 \cdot \lambda_{\text{NPort}} + 2 \cdot \lambda_{\text{PGC}} + \lambda_{\text{Cisco}} + \lambda_{\text{Серв}} \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{Сч}}$-интенсивность отказов счетчика электроэнергии; λ_{NPort} - интенсивность отказов сервера COM-портов MOXA; λ_{PGC} - интенсивность отказов GSM/GPRS коммуникатор; λ_{Cisco} - интенсивность отказов коммутатора Cisco; $\lambda_{\text{Серв}}$ - интенсивность отказов сервера АСТУЭ.

Подставив значения интенсивности отказов элементов в выражение (3), получим интенсивность отказов канала связи организованного по сети GSM $\lambda_{\text{ИИК}-\text{ИВК}} = 49{,}279 \cdot 10^{-6}$ c^{-1}

Средняя наработка на отказ T_o =20292 ч, время восстановления $T_в = 24$ ч, коэффициент готовности канала передачи данных «ИИК – ИВК» по сети GSM 0,99881.

Как показали расчеты, рассчитанные показатели надежности участка АСТУЭ соответствуют требованиям, предъявляемым при проектировании АСТУЭ.

Литература:

1. Костогрызов А.И., Петухов А.В., Щербина А.М. Основы оценки, обеспечения и повышения качества выходной информации в АСУ организационного типа. М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1994.

2. Липаев В.В. Сертификация информационных технологий программных средств и баз данных. Казань, 1995.

3. Чуканов В.О., Надежность программного обеспечения и аппаратных средств систем передачи данных атомных электростанций. Москва, 2008.

4. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: Сов. радио, 1962.

5. http://enargys.ru/astue-obshhie-polozheniya-primenenie-sistemyi/

УДК 681.5

Модернизация системы автоматического управления маслоснабжением гидроагрегата Саратовской ГЭС

Ефремова Т.А. кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Жарёнова И.С. студентка направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Маслонапорная установка (МНУ) состоит из гидроаккумулятора давления и маслонасосного агрегата, которые соединяются между собой гидравлической системой, напорным трубопроводом, и аппаратуры автоматики. Рабочей средой служит масло Тп-30. В данном случае маслонапорная установка комплектуется также маслоохладительной установкой. На рисунке 1 представлена функциональная схема маслонапорной установки.

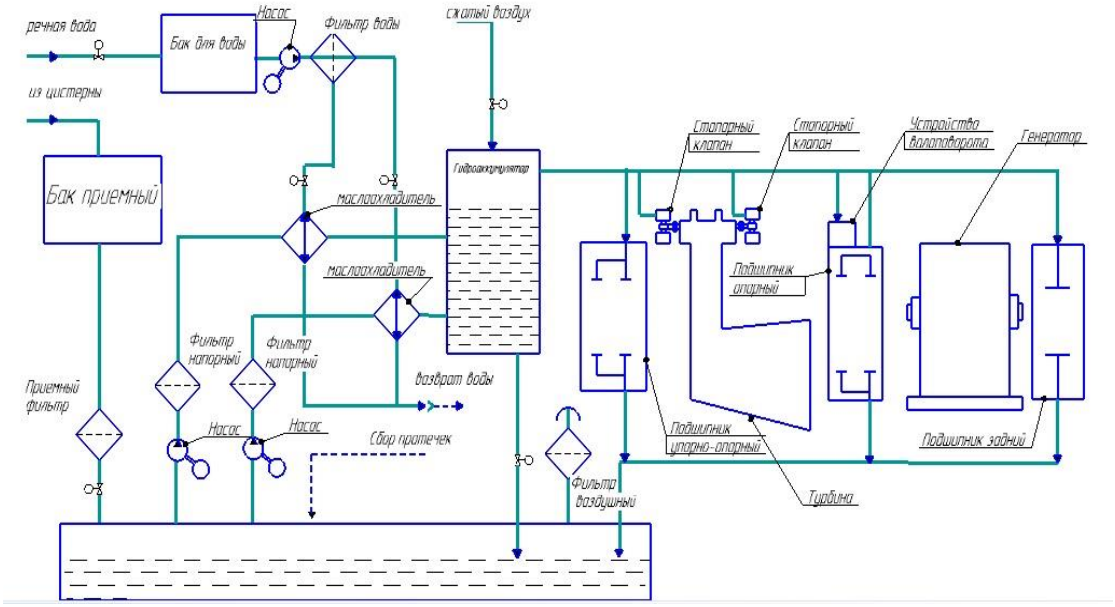


Рис. 1. Функциональная схема маслонапорной установки

В автоматическом режиме управление работой насосов осуществляется от датчика давления гидроаккумулятора. Гидроаккумулятор – масловоздушная емкость, наполненная маслом и сжатым воздухом. Гидроаккумулятор содержит требуемый для регулирования объем масла, остальная часть аккумулятора наполнена сжатым воздухом. Воздух играет роль аккумулирующей среды и в сжатом состоянии содержит запас энергии, которая обеспечивает работоспособность механизмов гидросистемы. В результате расхода масла на управление гидротурбиной или в результате утечек масла в системе давление в

гидроаккумуляторе понижается. По достижении заданной величины датчик давления дает команду на включение одного из насосов. При высоком уровне расхода масла происходит дальнейшее снижение давления, датчик давления включает второй насос. Одномоментно с включением насоса передается сигнал на закрытие перепускного клапана. В то же время происходит разгрузка насоса с помощью перепускного клапана, что создает подходящие условия для пуска электродвигателя насоса. По наступлении в гидроаккумуляторе номинального давления перепускные клапаны открываются и затем отключаются электродвигатели насосов.

В режиме постоянной работы воздух из гидроаккумулятора непрерывно расходуется из-за утечек через негерметичности соединений в воздушной части гидроаккумулятора, и по причине растворения в масле. В целях восполнения утечек воздуха на масловоздушный сосуд гидроаккумулятора установлен поплавковый регулятор уровня, при каждом отклонении уровня масла в гидроаккумуляторе от номинального впускающий порцию сжатого воздуха из ресивера ГЭС.

В случае отклонения от нормы номинальных параметров давления, уровня или температуры, функционирующие на маслонапорной установке датчики передают соответствующие сигналы. В случае аварийного снижения давления или уровня масла в гидроаккумуляторе соответствующие датчики подают команду на аварийную остановку гидроагрегата. При снижении уровня масла в сливном баке до уровня препятствующего нормальному функционированию насосов, датчик уровня масла выключает электродвигатели насосов. Отработанное масло из системы поступает в сливной бак.

Сливной бак – металлическая цельная сварная конструкция с ребрами жесткости внутри, имеющая специальный люк для очистки. Насосная установка представляет собой шестеренный насос с производительностью 8,5 л/мин, приводящийся во вращение двигателем переменного тока с частотой вращения 1410 об/мин. При помощи этих насосов масло подается на маслоохладитель через напорные фильтры, охлаждается за счет пропущенной через фильтры речной воды до нужной температуры в 45˚С и поступает в гидроаккумулятор. Из гидр аккумулятора масло поступает на турбину, подшипник опорный, упорно-опорный, задний, и после использования возвращается в сливной бак. Таким же образом в сливной бак собираются все утечки масла. Уровень в баке поддерживается добавлением масла из цистерны, которое хранится в приемном баке и проходит через приемный фильтр.

Для связи с атмосферой и наполнения сливного бака на его крышке установлен воздушный фильтр с заливочной сеткой. Предупредительная сигнализация о засорении фильтров выведена на пульт управления.

Все механизмы и устройства маслонапорной установки расположены на крышке бака. Для визуального и автоматического контроля уровня масла на торцевой поверхности бака имеется реле уровня масла и датчик уровня.

Таблица 1

Основные характеристики маслонапорной установки

Номинальное давление	12,0 МПа
Максимальное давление	16,0 МПа
Номинальное давление в гидроаккумуляторе	9,0 МПа
Объем сливного бака,	200 л
Объем гидроаккумулятора	0,02 $м^3$
Рабочая жидкость, масло	Индустриальное ИГП-30
Температура рабочей жидкости	10-50°С
Тип основного насоса	шестеренный
Объемная подача основного насоса	не менее 8,5 л/мин
Двигатель основного насоса: - тип - число фаз - частота вращения, мин-1 - напряжение, В - ток - мощность, кВт	 АИР 3 1410 380 переменный 3,0

Давление масла, подаваемого к агрегату, напрямую зависит от подачи сжатого воздуха в гидроаккумулятор.

Чтобы обозначить группу элементов, о которых зависит оптимальное давление сжатого воздуха, рассмотрим функциональную схему процесса воздухоподготовки (рис.2).

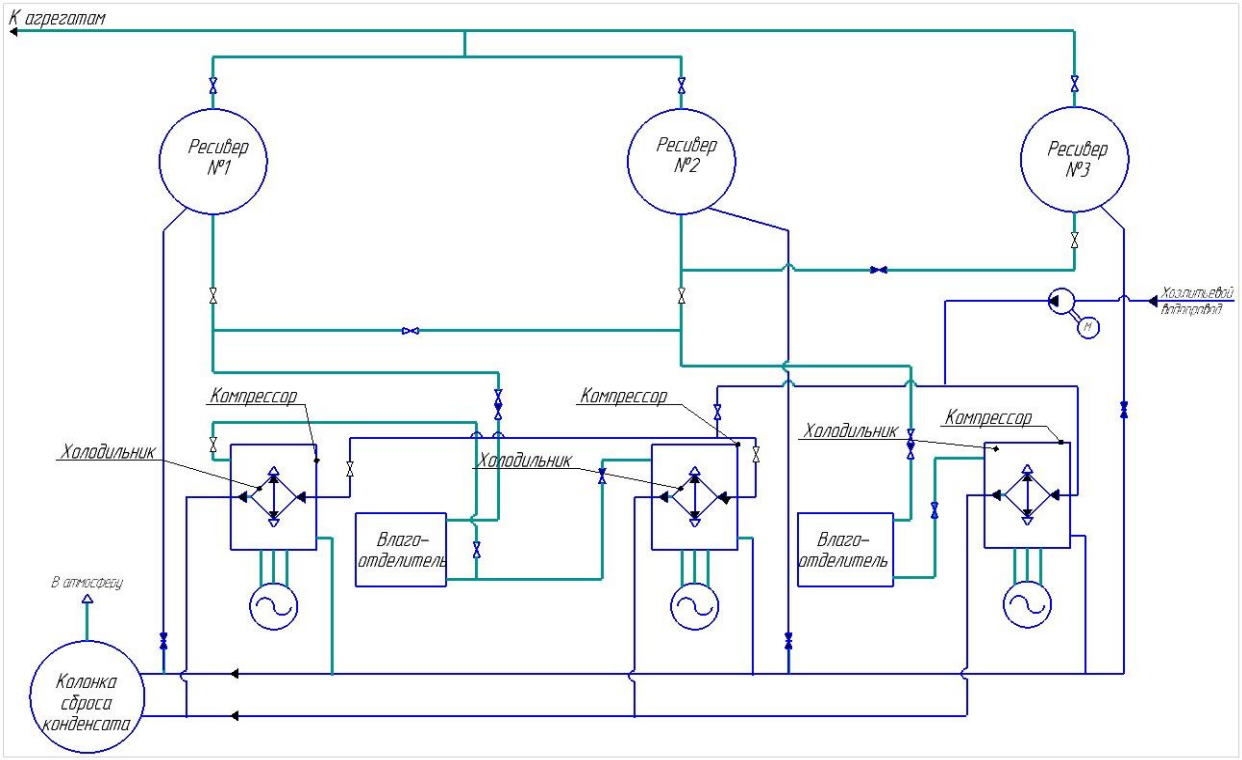


Рис. 2. Функциональная схема процесса воздухоподготовки

Давление сжатого воздуха, а, следовательно, и давление масла, подаваемого к гидроагрегату напрямую, зависит от надежности и выходных характеристик компрессора.

Первым этапом в проведении модернизации является изучение классификации компрессоров, их характеристик, подбор наиболее рациональной модели. Далее будет проведен расчет характеристик модернизированного оборудования

Прогнозируемые результаты модернизации: повышение качества сжатого воздуха (т.е. отсутствие в нем посторонних механических твердых частиц, влаги и масла), исключение возможности попадания масла в воду. Также модернизация позволит существенно снизить затраты на эксплуатацию оборудования, снизит расход электроэнергии на работу компрессоров.

Литература:

1. Бурдин Е. А. Волжский каскад ГЭС: триумф и трагедия России. — М.: РОССПЭН, 2011. — 398 с

2. Гидроэлектростанции России. — М.: Типография Института Гидропроект, 1998. — 467 с.

3. Технологический регламент по наладке и эксплуатации маслонапорной установки. М.: Энергоиздат.1992г.

4. Технологический регламент по наладке и эксплуатации компрессоров гидроэлектростанции. Москва. Энергоиздат 1992г.

УДК 681.5

Автоматизированный контроль качества деталей с применением гидроструйно-акустического метода

Захарченко М.Ю., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматизация, управление, мехатроника»
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Ультразвуковой контроль деталей различного назначения широко используется в промышленности и на транспорте [1-3]. Результаты исследований позволили установить основные особенности выявления дефектов, например, трещин в материале деталей различных технических устройств. В современных условиях необходимо осуществлять автоматизированный ультразвуковой (УЗ) контроль деталей, причем к нему предъявляются высокие требования по точности и достоверности, так это определяет эксплуатационную надежность изделий и систем, в состав которых входят контролируемые детали.

В настоящее время УЗ контроль применяется в основном для проверки проката, труб, прутков, лент из металла и пластмассы, причем для этого используются достаточно узкоспециализированные устройства.

В то же время имеется потребность в высокоэффективном УЗ контроле ответственных деталей для машиностроения, в частности, для деталей подшипников (колец). Кольца подшипников контролируются магнитопорошковым или вихретоковым методами [4, 5], однако они позволяют выявить дефекты только в поверхностном слое дорожек качения. Известные методы УЗ контроля требуют при изменениях хорошего контакта между излучателем и поверхностью объекта контроля, что не всегда приемлемо [6]. В связи с этим в ряде случаев контроля деталей сложной формы осуществлять УЗ контроль через струю жидкости [7].

На рисунке отражена функциональная схема автоматизированной системы бесконтактного контроля материала (АСБК-М), позволяющая выделять дефекты в материале объекта.

Построение АСБК-М (рис.1) основано на методах измерения времени распространения УЗ импульса между источником и исследуемым объектом. Расположенный в струйном акустическом чувствительном элементе (САЧЭ) пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) подключается к источнику радиоимпульсов (ГИ) и приемно-усилительному тракту (ПУТ) через цифровой коммутатор. ГИ возбуждает ПЭП, осуществляя прецизионное управление амплитудой УЗ импульсов. ПУТ обеспечивает усиление

информационного сигнала. Для компенсации ослабления УЗ сигнала в акустическом канале используется программируемая временная регулировка усиления (ВРУ). Усиленный сигнал оцифровывается блоком АЦП, из которого поступает в систему автоматической сигнализации дефектов (АСД), работающей в трех временных зонах контроля. АСД содержит блоки оперативной памяти (ОП) и блоки анализа амплитуды и фазы информационного сигнала. Блок из двух САЧЭ позволяет использовать акустические методы контроля: «эхо», «на проход», «теневой», «зеркально-теневой», с применением продольной, поперечной, нормальной или поверхностной УЗ волн. Для регистрации небольших дефектов и уменьшения дифракционного рассеяния УЗ волн между ПЭП (1) и соплом (2) размещена акустическая линза. Её фокус регулируется путем изменения кривизны преломляющей поверхности (3) за счет изменения объема заполняющей линзу жидкости (4) с помощью поршневой системы (5). Периодичность передачи информации определяется временем распространения УЗ импульсов в акустическом канале и временем релаксации паразитных сигналов. УЗ импульсы пропускаются через вращающуюся деталь в различных направлениях, поэтому обработку пространственного распределения амплитудно-фазовых параметров информационных сигналов можно проводить когерентными методами. Процессор осуществляет построение цифровых А- и В-разверток, а по ним – С-разверток. Теоретически и экспериментально доказано, что по ним можно определять размеры дефектов до 0,1 мм^2, а их местоположение – с точностью 5…25 мкм, что позволяет классифицировать дефекты на критические, значительные и малозначительные. Линейные размеры можно контролировать с точностью 3…10 мкм при длительности УЗ импульсов 0,005…0,025 мкс и с точностью 10…25 мкм при длительности 0,03…0,5 мкс.

Построение автоматизированной системы бесконтактного контроля размера (АСБК-Р) (рисунок) основано на противофазной интерференции двух пачек из 100…150 УЗ импульсов длительностью 25…35 нс, движущихся в одном направлении в оптически активной жидкой среде (4). Излученная через протектор ПЭП (1) первая пачка импульсов должна в момент проведения измерений N раз (N = 1…5) отразиться от поверхностей заготовки (7) и протектора ПЭП, пройдя $2N$ раз через жидкость (4) и проточную жидкость (6), включая струю (8). Вторая пачка импульсов должна излучиться через протектор в момент N-го отражения от него первой пачки импульсов. Прецизионное управление амплитудой и моментом излучения УЗ импульсов из ПЭП (1) обеспечивает условие, когда амплитуды импульсов первой и второй пачки равны, но в противофазе. Тогда если они движутся по одной траектории, то будут подавлять друг друга. Но, если их траектории пространственно разнесены, то подавление будет частичным. Жесткие требования к пространственному совмещению интерферирующих УЗ пучков устраняются, а процесс их интерференции можно

регистрировать при использовании акустооптической системы, формирующей оптические образы амплитудно-фазовых характеристик УЗ пучков. В данной системе два ленточных пучка монохроматического когерентного света равной интенсивности, генерируемые полупроводниковыми лазерами, пропускаются через жидкость (4) по двум акустооптическим каналам (на рисунке показан один канал (9) с источником света (10)). Эти каналы расположены в одной плоскости перпендикулярно друг другу, а также перпендикулярно оси линзы (3).

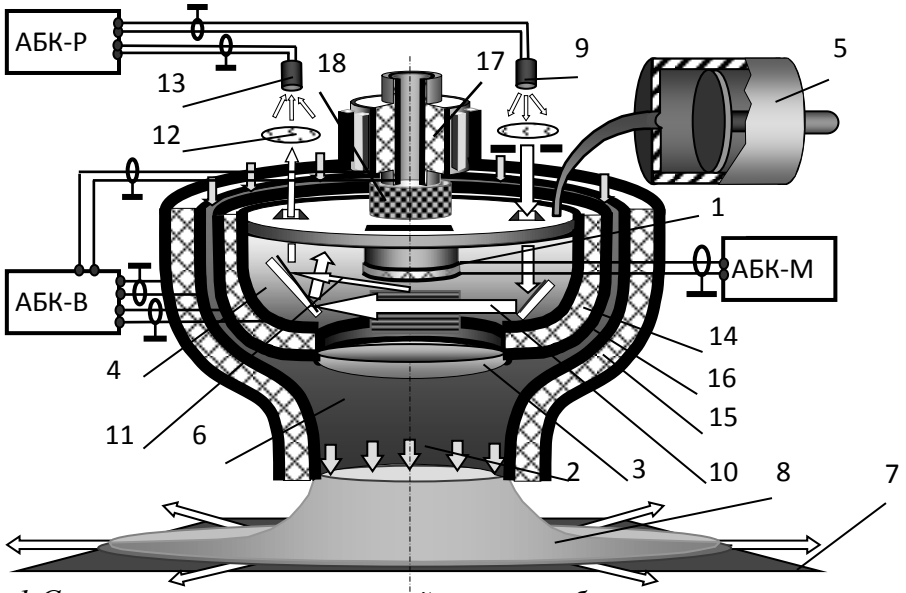


Рис.1 Схема автоматизированной системы бесконтактного контроля

В каждом канале при взаимодействии пучка света с УЗ волной генерируются диафрагмированные пучки света первого порядка (11), которые излучаются под углом $\theta = \pm \lambda/\Lambda$ к основному пучку, где λ – длина волны света (акустооптическая дифракция Римана-Ната). Их амплитуда и фаза пропорциональны интегральной величине амплитуды и фазы суммарной УЗ волны. Диафрагмированные пучки направляются на фокусирующие линзы (12). Установленные в их фокусных точках фотоприемники (13) воспринимают интегральный световой поток, отображающий интерференцию оптических образов даже пространственно разнесенных звуковых пучков. Сигналы с фотоприемников и данные об амплитудно-временных параметрах интерферирующих пачек УЗ импульсов, задаваемые в ГИ, поступают в процессор, который вычисляет расстояние до поверхности (7) детали. Теоретически показано, что АСБК-Р обеспечивает точность 1..1,5 мкм.

На основе разработанной схемы АСБК со струйным акустическим чувствительным элементом (САУЭ) предложено расширить круг решаемых задач контроля деталей, в частности, осуществлять контроль вибраций (АСБК-В) и контроль размеров (АСБК-Р) деталей типа тел вращения. Перспективным также является применение разработанной

АСВК-М для контроля колец подшипников на предприятии, занимающемся восстановлением буксовых подшипников железнодорожного транспорта [6-9].

Литература:

1. Алешин Н.П., Белых В.Е., Вонилкин А.Х. Методы акустического контроля металлов. М.: Машиностроение, 1989. 456 с.

2. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении. СПб.: Радиоавионика, 1995. 316 с.

3. Ахметжанов Р.А., Макарочкин В.В., Соколов В.Ф. Ультразвуковой контроль. ОМСК: Омск. гос. ун-т путем сообщения, 2004. 140 с.

4. Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика. М.: Машиностроение, 2007. 657 с.

5. Шелихов Г.С. Магнитопорошковый контроль изделий. М.: Спектр, 2013, 176 с.

6. Захарченко М.Ю., Щеголев С.С., Игнатьев А.А. Автоматизация ультразвукового контроля деталей подшипников. Саратов: СГТУ, 2015. 140 с.

7. Захарченко М.Ю. Работа струйного акустооптического измерительного устройства / Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 56-62.

8. Захарченко М.Ю., Бржозовский Б.М., Мартынов В.В. Использование струйного измерительного акустооптического измерительного устройства для контроля обработанной поверхности при механообработке // Повышение эффективности механообработки на основе моделирования физических явлений: сб. тр. Всеросс. конф. Рыбинск: РГАТУ, 2009. С. 38-43.

9. Алгоритм автоматизации ультразвукового метода дефектоскопии колец подшипников / С.С. Щеголев, А.Г. Мотков, В.В. Погораздов, М.Ю. Захарченко // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2014. № 2 (75). С. 216-219

УДК 681.5; 621.9.07

Применение экспертной системы для поддержки решений в системе мониторинга технологического процесса

Игнатьев А.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»

Самойлова Е.М., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

При решении некоторых производственных задач возможны два подхода: первый основан на имеющемся опыте решения аналогичных задач и накопленных при этом знаниях, второй – на математическом моделировании и последующем поиске оптимального решения. Применение первого подхода предпочтительно для задач, которые сложно описать математически с достаточной адекватностью реальным условиям производства. Второй подход применим, если для решения задачи можно построить с известными условиями и ограничениями достаточно точные математические модели и аналитически или численным методом получить оптимальное или близкое к нему решение.

Указанные подходы в ряде случаев не позволяют решить возникшую ту или иную производственную трудно формализуемую задачу, поэтому в качестве альтернативного подхода, базирующегося на опыте и знаниях, разрабатываются экспертные системы (ЭС), аккумулирующие знания специалистов в конкретной предметной области с целью выработки логически обоснованных рекомендаций и (или) решения проблем, а также для консультаций менее квалифицированных пользователей [1-3].

ЭС позволяет использовать для решения производственных задач возможности современной вычислительной техники для создания специализированного алгоритмического и программного обеспечения, моделирующего деятельность человека при экспертизе, представлении знаний и формировании выводов и вариантов решений рассматриваемой задачи. ЭС открывает доступ пользователям к заложенным в ней практическим знаниям людей, являющихся экспертами в данной предметной области.

Типичная структура ЭС обычно включает базу знаний (БЗ) и ряд подсистем: общения, объяснения, принятия решения. Через подсистему общения с ЭС связаны, по крайней мере, три специалиста [4]:

– эксперт – высококвалифицированный специалист, который в процессе общения с системой передает ей свои знания по решаемой частной задаче, а также общепринятые факты и правила вывода;

– инженер по знаниям, знакомый с принципами построения ЭС и умеющий работать с экспертами в данной области для обновления, расширения и совершенствования формы представления знаний в удобную для пользователя ЭС;

– пользователь – представитель производственного персонала, обращающийся к ЭС за советом по своей конкретной задаче, сообщая системе имеющиеся в его распоряжении данные о ее состоянии, и желающий получить рекомендации по решению возникшей задачи.

Формирование базы знаний и других элементов ЭС не является статическим процессом, при котором определенный круг экспертов передает свои знания в ЭС [1]. На практике БЗ может непрерывно пополняться за счет углубленного изучения объекта и

анализа процесса его функционирования другими экспертами, дополнения новыми продукционными правилами, уточнения ранее заложенных правил и исправления ошибочных, то есть построение ЭС является динамическим процессом, развивающимся по мере обновления и накопления знаний и опыта пользователей. Реальная ЭС является инструментом для приобретения знаний, преобразования их в форму, доступную обслуживающему технологическое оборудование персоналу, поддерживающим принятие решения при восстановлении оборудования или корректировке технологического процесса.

Наличие в ЭС продукционной модели в виде комплекса продукционных правил типа «если…, то…» значительно сокращает срок обучения персонала, так как правила можно рассматривать как инструкции для оператора или наладчика для принятия решения, например при управлении технологическим процессом и восстановлении технологического оборудования при функциональных или параметрических отказах [5-8].

С практической точки зрения достаточно актуальным является применение ЭС при контроле и диагностировании автоматизированных станков. Снижение уровня квалификации обслуживающего персонала (операторов и наладчиков) в последние годы привело к снижению эффективности эксплуатации станков, обусловленному увеличением времени поиска и устранения отказов. ЭС в этом случае необходима обслуживающему персоналу для обучения, то есть повышения квалификации, и выдачи рекомендаций для корректировки режима обработки или подналадки станков. Следует отметить, что ЭС целесообразно использовать как для станков с большим сроком эксплуатации, так и для современного оборудования. В этом случае ЭС используется как автономная, но более перспективным является встраивание ЭС в программное обеспечение отечественных станков, как это реализовано в определенной степени в токарных модулях типа ТПАРМ [8].

Таким образом, эффективность применения ЭС в автоматизированных станках обусловлена следующим [4, 7, 8]:

во-первых, реализуется возможность решения плохо формализуемых задач диагностирования и назначения режима резания с привлечением специально разработанного математического аппарата;

во-вторых, ориентация ЭС на их использование широким кругом специалистов производства (конечных пользователей) различного уровня, общение с которыми происходит в диалоговом режиме с использованием понятной им терминологии конкретной предметной области;

в-третьих, применение ЭС позволяет повысить эффективность решений, принимаемых конечными пользователями, за счет аккумуляции в системе знаний экспертов

и, следовательно, повысить эффективность функционирования технологического оборудования.

Литература:

1. Искусственный интеллект: применение в интегрированных производственных системах / под ред. Э. Кьюсака; пер. с англ. А.П. Фомина. М.: Машиностроение, 1991. 544 с.

2. Джексон П. Введение в экспертные системы: пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001. 624 с.

3. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы: учебник. М.: Лаборатория знаний, 2016. 221 с.

4. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.

5. Тугенгольд А.К., Лукьянов Е.А. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2004. 117 с.

6. Бубнов Д.В. Экспертная система как средство интеллектуальной поддержки технологических решений // Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 4. С. 83-86.

7. Игнатьев А.А., Самойлова Е.М., Игнатьев С.А. Интеллектуализация мониторинга технологического процесса производства деталей точного машиностроения. Саратов: СГТУ, 2013. 119 с.

8. Игнатьев А.А., Козлова Т.Д., Самойлова Е.М. Экспертная система поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей. Саратов: СГТУ, 2015. 104 с.

УДК 621.5

Стохастическая модель динамической системы станка

Игнатьев А.А., доктор технических наук,
профессор кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»,
Добряков В.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматизация, управление, мехатроника»,
Шамсадова Я.Ш., соискатель кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Важную роль при высокоточной обработке деталей в машино- и приборостроении играют виброакустические колебания (ВА) в динамической системе (ДС) станков,

оказывающие влияние на формирование макро- и микрогеометрических параметров точности деталей и физико-механические характеристики их поверхностного слоя [1, 2].

Анализируя реальные процессы при резании, в том числе ВА колебания ДС, следует рассматривать для них ряд отличительных качественных признаков, объединенных в пары: детерминированность – стохастичность, стационарность – нестационарность, линейность – нелинейность. Указанные признаки необходимы для первоначального анализа процесса при выборе его математической модели [3-5].

Применение статистических методов исследования колебаний механических систем существенно расширяет возможности описания и анализа реальных колебательных систем, в том числе ДС станков, в которых существуют как детерминированные, так и стохастические колебания [1, 5, 6].

Учет стохастических свойств процессов резания на практике характеризуется совершенствованием их теоретических основ и более широким использованием в условиях реального производства. В то же время выявились определенные трудности методического обоснования по применению стохастических методов анализа и алгоритмического обеспечения при обработке данных измерений на ЭВМ. Так, например, в [7, 8] основное внимание уделено разработке и обоснованию применимости статистических методов обработки вибросигналов, регистрируемых при обработке на станках, однако алгоритмическое обеспечение весьма специфично и требует более детального физического обоснования.

В приложении к станкам весьма актуальной является задача идентификации ДС, то есть построение ее математической модели на основе экспериментального исследования и анализа реальных процессов при резании. Известно, что далеко не всегда достаточно полное и точное описание реальных объектов может быть построено на основе прямого физического анализа [3]. При этом наиболее достоверная информация формируется из результатов наблюдений за станком во время его нормального функционирования [2, 6].

При идентификации колебательных систем можно выделить два класса задач, а именно: качественная и полукачественная идентификация [3]. Под качественной идентификацией для станков следует понимать распознавание типа ДС и (или) действующих в них стохастических возмущений на основании статистического анализа процессов в системе. Под полукачественной идентификацией для станков следует понимать нахождение тех или иных параметров, определяющих состояния ДС, например запаса устойчивости, т.е. параметра, характеризующего степень близости системы к границе области устойчивости [3, 5].

Этап количественной оценки процессов со стохастической составляющей включает выбор и обоснование математической модели и определенных допущений при ее построении. На этом этапе осуществляется статистическая обработка большого массива информации, полученного при измерении той или иной физической величины, адекватно характеризующей процесс резания.

В общем случае модель ДС станка является нелинейной и нестационарной, однако, если рассматривать ее за время обработки одной детали (несколько десятков секунд), то указанными свойствами можно пренебречь, то есть рассматривать систему как линейную, что, как показали исследования [5], является вполне адекватным. В этом случае модель ДС можно идентифицировать по стохастическим характеристикам ВА колебаний в виде передаточной функции замкнутой системы $W_3(p)$ на основе регистрации ВА колебаний при различных значениях параметров режима резания, последующего вычисления автокорреляционной функции $K(\tau)$ (АКФ) и определения передаточной функции из формулы, обоснованной в [9]:

$$W_3(p)W_3(-p) = K(p) + K(-p), \qquad (1)$$

где $K(p)$ – изображение по Лапласу АКФ $K(\tau)$.

На основе идентифицированной $W_3(p)$ вычисляется запас устойчивости ДС при различных значениях скорости вращения шпинделя, подачи инструмента и т.п., что позволяет путем сопоставления с результатами контроля качества деталей установить целесообразный режим обработки, обеспечивающий сохранение заданных значений геометрических параметров точности и физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей, а также высокую производительность как при шлифовании, так и при точении [5, 10]. Для оперативной обработки данных измерений применяется автоматизированный комплекс, включающий виброизмеритель и компьютер со специальным программным обеспечением, что позволяет осуществлять автоматизированные исследования в условиях производства.

Литература:

1. Попов В.И. Динамика станков / В.И. Попов, В.И. Локтев. Киев: Техніка, 1975. 136 с.

2. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.

3. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний / М.Ф. Диментберг. М.: Наука, 1980. 368 с.

4. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

5. Игнатьев А.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков /А.А. Игнатьев, В.А. Каракозова, С.А. Игнатьев. Саратов: СГТУ, 2013. 124 с.

6. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч. 3 / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.А. Добряков, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 1994. 156 с.

7. Бржозовский Б.М. Мониторинг динамики резания материалов по свойствам сопровождающих его колебаний / Б.М. Бржозовский, И.Н. Янкин, Д.А. Хайров // Наукоемкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: матер. 4-й Междунар. конф. Рыбинск: РГАТУ, 2012. С. 154-158.

8. Оптимизация процесса эксплуатации металлорежущих станков на основе автоматизированной оценки их состояния по интегральным параметрам вибросигналов / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, М.Б. Бровкова, С.В. Свиридов // Наукоемкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: матер. 4-й Междунар. конф. Рыбинск: РГАТУ, 2012. С. 159-164.

9. Скляревич А.Н. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем / А.Н. Скляревич. М.: Наука, 1965. 457 с.

10. Игнатьев А.А. Идентификация динамической системы по автокорреляционной функции виброакустических колебаний / А.А. Игнатьев, В.В. Коновалов, С.А. Игнатьев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №4 (60). С.130-133.

УДК 621.5

Определение допустимой подачи шлифовального круга по запасу устойчивости динамической системы для выбора режима обработки и учета в системе мониторинга

Игнатьев С.А., доктор технических наук, профессор
кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»,
Каракозова В.А. кандидат технических наук, доцент
кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»;
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

В результате обучающего эксперимента формируются эталонные (паспортные) динамические характеристики станков, которые в процессе эксплуатации используются для сравнительной оценки с текущими характеристиками, и в случае их разладки проводятся мероприятия по корректировке режима обработки – изменение подачи круга [1,2].

Мониторинг технологического процесса (ТП) базируется на периодическом контроле выбранного информационного параметра и сравнении его значения с пороговым, полученным на стадии обучающего эксперимента. Этот способ рекомендуется использовать для однотипных станков и выявления тех из

них, которые находятся в критическом состоянии. Для реального автоматизированного производства подшипников целесообразно использовать именно данный подход для оценки динамических характеристик станков в условиях эксплуатации, что позволяет осуществлять оперативный контроль оборудования и в известном смысле гарантирует выпуск высококачественных колец подшипников.

Оперативная оценка динамических характеристик станков реализуется созданием переносных испытательно-диагностических комплексов (ИДК), причем с их помощью оцениваются частотные характеристики, например, динамические, непосредственно в условиях эксплуатации [3,4]. Существенным при этом является разработка показателей динамического качества, пригодных для автоматизированной оценки в ИДК. Наиболее объективными показателями качества являются динамические характеристики, полученные непосредственно в процессе обработки. Для этого необходима методика автоматизированных измерений, привязанная к конкретной модели станка и заданной технологии обработки (рис.1).

В качестве переносного ИДК выступает комплект аппаратуры, включающий виброизмеритель ВШВ-003М3, датчик которого устанавливается на основные узлы формообразующей подсистемы (регистрируемый диапазон частот 400…4000 Гц) и Notebook. Шероховатость поверхности дорожек качения измерялась прибором «Сейтроник ПШ8-1С.С» Прибор активного контроля «Элеком-3М», встроенный в систему управления станка, позволяет оценивать последовательность технологического цикла и снимать информацию о реальном припуске на каждой детали. Полученные данные о виброакустических (ВА) колебаниях обрабатываются на компьютере в среде MatLab. Обработка данных позволяет установить характер изменения спектра ВА колебаний и корреляционных функций в процессе технологического цикла, связанный с процессом шлифования колец подшипников. На основе этих данных вычисляются запасы устойчивости динамической системы (ДС) станка при различных подачах круга, которые используется, для обоснованного выбора режима обработки.

Следует отметить, что в соответствии с теоретическими положениями В.А.Кудинова об устойчивости ДС, эта оценка рассматривается как необходимый критерий качества ТС, определяющий такой важный показатель как производительность [5]. Достаточным критерием качества ТС служит условие обеспечения заданных показателей качества обработки. Математической интерпретацией этого критерия служит запас устойчивости.

Показано, как определяется передаточная функция ДС шлифовального станка и получено ее аналитическое выражение по результатам вычисления АКФ ВА колебаний элементов формообразующей подсистемы шлифовального станка модели SIW-5, обрабатывающего кольца подшипников. Далее по максимальному запасу устойчивости при различных подачах определялась рациональная подача для каждого станка.

Методика применена для выбора подачи круга на станке SIW-4, обрабатывающим кольца шарикового радиально – двухрядного подшипника 256907, станок оснащен микропроцессорный прибор многопараметрового активного контроля (МПМАК) на основе промышленной ЭВМ «Барс». Отличительной особенностью применения метода является то, что запас устойчивости ДС вычисляется для различных скоростей съема припуска, которые существенно влияют, как показано в работе [6], на формирование неоднородности структуры поверхностного слоя дорожки качения. Скорость съема припуска в значительной степени определяется подачей круга. Методика может быть применена для выбора режимов шлифования, в том числе скорости вращения заготовки и инструмента, с использованием метода многофакторного эксперимента.

Для экспериментов отбирались кольца с припуском 200+20-мк или 300+20мк. На каждой подаче с соответствующей скоростью съема припуска обработано по 3 кольца. Результаты измерений усреднялись. На приведенных ниже графиках (рис.2) показано, как отражается связь запаса устойчивости со скоростью съема припуска, которая вычислялась МПМАК для станка SIW-4.

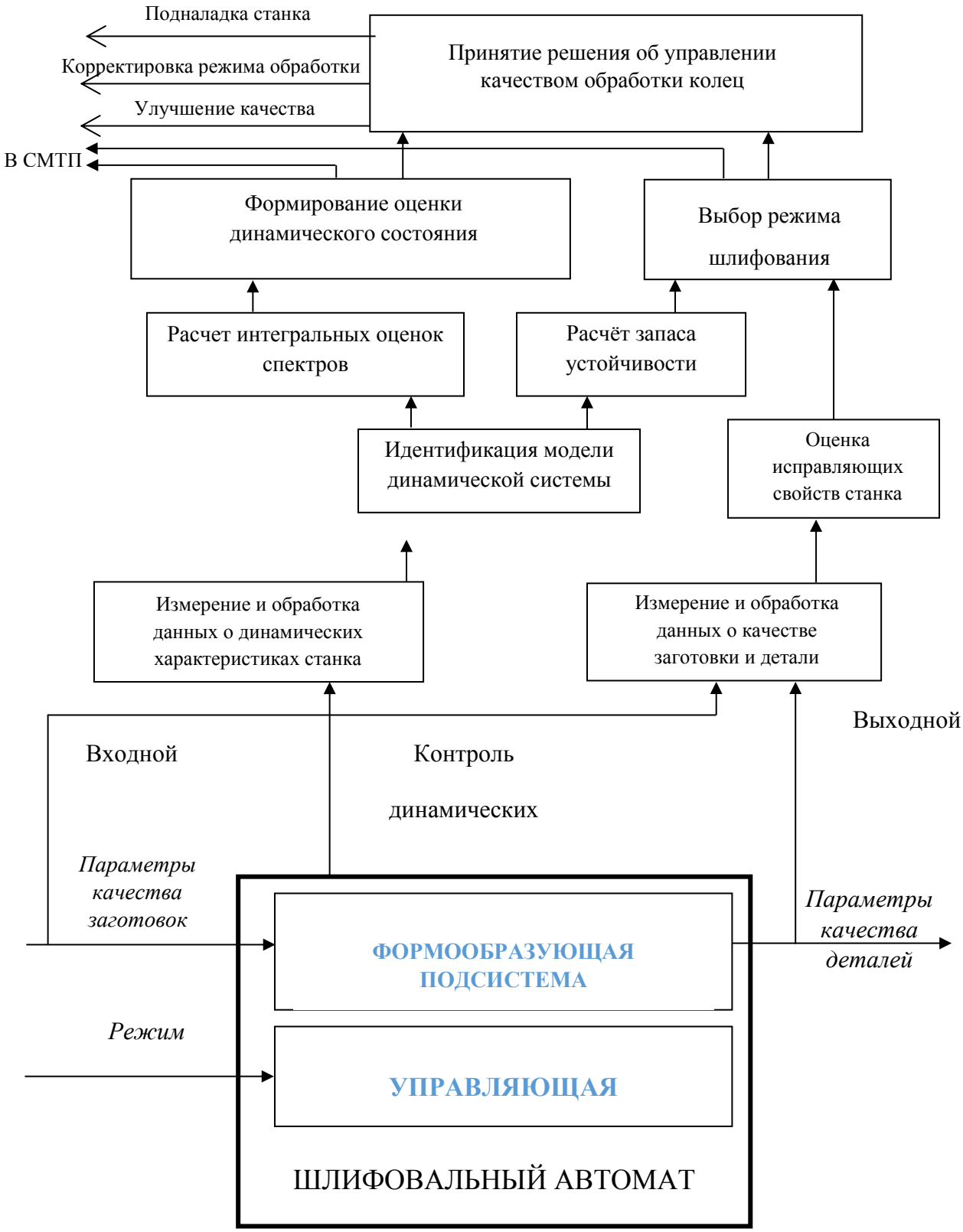


Рис.1. Методика выбора режима шлифования на основе оценки динамических характеристик и качества обработки поверхностей качения колец

Критическая скорость съема припуска, как это было показано в [6] составляет 170 мкм/с, при которой возникают повышенные вибрации и существенно снижается запас устойчивости и качество поверхности, оцениваемое в баллах.

Изложенное подтверждает достоверность связи запаса устойчивости ДС с подачей круга, выявленную ранее для станков SIW-5. Для практической реализации метода предлагается использовать технические возможности МПМАК, управляющего работой станка и связанного с СМТП.

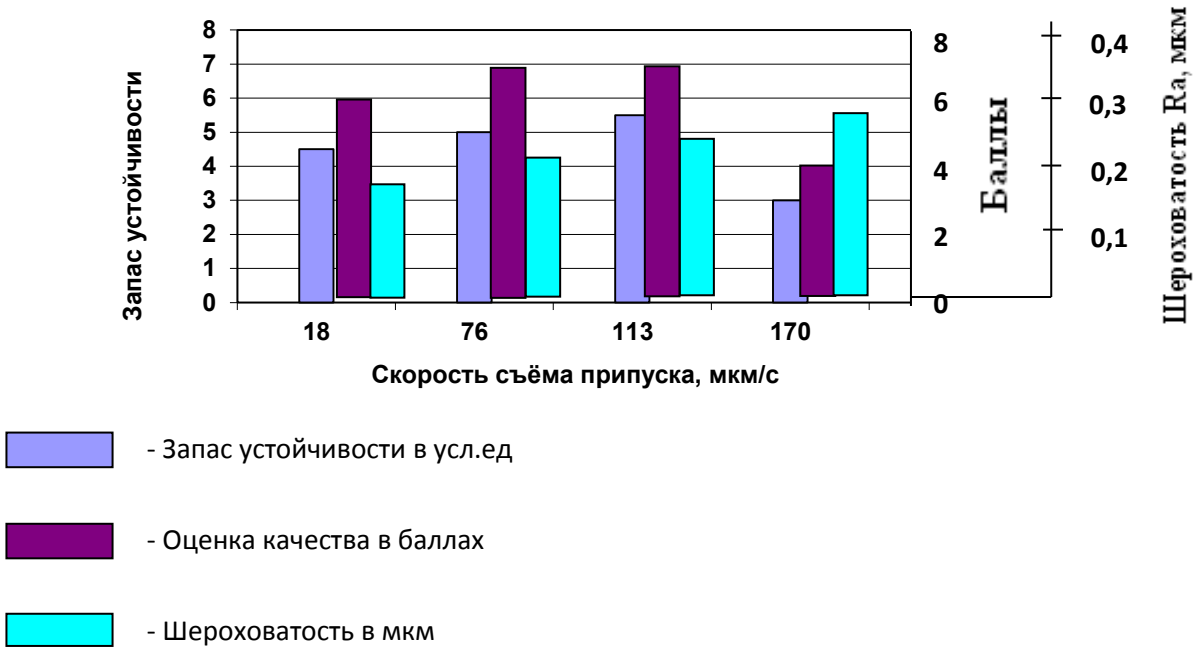


Рис.2. Связь скорости съёма припуска с качеством обработки поверхности на шлифовальном станке SIW-4

Таким образом, анализ передаточной функции ДС станка, что согласуется с результатами, полученными ранее, позволяет установить такую характеристику качества ДС как запас устойчивости, которую можно использовать для обоснования режима шлифования на станке, а также обеспечить стабильное качество поверхностного слоя (6-7 баллов) вместо (3-4 баллов) при ранее использованных режимах, и высокое качество обработки колец подшипников при выбранных параметрах, что подтверждается актом внедрения.

Литература:

1. Селезнева В.В. Вибродиагностика станков по результатам обработки / В.В. Селезнева //Надежность и диагностирование технологического оборудования. М.: Наука, 1987.С. 112-122.

2. Станочное оборудование автоматизированного производства в 2-х т. / под.ред. В.В.Бушуева М.: Изд-во Станкин, 1994. 656 с.

3. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков / А.С. Проников М.: Машиностроение, 1985. 288 с.

4. Пуш А.В. Оценка динамического качества станков по областям состояний их выходных параметров / А.В. Пуш // Станки и инструмент. 1984. №8. С.9-12.

5. Кудинов А.В. Динамика станков. / А.В. Кудинов М.: Машиностроение, 1967. 360 с.

6. Игнатьев А.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков /А.А.Игнатьев, В.А.Каракозова, С.А.Игнатьев // Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2013.124с.

УДК 62-533

Электрогидравлический стенд-имитатор аппарата циркуляции биологической жидкости

Корнилова Н.В., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Аппарат циркуляции биологических жидкостей представляет собой устройство, обеспечивающее кровообращение в организме путем полного или частичного замещения деятельности сердца.

Стенд-имитатор построен на классических электрогидравлических элементах и наглядно демонстрирует работу системы поддержания искусственной циркуляции биологической жидкости (аппарата искусственного кровообращения). Он предназначен для проведения экспериментальных исследований, приобретения навыков в управлении и контроле параметров аппарата, изучения влияния длины гидравлических линий на вид формируемых импульсов. Стенд условно можно разделить на гидравлическую и электрическую части.

Электрическая часть выполнена в пластмассовом корпусе размерами 360×240×75 мм. Передняя панель изготовлена из текстолита размером 351×56 мм. Для лучшего восприятия информации от семисегментных индикаторов применяются красные светофильтры.

Блок управления включает в себя:

- трансформатор;

- стабилизатор напряжения на ±5В, необходимого для питания АЦП, генератора и счётчика;

- регулируемый стабилизатор напряжения от 0 до 12В (для питания насоса);

- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) (для получения визуальной информации о напряжении, подаваемом на насос);

- широтно-импульсный (ШИМ) двухканальный генератор (для создания импульсов, подаваемых на клапан и счётчик);

- счётчик импульсов (подсчитывает количество приходящих с генератора импульсов);

На индикации отображается напряжение, подаваемое на насос и ток потребления насоса, а также количество подсчитанных импульсов счётчиком.

На переднюю панель выведены:

- стрелочный амперметр;

- семисегментный индикатор напряжения на насосе;

- семисегментный индикатор количества импульсов;

- переменный резистор (10 кОм), регулирующий напряжение от 0 до 12В на выходе стабилизатора;

- переменный резистор (1 МОм), регулирующий частоту ШИМ-генератора;

- переменный резистор (5 кОм), регулирующий скважность импульсов ШИМ-генератора;

- тумблер «сеть».

Передняя панель блока управления представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Передняя панель блока управления

На заднюю панель выведены три предохранителя:

- FU1 на 0,5 А, сетевой предохранитель (перед трансформатором);

- FU2 на 4 А, (последовательно с амперметром, для защиты стабилизатора от короткого замыкания в насосе);

- FU3 на 0,25 А (последовательно симистору ТС112-10).

Задняя панель блока управления представлена на рисунке 2.

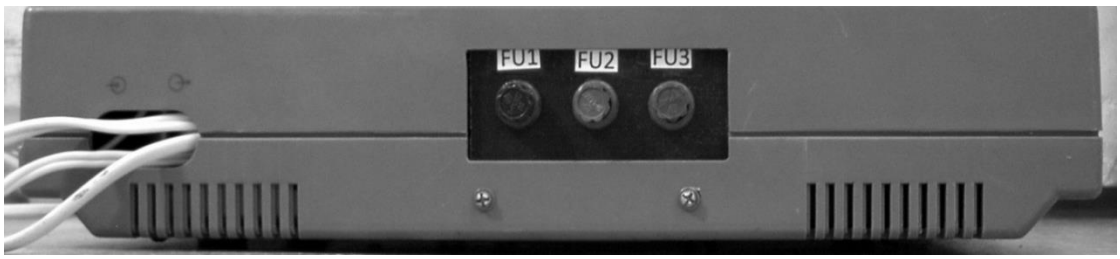


Рис. 2. Задняя панель блока управления

Функциональная схема блока управления представлена на рисунке 3.

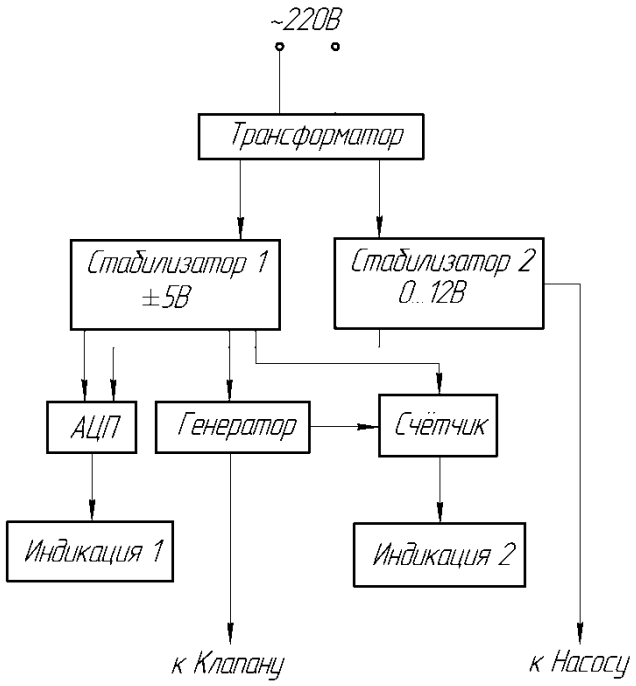


Рис.3. Функциональная схема блока управления

Гидравлическая часть стенда включает в себя:

- манометр мембранный точный ММТ-3, предназначенный для измерения давления воздуха в компрессионной манжете медицинских приборов для косвенного измерения артериального давления;

- соленоидный клапан нормально закрытый (НЗ), прямого действия высокого давления, с диаметром условного прохода 1/4", катушка клапана на ~220 В;

- счётчик горячей воды (СГВ) с диаметром условного прохода ДУ-15 мм;

- вентиль бронзовый с ДУ-15 мм;

- насос омывателя от ВАЗ 2110;

- банка 0,45 литра;

- водяной фильтр, (для очистки жидкости от нежелательных механических примесей);

- муляж пациента (кукла детская) с имитатором сердца (латексная мембрана).

При подаче напряжения 8,5 В с блока управления на насос, создается давление 120/80 мм рт. ст. и происходит постоянный расход в системе. Манометрический датчик показывает величину давления и его изменение во времени в мм рт. ст. в замкнутой системе. Клапан

импульсами перекрывает поток жидкости, тем самым создавая переменное давление (120/80 мм рт. ст.), которое подаётся через резиновую трубку в грудной отдел пациента-муляжа. В пациенте-муляже сердце представляет собой силиконовую мембрану, которая изменяет свою форму под воздействием переменного давления. Счетчик показывает расход, а вентиль имитирует сопротивление потоку биологической жидкости. Все элементы соединены резиновыми трубками и переходниками.

После изготовления стенда были проведены испытания на работоспособность и даны рекомендации для улучшения качества работы стенда, одной из которых является исключение клапана при усложнении схемы блока управления. При питании насоса не постоянным током, а импульсным, на его выходе можно будет получить осциллограмму, более приближённую к кардиограмме сердца. В качестве модернизации предлагается добавить в систему такие элементы, как теплообменник и оксигенатор для получения более полной модели реального аппарата циркуляции биологической жидкости или искусственного кровообращения.

Разработанный стенд-имитатор будет интересен для общего развития студентов в области медицинской техники.

Литература**:**

1. Галлети П., Бригер Г. Основы и техника экстракорпорального кровообращения./ П Галлети, Г. Бригер, М.: Медицина, 1966. – С.117-123

2. Калинин, С.А. Управление биотехническими системами: Элементы проектирования биотехнических систем управления: Учеб. пособие / С.А. Калинин – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 36с.

3. Калекин, А.А. Гидравлика и гидравлические машины / А.А. Калекин – М.: Мир, 2005. – 512с.

4. Ливенсон, А.Р. Электромедицинская аппаратура: учебн. пособие / А.Р. Ливенсон – М.: Медицина, 2001. – 344с.

5. Лищук, В.А. Математическая теория кровообращения / В.А. Лищук – М.: Медицина, 1991. – 256 с.

УДК 681.5

Разработка модели парогенератора атомной станции

Мефедова Ю.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Пестова Е.Д., студентка направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Основой для работы существующих и создаваемых автоматизированных программных комплексов является имитационная модель технологических процессов основного и вспомогательного оборудования атомных электростанций. В статье исследуется парогенератор ПГВ-1000, назначение которого есть выработка насыщенного пара, при заданной температуре питательной воды и пара, поступающие из главного циркуляционного контура. Парогенератор ПГВ-1000 – однокорпусный горизонтальный теплообменник с погруженной поверхностью теплообмена, состоящий из горизонтально расположенных труб, имеющий сепарационные устройства и систему распределения аварийной питательной воды. Теплопередающая поверхность теплообменника парогенератора ПГВ-1000 вмещает в себя 11000 труб горизонтальной связки. Внутренний диаметр каждой трубы численно равен 16 мм, а толщина стенки трубы составляет 1,5 мм. Связка труб опирается на решетки.

Математическая модель рассмотренного парогенератора включает различные виды уравнений, описывающие кинетическую работу перемещения подпиточной, продувочной воды и пара, работу гравитационных сил для воды и пара в ПГ, гидродинамическую работу подпиточной, продувочной воды и пара в паропроводе, термическую работу нагрева воды, пара и парообразования в ПГ. Рассмотрим и опишем данные уравнения [1,2].

$$\frac{dt_s}{dt} = \frac{\frac{H_{ПГ}}{R_{ПГ}}(t_{ПВ}^{\ CP} - t_s) - D(i'' - i_{ПВ})}{C_{Т2К} V_{Т2К} \rho_{Т2К} + C_M^{\ ПГ} G_{М2К}^{\ ПГ}}, \quad (1)$$

где $H_{ПГ}$ – площадь поверхности теплообменника, м^2; $R_{ПГ}$ – тепловое сопротивление в ПГ, м^2 · ^{0}С/Вт; $t_{ПВ}^{\ CP}$ – средняя температура теплоносителя первого контура в ПГ, С; t_s – температура насыщения в ПГ, ^{0}С; D – паропроизводительность ПГ кг/с; i'' – энтальпия пара в ПГ, Дж/кг; $i_{ПВ}$ – энтальпия питательной воды ПГ, Дж/кг; $C_{Т2К}$ – удельная теплоемкость

теплоносителя второго контура ПГ, Дж/(кг· С); $V_{Т2К}$ – объем второго контура ПГ, м^3; $\rho_{Т2К}$ – плотность теплоносителя второго контура ПГ, кг/м^3; $C_М{}^{ПГ}$ – удельная теплоемкость металла ПГ, Дж/(кг · С); $G_{М2К}{}^{ПГ}$ – масса ПГ без трубной связки, кг.

$$\frac{dG_В}{dt} = D_{ПВ} - D_{ПГ} - D_Г, \tag{2}$$

где $G_В$ – масса воды второго контура в ПГ, кг; $D_{ПВ}$ – расход питательной воды в ПГ, кг/с; $D_{ПГ}$ – расход воды второго контура на продувку ПГ, кг/с; $D_Г$ – генерация пара в ПГ, кг/с.

$$\frac{dG_П}{dt} = D_Г - D_П, \tag{3}$$

где $G_П$ – масса пара в ПГ, кг; $D_П$ – расход пара на турбину от ПГ, кг/с.

$$V_В = \frac{G_В}{\rho'}, \tag{4}$$

где $V_В$ – объем воды второго контура в ПГ, м^3; $G_В$ – масса воды второго контура в ПГ, кг; ρ' – плотность воды второго контура в ПГ, кг/м^3.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\frac{1}{\rho'}(D_{ПВ} - D_{ПР}) + \frac{0.5}{\rho''}(D_П + D_П{}^*) + \frac{1}{r}(\frac{1}{\rho''} - \frac{1}{\rho'})(Q_{ВВ} - D_{ПВ}(i' - i_{ПВ}))}{\frac{G_В}{\rho'^2}\frac{d\rho'}{dP} + \frac{G_П}{\rho''^2)}\frac{d\rho''}{dP} + \frac{1}{r}(\frac{1}{\rho''}\frac{1}{\rho'})(G_В\frac{di'}{dP} + G_П\frac{di'''}{dP})}, \tag{5}$$

где P – давление генерируемого пара в ПГ, Па; r – удельная теплота парообразования в ПГ, Дж/кг; ρ'' – плотность пара в ПГ, кг/м^3; $D_П{}^*$ – регулирующий параметр для расхода пара на теплофикационную турбину, кг/с; $Q_{ВВ}$ – количество теплоты от теплоносителя, Дж/с; i' – энтальпия воды второго контура в ПГ.

$$D_Г = \frac{1}{r}\left(Q_{ВВ} - \left(G_В\frac{di'}{dP} + G_П\frac{di''}{dP}\right)\times\frac{dP}{dt} - D_{ПВ}\left(i' - i_{ПВ}\right)\right), \tag{6}$$

где $G_П$ – масса пара в ПГ, кг.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\frac{1}{\rho'}\frac{dG_В}{dt} + \frac{1}{\rho''}\frac{dG_П}{dt}}{F_З - (1-\varphi)}, \tag{7}$$

где H – уровень пароводяной смеси в ПГ, м; $F_З$ – площадь поверхности воды для выделения насыщенного пара в ПГ, м^2; φ –влажность пара на выходе из ПГ; $V_П$ – объем насыщенного пара в ПГ, м^3.

$$\frac{dV_П}{dt} = \frac{D_Г}{\rho''} - \frac{V_П}{\rho''}\frac{d\rho''}{dP}\frac{dP}{dt} - \frac{V_П}{T}, \tag{8}$$

где T – постоянная времени для ПГ, с.

$$T = \frac{V_{П} \rho''}{D_{П0}}, \tag{9}$$

где $D_{П0}$ – обозначенный расход пара на теплофикационную турбину от ПГ, кг/с.

$$D_{П}^{*} = D_{П0} \frac{P_{T}}{P_{T0}} Z, \tag{10}$$

где P_{T} – давление пара перед теплофикационной турбиной ПГ, Па; P_{T0} обозначенное давление пара перед теплофикационной турбиной ПГ, Па; Z – смещение сервомотора регулирующих клапанов теплофикационной турбины.

$$D_{П} = D_{Г} \frac{D_{TH}}{414}, \tag{11}$$

где D_{TH} – расход теплоносителя первого контура, кг/с.

Каждое уравнение в среде Simulink выполнено с помощью соответствующих подсистем. На рис.1 реализовано уравнение (1), с помощью которого рассчитывается температура насыщения в парогенераторе атомной станции.

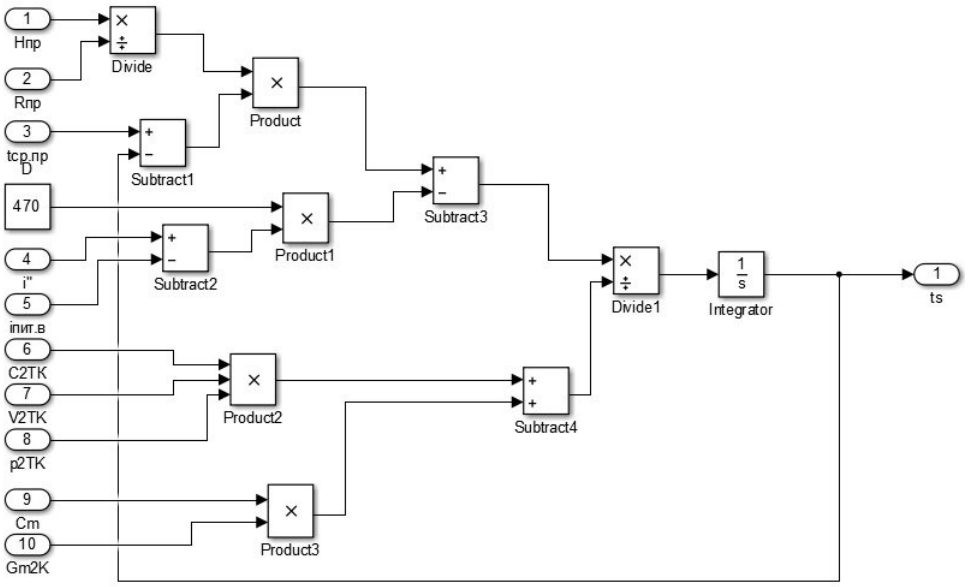


Рис. 1. Подсистема модели для расчета температуры насыщения

Основная модель парогенератора, реализованная с помощью уравнений (1)-(11), представлена на рис.2. В результате моделирования при заданных входных параметрах в блоках Display и Display1 отображаются значения температуры насыщения и давление генерируемого пара. Данная Simulink-модель позволяет также рассчитать и иные различные параметры, например, уровень пароводяной смеси в парогенераторе атомной станции.

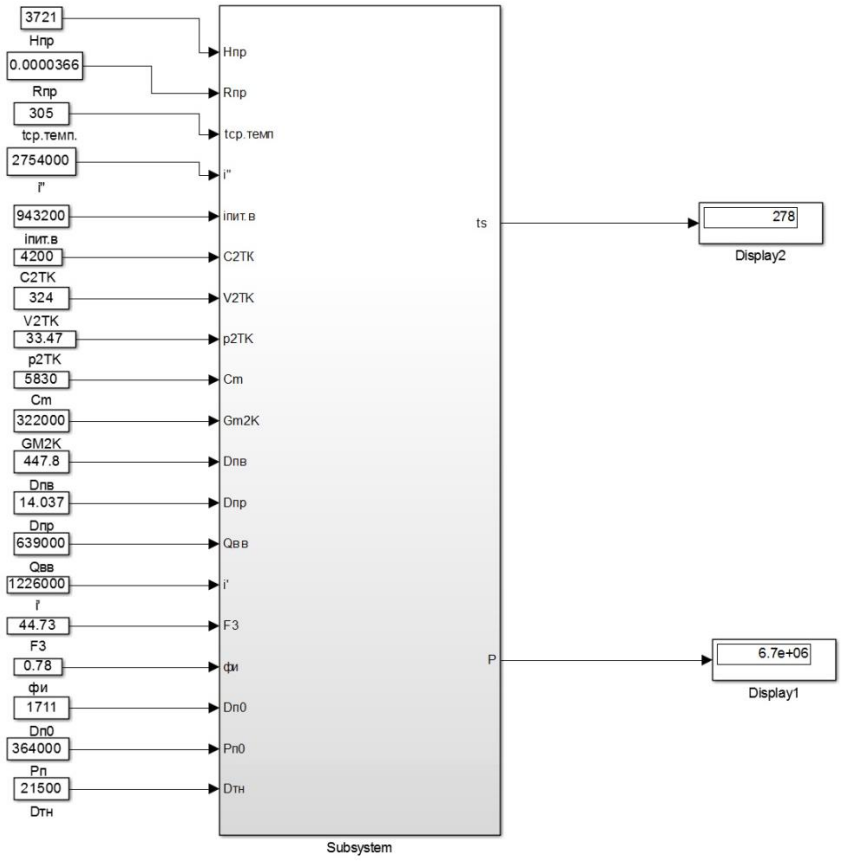


Рис. 2. Основная модель парогенератора

В дальнейшем планируется исследование динамических режимов в парогенераторе с помощью разработанной модели. При использовании данного подхода возможна реализация Simulink-моделей других технологических объектов атомной станции и создание математической модели целого контура энергоблока.

Литература:

1. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. - Одесса: Астропринт, 2001. - 395 с.

2. Тверской Ю.С. Математическая модель первого контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 и оценка ее динамической точности в переменных режимах / Ю.С. Тверской, Д.В. Лаврентичев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. - №6. – С.47-58.

УДК 621.039.577

Моделирование исполнительного механизма волнового насоса

Мефедова Ю.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Николаенко А.С., студентка направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Волновой насос с магнитожидкостным сенсором (МЖС) или исполнительным механизмом, конструкция которого представлена на рисунке1, представляет собой электрогидравлический элемент с помощью которого осуществляется перекачка различных жидкостей. На патрубок 1 устанавливается пять секций электромагнитных обмоток 2, на которые подаются управляющие напряжения U_1 – U_5. Магнитожидкостный сенсор 3 представляет собой упругую оболочку из каучука с магнитной жидкость внутри. Насос работает следующим образом. На одну из секций (например, на первую U_1) подается управляющее напряжение в результате чего у МЖС образуется гребень 1, так как магнитная жидкость внутри сенсора притягивается к катушке и вызывает деформацию резиновой оболочки. Подавая последовательно управляющие напряжения на последующие секции обмоток гребень будет перемещаться из положения 1 в положение 3. Таким образом гребень МЖС функционально представляет собой поршень волнового насоса, который способен перекачивать жидкость.

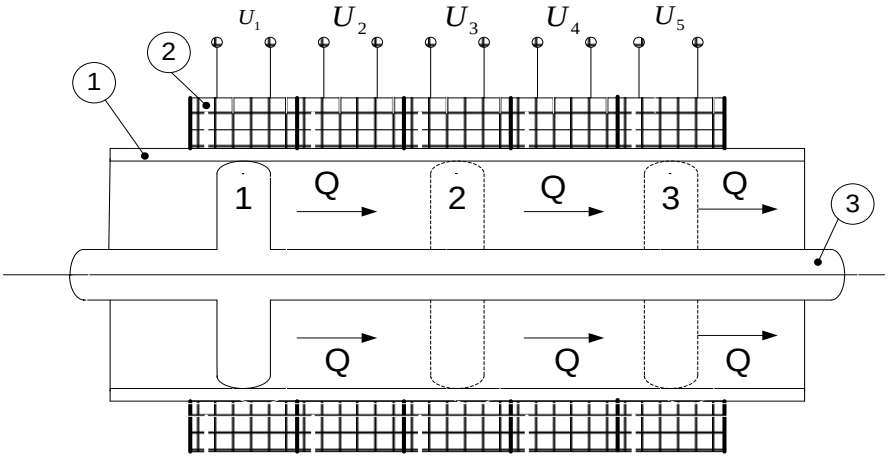


Рис.1. Конструкция магнитожидкостного волнового насоса

Разобьем волновой насос на отдельные блоки:

- электромагнитная обмотка;

- электромагнитная система;

- магнитное поле деформации МЖИМ;

- магнитожидкостный сенсор (исполнительный механизм);

- проточная часть;

- гидравлический контур.

Структурная схема волнового насоса представлена на рисунке 2.

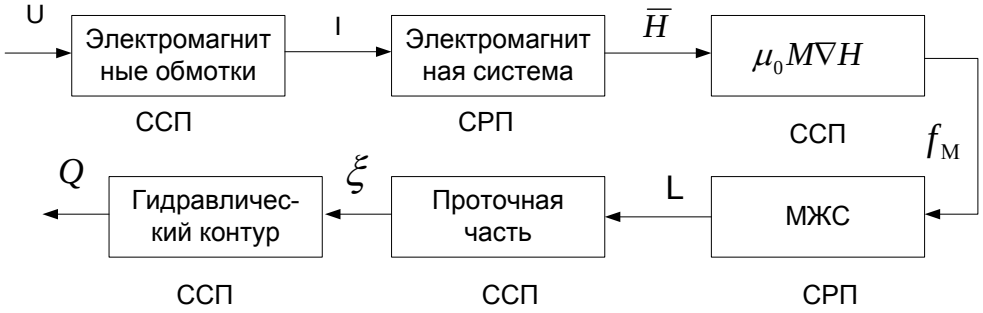


Рис.2. Структурная схема магнитожидкостного волнового насоса

Первым блоком является преобразователь напряжения в ток. Динамика такого блока описывается как система с сосредоточенными параметрами (ССП). Второй блок - это преобразователь тока в напряженность магнитного поля вокруг управляющих обмоток. Динамика блока описывается как система с распределенными параметрами (СРП). Третий блок - это преобразователь градиента напряженности магнитного поля в объемную силу вокруг обмоток управления.

Уравнение преобразования имеет вид [3]:

$$f_M = \mu_0 M \nabla H \ , \qquad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; М - максимальная намагниченность насыщения МЖ, А/м; ∇H - градиент напряженности магнитного поля, А/м^2; f_M - объемная плотность силы втягивания МЖ в область неоднородного магнитного поля, Н/м^3.

Динамика такого блока описывается как ССП. Четвертый блок – это преобразователь объемной плотности силы вокруг управляющих обмоток в континуальное перемещение МЖС. Динамика такого блока описывается в операторах СРП. Пятый блок - это преобразователь перемещения упругой оболочки МЖС в гидравлическое сопротивление проточной частим волнового насоса. Динамика такого должна описывается в операторах СРП. Шестой блок – это преобразователь гидравлического сопротивления проточной части волнового насоса в расход гидравлического контура (волновой насос, соединительные гидравлические диссипаторы, нагрузка). Динамика такого блока описывается в операторах ССП.

В статье рассмотрим моделирование динамических характеристики исполнительного механизма – магнитожидкостного сенсора с использованием теории систем с распределенными параметрами.

В качестве дифференциального уравнения выбрано уравнение колебаний круглой мембраны [1,2]:

$$\frac{\partial Q(r,t)}{\partial t^2} - a^2\left[\frac{\partial^2 Q(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial Q(r,t)}{\partial r}\right] = f(r,t), \tag{2}$$

где $Q(r,t)$ - искомая выходная величина (перемещение контура МЖС вдоль текущего радиуса r), м; $f(r,t)$ - входное возмущение, м/с:

$$f(r,t) = f_M \frac{Q}{Э}, \tag{3}$$

где f_M - объемная плотность втягивающей электромагнитной силы, Н/м^3; Q - расход, м^3/с; $Э$ - поверхностная плотность энергии, Дж/м^2.

Нормирующий комплекс a^2:

$$a^2 = \frac{Э \cdot V}{E}, \tag{4}$$

где V - скорость принудительной деформации МЖС неоднородным магнитным полем, м/с; $\underline{E}$ - модуль упругости материала упругой оболочки МЖС, Па.

Стандартизирующая функция:

$$\omega(r,t) = f(r,t) + Q_0(r)\delta(t) + a^2\delta(R-r)g(t), \tag{5}$$

Функция Грина:

$$G(r,\rho,t) = \frac{1}{\pi R^2}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\mu_k^2 J_0(\mu_k r)J_0(\mu_k \rho)}{(\alpha^2+\mu_k^2)J_0^2(\mu_k R)}\cdot\exp(-a^2\mu_k^2 t). \tag{6}$$

Континуальная передаточная функция:

$$W(r,\rho,p) = \frac{1}{\pi R^2}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\mu_k^2 J_0(\mu_k r)J_0(\mu_k \rho)}{(\alpha^2+\mu_k^2)J_0^2(\mu_k R)}\cdot\frac{1}{p+a^2\mu_k^2} \tag{7}$$

Для моделирования приняты следующие исходные данные:

- R= 0,02 м – радиус проточной части волнового насоса;

- начальные условия нулевые;

- граничные условия описываются уравнением вида:

$$\frac{\partial Q}{\partial r}(R,t) + \alpha Q(R,t) = g(t) = Q_{MAX}\sin(\omega_1 t) \tag{8}$$

где Q_{MAX} - максимальная амплитуда колебаний границы МЖС, м; ω_1 - круговая частота гармонических колебаний МЖС при воздействии гармонического возмущения, 1/с.

Решение искомой выходной величины (перемещения границы МЖС вдоль радиуса r) запишется следующим образом:

$$Q(r,t) = \int_0^t \int_0^R G(r,\rho,t,\tau) \cdot \omega(\rho,\tau) d\rho d\tau \ . \qquad (9)$$

Интегральная передаточная функция:

$$W_{И}(r,p) = \frac{\overline{Q}(r,p)}{\overline{f}(r,p)} = \int_0^R W(r,\rho,p) \cdot \overline{\omega}(\rho,p) d\rho \ . \qquad (10)$$

В результате расчетов получено следующее выражение:

$$W_{И}(r,p) = \frac{1}{\pi R^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu_k^2 (1 - 0,62 r^2)}{(1 + \mu_k^2)(1 - 0,62 R^2)^2} \cdot \frac{1}{p + a^2 \mu_k^2} \cdot \left[r(1 - 0.2 r^2) - 0.248 r^2 \right]. \qquad (11)$$

Предположим, что выходная величина снимается в точке близкой к центру r=10^{-5} м. Тогда, подставляя числовые значения в выражение для интегральной передаточной функции, получим:

$$W_{И}(p) = 7.962 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu_k^2}{1 + \mu_k^2} \cdot \frac{1}{p + \mu_k^2} . \qquad (12)$$

В результате построения ЛАЧХ по формуле (12) и ее аппроксимации получена передаточную функцию МЖС по объемной плотности силы:

$$W_{МЖС}(p) = \frac{0,0052}{0,009\ p + 1} . \qquad (13)$$

Таким образом, на основании теории систем с распределенными параметрами осуществлено моделирование динамической характеристики магнитожидкостного исполнительного механизма и получено выражение передаточной функции для центральной точки сенсора, которая позволит исследовать динамический процесс всего волнового насоса с использованием классической теории автоматического управления.

Литература:

1. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами / А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1979. – 224с.

2. Николаенко Ю.В. Динамика волнового насоса с магнитожидкостным сенсором в операторах систем с распределенными параметрами / Ю.В. Николаенко, А.В.Власов // Вестник БИБиУ. – 2010. – № 1(3). – С.66-74.

3. Орлов Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.

УДК 681.5

Разработка модели деаэратора атомной станции

Мефедова Ю.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»
Меркулов А.С., студент направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Деаэратор — одно из технических устройств, используемых на АЭС и реализующее процесс деаэрации некоторой жидкости (обычно воды или жидкого топлива), то есть её очистки от присутствующих в ней нежелательных газовых примесей. Деаэрация осуществляется в головке деаэратора, в верхнюю часть которой подается конденсат после подогревателей низкого давления, а в нижнюю часть - греющий пар из отбора турбины. Конденсат, сливаясь с одной дырчатой тарелки на другую, движется вниз и нагревается движущимся кверху греющим паром до температуры кипения. Выделившиеся газы вместе с излишками пара удаляются из верхней части головки (выпар).

Для стабилизации режима деаэрации (насыщения) его регулируют либо по температуре, либо по давлению. Второй способ предпочтительней, так как датчики температуры более инерционны и возникают трудности нахождения представительной точки в головке деаэратора для измерения температуры деаэрированной воды. Поэтому в статье рассмотрена математическая модель деаэратора как объекта регулирования давления.

Для построения имитационной модели, позволяющей исследовать влияние возмущающих факторов на давление, выбран деаэратор повышенного давления ДП-3200, применяемый в атомных станциях. Рассмотрим математическую модель по давлению [1].

Уравнение динамики деаэратора по давлению пара:

$$T\,\Delta P' + \Delta P = k_{П}\,\Delta M_{П} - k_{К}\,\Delta M_{К} + k_{Р}\,\Delta P_{П} + k_{t}\,\Delta t_{К} \qquad (1)$$

где ΔP – изменение давления в деаэраторе, МПа; $\Delta M_{П}$ – изменение массового расхода пара, кг/час; $\Delta M_{К}$ – изменение массового расхода конденсата, кг/час; $\Delta P_{П}$ – изменение давления греющего пара, МПа; $\Delta t_{К}$ – изменение температуры конденсата, ^{0}С; T – постоянная времени деаэратора, с; $k_{П}$, $k_{К}$, $k_{Р}$, k_{t} – соответствующие коэффициенты преобразования.

Постоянна времени деаэратора и коэффициенты преобразования рассчитываются по нижеприведенным формулам:

$$T = \frac{T_i}{Z}; \tag{2}$$

$$T_i = \frac{\left[(V_П - V_К) \cdot \frac{\partial (\rho'' \cdot i'')}{\partial P} + A_i \right] \cdot \overline{P}}{(i' - i_К) \cdot \overline{M}_К}, \tag{3}$$

где $i_К$ – энтальпия конденсата, кДж/кг; i'' - энтальпия сухого насыщенного пара, кДж/кг; i' - энтальпия воды на линии насыщения, кДж/кг; $V_П$ – объем парового пространства, м^3; $V_К$ – объем водяных капель, м^3;

$$A_i = \begin{cases} (V_П - V_К) \cdot \frac{\partial (\rho'' \cdot i'')}{\partial P} & \text{при} \quad \frac{\partial P}{\partial t} > 0; \\ \frac{V_В \rho' i'}{r} \cdot \frac{\partial i'}{\partial P} & \text{при} \quad \frac{\partial P}{\partial t} < 0, \end{cases} \tag{4}$$

где $V_В$ – объем перегретой воды, м^3;

$$Z = \frac{\left[(\overline{M}_П + \overline{M}_К) \cdot \frac{\partial i'}{\partial P} + \frac{\partial (\overline{M}_С \cdot i'')}{\partial P} \right] \cdot \overline{P}}{(i' - i_К) \cdot \overline{M}_К}, \tag{5}$$

где $M_П$, $M_К$, $M_С$ – номинальные значения массового расхода пара, конденсата и паровоздушной смеси соответственно, кг/час;

$$k_П = \frac{\overline{P}}{Z \cdot \overline{M}_П}; \tag{6}$$

$$k_К = \frac{\overline{P}}{Z \cdot \overline{M}_К}; \tag{7}$$

$$k_P = \frac{\left(\frac{\partial i_{ОТБ}}{\partial P_{ОТБ}} \right) \cdot \overline{P}_{ОТБ} \cdot \overline{M}_П}{(i' - i_К) \cdot \overline{M}_К \cdot Z}, \tag{8}$$

где $P_{ОТБ}$ – давление пара в отборе турбины, МПа; $i_{ОТБ}$ – энтальпия пара в отборе турбины, кДж/кг;

$$k_t = \frac{i_К \cdot \overline{P}}{(i' - i_К) \cdot Z \cdot \overline{t}_k}; \tag{9}$$

$$i_К = c \cdot \overline{t}_К, \tag{10}$$

где c – удельная теплоемкость конденсата;

$$\overline{M}_К = 1.25 \cdot \overline{M}_П. \tag{11}$$

Уравнения (2)-(11) выполнены в виде отдельных подсистем Subsystem (рис.1).

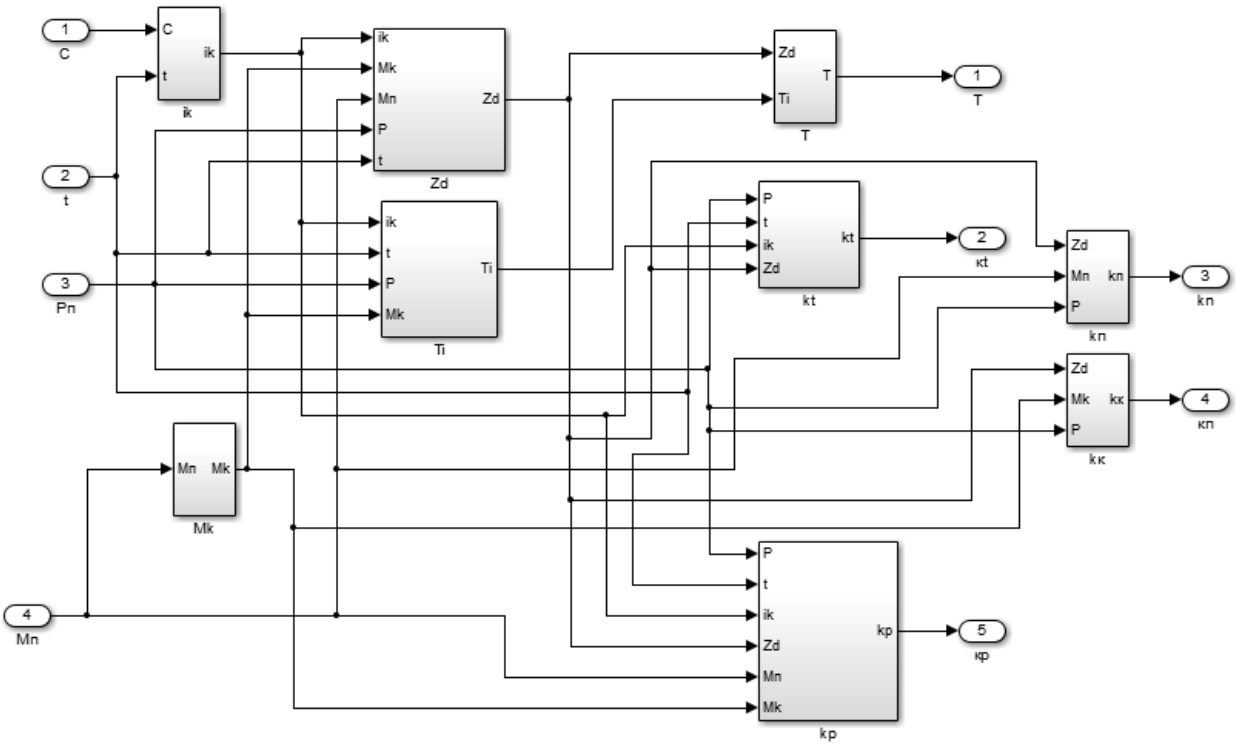
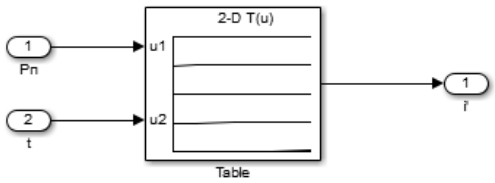


Рис.1. Блоки Subsystem

Энтальпия зависит от двух величин: температуры и давления, задается в виде двумерной таблицы (рис.2).



reakpoints	Column	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Row		0	75	100	150	200
(1)	1	0.98	210.19	419.84	632.5	841.7
(2)	2.5	2.5	211.49	420.97	633.4	842.6
(3)	5	5.03	213.64	422.85	635	844.7
(4)	7.5	7.56	215.79	424.73	636.5	845.7
(5)	10	10.07	217.94	426.62	638.1	847.4

Рис.2. Настройка подсистемы для энтальпии

Основная модель деаэратора атомной станции представлена на рис.3.

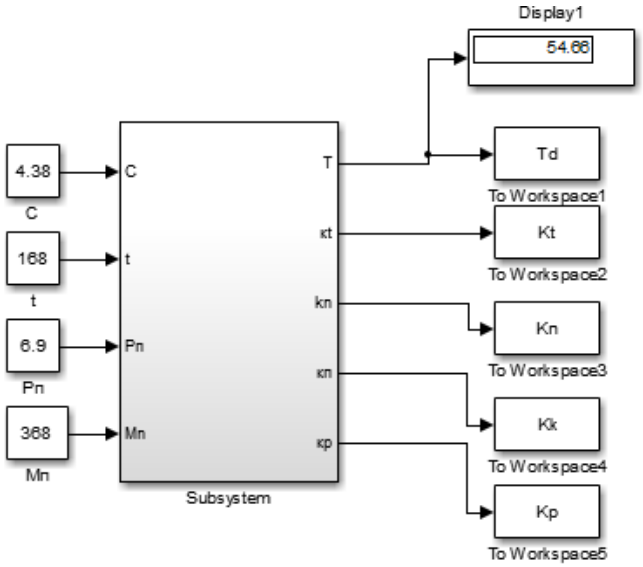


Рис.3. Основная модель деаэратора для расчета параметров

Данная модель позволяет рассчитать постоянную времени деаэратора и коэффициенты преобразования по различным входным каналам: изменению массового расхода пара, изменению массового расхода конденсата, изменению давления пара и изменению температуры конденсата. Также возможно построение графика переходного процесса деаэратора. На основании уравнения (1) передаточные функции по каждому каналу представлены в виде апериодического звена 1 порядка (рис.4).

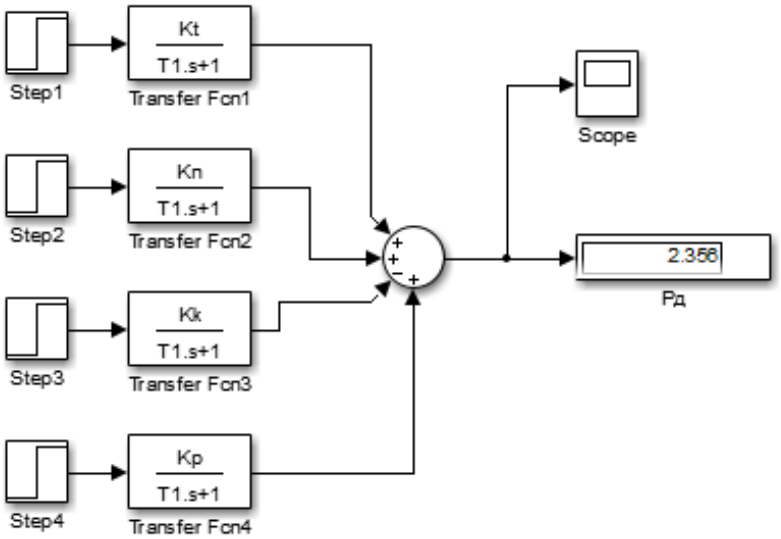


Рис.4. Модель для анализа переходных процессов в деаэраторе

В блоки Transfer Fcn прописываются параметры передаточных функции, рассчитанные предварительно в модели и сохраненные в рабочее пространство с помощью блоков To Workspace. Изменяя входные параметры деаэратора в блоках Step, модель позволяет исследовать переходные процессы и установившуюся величину давления в деаэраторе.

Разработанная модель может быть использована при исследовании систем автоматического регулирования, где деаэратор рассматривается как объект регулирования давления.

Литература:

1. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. - Одесса: Астропринт, 2001. - 395 с.

2. Тверской Ю.С. Математическая модель первого контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 и оценка ее динамической точности в переменных режимах / Ю.С. Тверской, Д.В. Лаврентичев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. - №6. – С.47-58.

УДК 621.372

Оптимизация параметров цифрового БИХ-фильтра

Мефедова Ю.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»
Утюмов А.А., студент направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Существуют различные методы расчёта цифрового БИХ-фильтра, которые осуществляются в частотной и временной областях. При расчете в частотной области используется синтез по аналоговому и цифровому фильтрам-прототипам. При использовании метода билинейного Z-преобразования не во всех случаях удаётся получить желаемый фильтр. Он может быть получен либо далеким от идеального в плане его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), что не соответствует заданным частотам пропускания (задерживания), либо получается неустойчивым. Данная ситуация возникает чаще всего в тех случаях, когда синтезируется фильтра с большой частотой дискретизации. Современные технические устройства работают на частотах с большой частотой дискретизации, поэтому данная задача актуальна при решении задачи современной цифровой обработки сигналов. Решение проблемы возможно с помощью методов оптимизации фильтра.

Отличительная особенность метода билинейного преобразования заключается в том, что система уравнений, составленная относительно коэффициентов фильтра, не может быть решена в явной форме. Поэтому необходимо прибегать к методам многомерной оптимизации. В ходе оптимизации выбирается критерий, по которому производится нахождение оптимального значения. Данным критерием может быть ошибка переходного процесса, частотной характеристики и другое. Метод реализуется с помощью последовательных приближений, в результате которых выполняется определённое число итераций и после их выполнения получают новое значение коэффициентов, которое соответствует заданному критерию оптимизации.

Существуют следующие задачи оптимизации фильтра по виду критерия [1]:

- минимизация среднеквадратической ошибки;
- минимизация L_p ошибки;
- оптимизация в ω-плоскости.

В данной работе рассмотрен метод оптимизации среднеквадратической ошибки. Поставим задачу оптимизации данным методом.

В ходе синтеза фильтра по заданным требованиям в результате выполненного расчёта БИХ-фильтра получена передаточная функция следующего вида:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{m} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=1}^{n} a_j z^{-j}}. \quad (1)$$

Определим значения АЧХ на дискретном ряде частот ω_i, где $i = 1,2\ldots M$. Данный дискретный ряд частот может быть необязательно равномерным. Согласно Штейглицу, квадрат суммарной ошибки на всех частотах, рассматриваемый в функции параметров фильтра, можно представить следующим образом:

$$Q(\theta) = \sum_{i=1}^{M} \left[\left| H(e^{j\omega_i}) \right| - \left| H_d(e^{j\omega_i}) \right| \right]^2, \quad (2)$$

где $\left| H_d(e^{j\omega_i}) \right|$ – идеальная АЧХ (желаемая в соответствии с требованиями к фильтру); $\left| H(e^{j\omega_i}) \right|$ – АЧХ исходного фильтра; θ – (4K+1)-мерный вектор искомых коэффициентов.

Минимизация квадрата ошибки сводится к нахождению оптимального значения вектора θ. Данная задача сводится к задаче многомерной оптимизации, которую можно решить любым методом.

Данную задачу можно решить с использованием программно-вычислительных средств с помощью встроенной функции *Minimize* в ПО Mathcad, которое позволяет решать многомерные задачи оптимизации, которая реализует задачу многомерной оптимизации методом Ньютона. Начальными значениями коэффициентов будут значения коэффициентов, полученные ранее при расчёте первично выбранным методом. В результате оптимизации получаем новые значения коэффициентов, которые соответствуют критерию оптимизации и соответствуют заданным требованиям фильтра.

Рассмотрим пример оптимизации расчёта цифрового режекторного БИХ-фильтра. При решении задачи использован метод билинейного Z-преобразования по аналоговому фильтру-прототипу низких частот Чебышева I рода 2 порядка [2].

Исходные требования к проектированию режекторного фильтра:

- центральная частота f0 = 100 Гц;

- ширина полосы задерживания ΔF = 60 Гц;

- частота дискретизации F = 4,41 кГц.

В результате проведённого синтеза методом билинейного Z-преобразования получена следующая передаточная функция:

$$H(z) = \frac{z^{-4} - 3{,}9632z^{-3} + 5{,}9268z^{-2} - 3{,}9632z^{-1} + 1}{z^{-4} - 3{,}8682z^{-3} + 5{,}6485z^{-2} - 3{,}6901z^{-1} + 0{,}91013}.$$

Анализ данного фильтра четвертого порядка показал, что он является неустойчивым (модули всех полюсов больше 1). Также об этом свидетельствует его АЧХ в сравнении с идеальной АЧХ (рис.1).

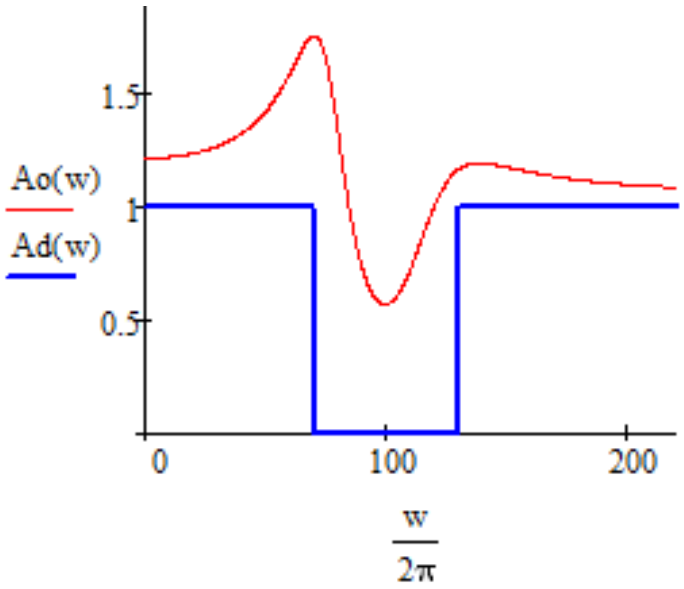


Рис.1. Идеальная АЧХ и АЧХ исходного фильтра

Проведём расчёт оптимизированных коэффициентов средствами математического редактора Mathcad.

Выделяем дискретный ряд частот, по которым произведём расчёт ошибки отклонения исходной от идеальной АЧХ. Критерием будет суммированная среднеквадратическая ошибка (СКО) данного отклонения, по данному критерию используем встроенную функцию многомерной оптимизации:

$$w_i := wmin + i \cdot dw$$

$$S(a,b) := \sum_{i=0}^{1000} \left(A(w_i, a, b) - Ad(w_i)\right)^2 \qquad \begin{pmatrix} ar \\ br \end{pmatrix} := Minimize(S, a, b)$$

$$S(a,b) = 70.3624489$$

$$S(ar,br) = 29.0914272$$

В результате получены новые значения коэффициентов для передаточной функции фильтра:

$$br = \begin{pmatrix} 1.000001 \\ -3.9632324 \\ 5.926758 \\ -3.9632324 \\ 1.000001 \end{pmatrix} \qquad ar = \begin{pmatrix} 0.9999806 \\ -3.8683274 \\ 5.6484767 \\ -3.6899841 \\ 0.9101465 \end{pmatrix}$$

АЧХ оптимизированного цифрового режекторного БИХ-фильтра будет иметь вид, удовлетворяющий критериям оптимизации (рис.2), а сам фильтр является устойчивым.

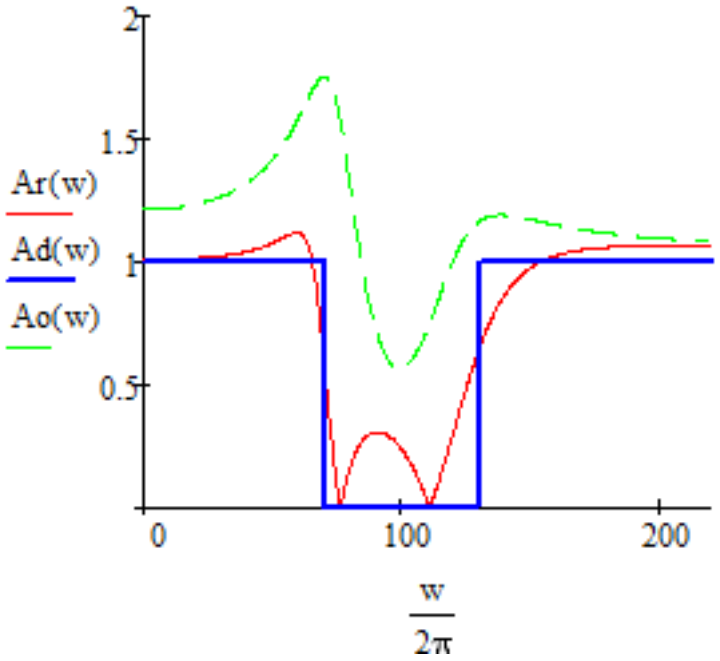


Рис.2. АЧХ: идеальная, исходного и оптимизированного фильтра

В ходе данной работы:

- решена задача оптимизации исходного цифрового БИХ-фильтра;

- реализована возможность синтеза режекторного цифрового фильтра средствами Mathcad.

Литература:

1. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б.Гоулд. – М.: Мир, 1978.

2. Мефёдова Ю.А. Разработка программы для расчета низкочастотного цифрового БИХ-фильтра / Ю.А. Мефедова, А.А. Утюмов // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. С.28-30.

УДК 004.89

Разработка нейронных сетей в Neural Network Toolbox

Миляева Н.В., кандидат экономических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»,
Абушаев И.Р., студент направления «Информационные системы и технологии»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Нейронная сеть - это пример обработки информации, который вдохновлен тем, что биологические нервные системы, такие как мозг, способны обрабатывать информацию. Ключевым элементом этой парадигмы является новая структура системы обработки информации. Она состоит из большого числа взаимосвязанных элементов обработки (нейронов), работающих в унисон для решения конкретных задач. ИНС, как и люди, учатся на примерах. ИНС настраивается для конкретного приложения, такого как распознавание образов или классификация данных, через процесс обучения. Обучение в биологических системах предполагает корректировку синаптических связей, существующих между нейронами. Это относится и к ИНС.

Моделирование нейронных сетей кажется совсем недавней разработкой, однако эта область была создана еще до появления компьютеров, и пережила, по крайней мере, одну серьезную неудачу и несколько эр. Многие успехи были достигнуты за счет использования недорогих компьютерных эмуляций. После начального периода энтузиазма, эта сфера пережила период разочарования и дурную славу. В течение этого периода, когда финансирование и профессиональная поддержка были минимальными, значительные успехи были достигнуты относительно небольшим количеством ученых. Этим пионерам удалось разработать убедительные технологии, которые превзошли ограничения, определенные Минским и Папертом. Мински и Паперт опубликовали книгу (в 1969 году), в которой они описали общее чувство расстройства (против нейронных сетей) среди исследователей и, таким образом, были приняты большинством без дальнейшего анализа. В настоящее время в области нейронной сети наблюдается возрождение интереса и соответствующего увеличения финансирования.

Нейронные сети с их замечательной способностью извлекать смысл из сложных или неточных данных могут быть использованы для извлечения закономерностей и выявления тенденций, которые слишком сложны, чтобы их заметили люди или другие компьютерные

технологии. Обученную нейронную сеть можно рассматривать как «эксперта» в категории информации, которую она получила для анализа. «Эксперт» затем может быть использован для предоставления прогнозов в новых интересных ситуациях и ответов на вопросы «что если».

Другие преимущества:

- Адаптивное обучение: способность научиться выполнять задания на основе данных, данных для обучения или первоначального опыта.
- Самоорганизация: ИНС может создавать свою собственную организацию или представление информации, которую оно получает во время обучения.
- Операции в режиме реального времени: вычисления в ИНС могут выполняться параллельно, разрабатываются специальные аппаратные устройства, поддерживающие эту возможность.
- Отказоустойчивость через избыточное кодирование информации: частичное разрушение сети приводит к соответствующему снижению производительности. Тем не менее, некоторые сетевые возможности могут быть сохранены даже при значительном повреждении.

Нейронные сети используют иной подход к решению проблем, чем обычный компьютер. Обычные компьютеры используют алгоритмический подход, то есть компьютер следует набору инструкций, чтобы решить проблему. Если не известны конкретные шаги, за которыми компьютер должен следовать, то компьютер не может решить эту проблему. Это ограничивает возможности решения проблем.[1]

Нейронные сети обрабатывают информацию так же, как это делает человеческий мозг. Сеть состоит из большого числа взаимосвязанных элементов обработки (нейронов), работающих параллельно для решения конкретной проблемы. Нейронные сети учатся на примерах. Они не могут быть запрограммированы на выполнение конкретной задачи. Примеры должны быть тщательно отобраны, в противном случае время тратится впустую или даже хуже, сеть может работать неправильно. Недостатком является то, что ее работа может быть непредсказуемой.

С другой стороны, обычные компьютеры используют когнитивный подход к решению проблем - способ решения проблемы должен быть известен и изложен в небольших недвусмысленных инструкциях. Затем эти инструкции преобразуются в языковую программу высокого уровня, а затем в машинный код, который может понять компьютер. Компьютеры, в этом плане, предсказуемы, на случай, если что-то пойдет не так.

[1] Редько, В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. - М.: Ленанд, 2015. – с. 121

Нейронные сети и обычные алгоритмические компьютеры не конкурируют друг с другом, однако дополняют друг друга. Есть задачи, более подходящие для алгоритмического подхода, такие как арифметические операции. Существуют задачи, более подходящие для нейронных сетей. Более того, для решения большого числа задач требуются системы, которые используют комбинацию из двух подходов (обычно для контроля нейронной сети используется обычный компьютер), чтобы обеспечить максимальную эффективность.

Изобретенный в 1957 году Франком Розенблаттом в авиационной лаборатории Корнелла, персептрон - это самая простая нейронная сеть, а именно: вычислительная модель одного нейрона. Персептрон состоит из одного или нескольких входов, процессора и одного выхода.

Персептрон следует модели «прямой связи», то есть входы отправляются в нейрон, обрабатываются и приводят к выходу. На приведенной выше диаграмме это означает, что сеть (один нейрон) читает слева направо: входы поступают, выход выходит.

Neural Network Toolbox поддерживает множество контролируемых и неконтролируемых сетевых архитектур. Используя модульный подход к сборке сетей, вы можете разработать собственные сетевые архитектуры для своей конкретной проблемы. Вы можете просмотреть сетевую архитектуру, включая все входы, уровни, выходы и межсоединения.

Подконтрольные нейронные сети обучаются выработке желаемых результатов в ответ на входные данные, что делает их особенно хорошо подходящими для моделирования и управления динамическими системами, классификации шумных данных и прогнозирования будущих событий. Neural Network Toolbox включает четыре типа контролируемых сетей: упреждающее, радиальное, динамическое и обучающее векторное квантование.

Сети с прямой связью имеют однонаправленные соединения от входных до выходных уровней. Они наиболее часто используются для прогнозирования, распознавания образов и подгонки нелинейных функций. Поддерживаемые сети с прямой связью включают прямое распространение с обратной связью, обратное распространение по каскаду вперед, обратное распространение с задержкой по входу, линейную и персептронную сети.

Радиальные базовые сети предоставляют альтернативный, быстрый метод для проектирования нелинейных сетей прямой связи. Поддерживаемые варианты включают обобщенную регрессию и вероятностные нейронные сети.

Динамические сети используют память и повторные соединения обратной связи для распознавания пространственных и временных структур данных. Они обычно используются для прогнозирования временных рядов, моделирования нелинейных динамических систем и приложений систем управления. Предварительно встроенные динамические сети в наборе

инструментов включают сфокусированные и распределенные задержки с задержкой, нелинейные авторегрессионные (NARX), однопоточные, Elman и Hopfield. Инструментарий также поддерживает динамическое обучение пользовательских сетей с произвольными соединениями.

Сети обучения векторному квантованию (LVQ) используют метод классификации шаблонов, которые не являются линейно разделяемыми. LVQ позволяет указать границы классов и степень детализации классификации.

Функции обучения и обучения - это математические процедуры, используемые для автоматической корректировки веса и смещений сети. Функция обучения диктует глобальный алгоритм, который влияет на все веса и смещения данной сети. Функция обучения может применяться к отдельным весам и смещениям внутри сети.

Neural Network Toolbox поддерживает различные обучающие алгоритмы, в том числе несколько методов градиентного спуска, методы сопряженных градиентов, алгоритм Левенберга-Марквардта (LM) и упругий алгоритм обратного распространения (Rprop). Модульная структура инструментария позволяет вам быстро разрабатывать собственные обучающие алгоритмы, которые могут быть интегрированы со встроенными алгоритмами. При обучении вашей нейронной сети вы можете использовать весовые коэффициенты ошибок для определения относительной важности желаемых результатов, которые могут быть приоритетными с точки зрения выборки, временного шага (для задач временных рядов), выходного элемента или любой их комбинации. Вы можете получить доступ к алгоритмам обучения из командной строки или через приложения, которые показывают схемы обучаемой сети и предоставляют графики производительности сети и информацию о состоянии, чтобы помочь вам контролировать процесс обучения.

Также предоставляется набор обучающих функций, включая градиентный спуск, обучение Hebbian, LVQ, Widrow-Hoff и Kohonen.

Построим модель функции следующего вида: y=Asin($\boldsymbol{\omega t}$+$\boldsymbol{\varphi}$).

Зададим амплитуду A=5, $\boldsymbol{\omega}$=pi/3 и $\boldsymbol{\varphi}$=55, где x € 1÷N, а N - это число точек функции.

В данном случае x – время – будут являться входными данными, а целью будет выполнение самой функции, которая примет вид: 5*sin(pi* [1:100] /3+55).

Иными словами, массив данных [1:100] является обучающими данными, а выражение 5*sin(pi* [1:100] /3+55) является целью, определяющей значение функции.

Выберем персептрон прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки(feed-forwardbackprop)с тринадцатью сигмоидными (TANSIG) нейронами скрытого слоя и одним линейным (PURELIN) нейроном выходного слоя. Обучение будем производить, используя алгоритм Левенберга-Маркардта (Levenberg-Mar-

quardt), который реализует функция TRAINLM. Функция ошибки - MSE. Получим нейронную сеть, общий вид которой представлен на рис.1.

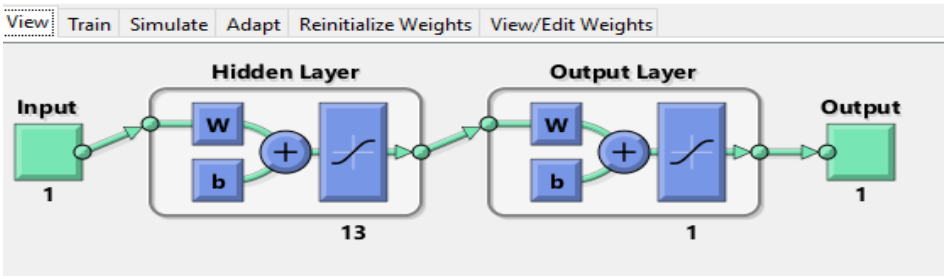


Рис.1. Нейронная сеть

Произведем обучение сети, чтобы улучшить синаптические связи между нейронами. Для этого воспользуемся параметрами, которые обозначены на рис.2.

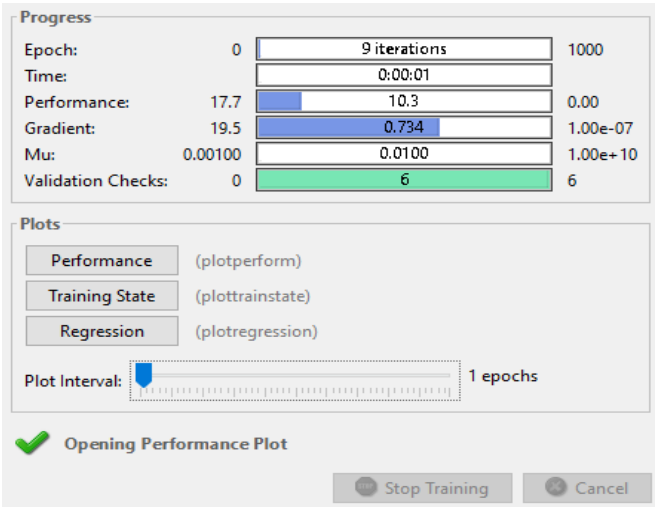


Рис.2. Параметры для обучения нейронной сети

Построим график процесса обучения нейронной сети. График включает поведение исходной нейронной сети, которая описывается функцией y=Asin($\omega t+\varphi$), процесс проверки, тестирование сети и лучший вариант.

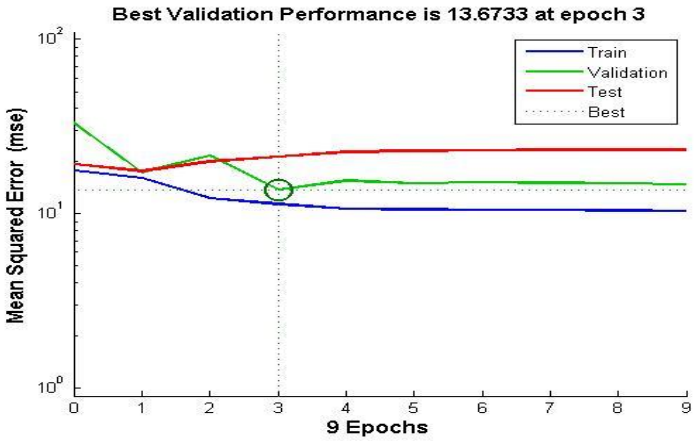


Рис.3. Обучения нейронной сети

Как мы видим из графика, обучение сети произошло за 9 итерационных циклов. Лучшие результаты сеть показала во время 3 итерации.

После обучения нейронной сети выходные данные имеют вид:

[0.90792 0.83435 0.7308 0.61767 0.52045 0.452 0.40974 0.38474 0.36832 0.35328 0.33246 0.29657 0.23301 0.12925 -0.014809 -0.17435 -0.31216 -0.40816 -0.46619 -0.49989 -0.52224 -0.54392 -0.57555 -0.62986 -0.71956 -0.846 -0.98633 -1.1053 -1.1841 -1.2254 -1.2381 -1.2247 -1.1753 -1.0605 -0.82028 -0.36158 0.37859 1.2575 1.9164 2.1564 2.079 1.8932 1.7491 1.6955 1.7189 1.781 1.8441 1.8895 1.9159 1.9285 1.9307 1.9223 1.8965 1.8352 1.6969 1.3949 0.77189 -0.33131 -1.6927 -2.5754 -2.6069 -1.943 -1.0203 -0.27266 0.1873 0.43575 0.56139 0.62051 0.64193 0.63633 0.60088 0.51913 0.35947 0.082164 -0.32617 -0.80142 -1.2214 -1.5079 -1.6614 -1.711 -1.6714 -1.531 -1.262 -0.86023 -0.39584 0.011382 0.29187 0.45371 0.53426 0.56356 0.55556 0.51035 0.42085 0.28921 0.15397 0.10042 0.22926 0.60996 1.2186 1.8875]

Литература:

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. - М.: РиС, 2013. - 384 с.

2. Редько, В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. - М.: Ленанд, 2015. - 224 с.

УДК 004.89

Нейронные сети в энергетике

Фролова М.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Моисеева Ю.Р., Гридина Е.В., студенты направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Нейронные сети в современном мире нашли широкое применение. Благодаря своей структуре нейронная сеть позволяет анализировать и запоминать различную информацию. Нейронные сети также способны не только анализировать входящую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти. Они могут устанавливать функциональные зависимости между различными параметрами, задаваемыми в виде совокупности входных и выходных величин модели, а также автоматически определять параметры этих зависимостей, а затем по новым значениям самонастраиваться.

Нейронная сеть - совокупность нейроподобных элементов, определенным образом соединенных друг с другом и с внешней средой с помощью связей, определяемых весовыми коэффициентами.

В основу искусственных нейронных сетей положены следующие черты живых нейронных сетей, позволяющие им хорошо справляться с нерегулярными задачами:

- в обработке информации участвует большое количество нейронов
- простой обрабатывающий элемент – нейрон
- глобальные связи – связь одного нейрона с большим количеством других нейронов
- массированная параллельность обработки информации

Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений.

На практике нейронные сети реализуют аналоговым, цифровым или гибридным способами (таблица 1).

Таблица 1

Способы реализации нейронных сетей

Аналоговый способ реализации	Цифровой способ реализации
набор компонентов, размеры которых меньше размеров биологического нейрона, с взаимосвязями между нейронами.	бинарные слова с характерной длиной слова
Достоинства	
возможность высокой плотности расположения элементов	использования RAM для хранения весовых коэффициентов
высокие скорости обработки информации	независимость от электромагнитных помех
	хорошо отработанные технологии изготовления
	высокая точность вычислительных операций
	легкая встраиваемость в уже существующие системы.
Недостатки	
трудности в получении высокой точности, обусловленная различиями в компонентах из-за системы допусков при производстве	более медленные вычисления
различные характеры тепловых и электромагнитных помех, искажающих полезный сигнал	конвертация аналогового сигнала.
сложности в организации операций аналогового умножения и долгосрочном хранении весовых коэффициентов	

При использовании гибридного способа пытаются получить преимущества от систем аналогового и цифрового исполнений. Чаще всего, достигается это с помощью связи между

устройствами и датчиками посредством цифровой составляющей, а аналоговые методы используются для полной или частичной обработки.

Так, чип Bellcore CLNN-32 хранит весовые коэффициенты в цифровой форме, а моделирование ИНС производится при помощи аналоговых схем. Также существуют проекты, в которых весовые коэффициенты хранятся в конденсаторах, подзаряжающихся периодически от внутренних источников тока.

Широкое применение нашли нейронные сети в энергетике. Нейронные сети помогают решить множество задач связанных с автоматизацией прогнозирования, автоматизацией процесса предсказаний, управлением, автоматизацией процесса принятия решений и т.д.

Наиболее перспективными с точки зрения искусственных нейронных сетей в энергетике являются оценка надежности, динамическая устойчивость электрических сетей, оптимизация распределения нагрузки, диагностика и локализация неисправностей.

Применение нейронных сетей позволяет получить точность прогнозирования электропотребления на уровне 96–97%, что дает возможность повысить эффективность энергосбытовых компаний.

В таблице 2 представлены вычислительные задачи энергетики, в которых применение нейронных сетей признано высокоэффективным.

Таблица 2

Вычислительные задачи применения нейронных сетей

Метод	Задача
Прогнозирование	– прогнозирование спроса на электрическую энергию – прогнозирование спроса на тепловую энергию – прогнозирование спроса на природный газ – прогнозирование температуры наружного воздуха
Диагностика	– диагностика состояния и локализация неисправностей станционного оборудования – диагностика состояния и локализация неисправностей сетевого оборудования
Оценка	– оценка устойчивости энергосистемы
Моделирование	– моделирование интенсивности загрязнения окружающей среды энергоблоками

Проведенный анализ показал, что с помощью нейронных сетей можно решать задачи классификации, прогнозирования, управления, принятия решений, кодирования и декодирования информации, аппроксимации зависимостей. Таким образом, можно сделать вывод о высокой эффективности использования нейронных сетей в энергетике.

Литература:

1. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика/ В. В. Круглов, В. В. Борисов. – Изд-во Горячая линия-Телеком, 2002. – 382с.

2. Ясницкий, Л.Н. Введение в искусственный интеллект/ Л.Н. Ясницкий. – Изд-во Академия, 2005. – 176с.

УДК 004.89

Применение технологий интеллектуального анализа данных в технике и управлении

Фролова М.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Амантурлиева Ю.Ж., Анисимова Н.О.,
студенты направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Интеллектуальный анализ данных представляет собой процесс, позволяющий осуществить и поддержать принятие решений, основанных на поиске скрытых закономерностей в имеющейся информации - знаниях. Интеллектуальный анализ практикуется при исследовании больших данных и объединяет использование знаний по различным дисциплинам. Закономерности, выделяемые при интеллектуальном анализе данных, невозможно распознать при традиционном просмотре данных в следствии избыточного объема данных. Выделяемые закономерности и тренды можно объединить и выявить как модель интеллектуального анализа данных. Модели интеллектуального анализа данных используются при прогнозировании, оценке риска и вероятностей, при формулировании рекомендаций, группировке и поиске последовательностей.

На данный момент существует огромное количество технологий интеллектуального анализа данных. Они обеспечивают очистку локальных данных баз организации, применение статистических методов и других сложных алгоритмов. Появлению аналитических систем поспособствовало осознание руководящими звеньями предприятий факта, что в базах данных находится не только информация, но еще и некоторые знания. Они позволяют охарактеризовать процесс управления предприятием и дать интеллектуальную информацию для более конструктивного принятия решений [1].

Можно выделить следующие технологии интеллектуального анализа данных:

• Оперативный анализ данных посредством OLAP-систем (OnLine Analytical Processing). На данный момент разработано достаточное большое количество продуктов, реализующих технологию оперативной аналитической обработки данных OLAP. Популярность OLAP-технологий обусловлена их практической значимостью для анализа больших объемов данных. Например, для анализа геопространственных данных пригодна модель Spatial OLAP, для мобильных пользователей – Mobile OLAP.

• Поиск и интеллектуальный выбор данных Data Mining. Одной из самых главных задач методов Data Mining является наглядное представление результатов вычислений, так называемая визуализация. Благодаря этому люди, не имеющие специальную математическую подготовку, получают возможность использовать инструментарий Data Mining без затруднений. Однако для применения статистических методов анализа данных необходимо хорошо владеть теорией вероятности и математической статистикой.

• Деловые интеллектуальные технологии BIS. Они включают в себя методы и инструменты, преобразующие непроанализированную ранее информацию в обработанную, удобную форму. В основном такие данные используются для бизнес-анализа. При этом для нахождения стратегических бизнес-возможностей технология BIS подвергает обработке огромное количество неструктурированных данных.

• Интеллектуальный анализ текстовой информации. Он позволяет получать информацию из коллекций текстовых документов, основываясь на применении эффективных в практическом плане методов машинного обучения и обработки естественного языка. Главными группами задач ИАТ являются: категоризация текстов, извлечение информации и информационный поиск, обработка изменений в коллекциях текстов, а также разработка средств представления информации для пользователя.

Аналитические системы OLAP предназначены для анализа информации в больших объемах. Реализация многомерного анализа может быть осуществлена средствами анализа данных офисных приложений и распределенными OLAP-системами.

Широкое применение интеллектуальный анализ нашел в технике и управлении.

Большой популярностью пользуются системы диагностики и мониторинга автомобилей, широко используемые в автосервисах. Такие системы позволяют проводить диагностику состояния всех узлов, деталей и блоков управления автомобиля. Диагностика автомобиля дает возможность получить технические характеристики автомобиля, объективные данные о техническом состоянии машины, что позволяет выявить неисправности на самой ранней стадии обнаружения [1].

Системы контроля и управления осуществляют контроль за определенными процессами и принимают решения на основе данных, поступающих от объекта контроля и управления.

Интеллектуальные системы нашли широкое применение в машиностроении, экономике, образовании, медицине, сельском хозяйстве и других областях [2].

Широко применяются в промышленности системы мониторинга. С помощью них осуществляется контроль технологических процессов изготовления различной продукции, причём при любом малейшем несоответствии параметров с допустимыми нормами система мониторинга выдаёт предупреждающее оповещение. Затем она помогает обнаружить причину возникновения этих отклонений, после чего выдаёт рекомендацию по их устранению.

В нефтепереработке для создания дедуктивных датчиков используются нейросетевые технологии. Подобные системы позволяют в режиме реального времени измерять труднодоступные показатели, используя возможности нейронных сетей по моделированию нелинейных зависимостей. Благодаря применению дедуктивных датчиков можно достичь достаточно высокого экономического эффекта путём значительного повышения качества управления процессами, качества продукции, снижения затрат на лабораторные испытания. Данные датчики можно объединять в более сложные системы управления процессами [3].

Также широкое применение интеллектуальный анализ данных нашел в управлении.

Методы интеллектуального анализа используются при прогнозировании, планировании и составлении бюджета [2]. Такие модели, как нейросетевые активно используются менеджерами и аналитиками для прогнозирования влияния на уровень продаж следующих факторов: стоимость товара, затраты на продвижение продукции и рекламу; вырабатывания методики повышения производительности труда сотрудников предприятия в зависимости от уровня подготовки, оплаты труда, опыта работы, взаимоотношений с руководством и т.п. С помощью данной модели, руководство среди многочисленных клиентов фирмы может выбрать тех, сотрудничество с которыми наиболее выгодно.

Для применения методов нейронных сетей в процессе информационного анализа данных в бизнес-приложениях существует ряд инструментальных средств высокого уровня. В первую очередь к ним относятся такие системы, как 4Thought (Cognos) и SENN Sales (Siemens Nixdorf).

Таким образом, нейросетевые технологии предоставляют широкий ряд возможностей для решения задач прогнозирования, обработки сигналов и распознавания образов. Ко всему этому данная модель гарантирует высокое качество решений при небольших расходах, по сравнению с традиционными методами математической статистики, классификации и

аппроксимации. Нейросетевые технологии являются надежной системой для обнаружения нелинейных закономерностей в объёме неоднородных данных, получения верных результатов при большом числе входных параметров и обеспечения соответствующего норме решения при относительно малом количестве данных.

Таким образом, дальнейшее внедрение интеллектуального анализа данных в различных сферах позволит аналитикам и руководителям получать быстрый последовательный интерактивный доступ к внутренней структуре данных и преобразовывать исходные данные в наглядной форме так, чтобы они отражали структуру системы нужным для пользователя способом. Использование подобного подхода повысит эффективность управленческой деятельности. Использование систем диагностики и мониторинга, основанных на методах интеллектуального анализа позволит улучшить контроль технологических процессов, тем самым обеспечивая повышение качества продукции.

Литература:

1. Дюк В. А., Флегонтов А. В., Фомина И. К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях/ Дюк В. А., Флегонтов А. В., Фомина И. К. // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена.-2011.-№138.С. 77-84

2. Шапот М., Рощупкина В. Интеллектуальный анализ данных и управление процессами/ Шапот М., Рощупкина В. // Открытые системы. – 1998.- №04.С.12-18

3. Станкевич Л.А. Интеллектуальные системы и технологии: Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. / Л.А. Станкевич. - ЮРАЙТ, 2016. - 398 с.

УДК 681.5

Сравнительный анализ показателей фрактальности при нахождении дефекта

Шумарова О.С., кандидат технических наук, ассистент кафедры
«Информатика и управление в технических системах»,
Утюмов А.А., студент направления «Управление в технических системах»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Модернизация процесса автоматического контроля и выдачи результатов становится все более необходимым в связи с возникновением задач управления технологическими

процессами и качеством продукции.

Вихретоковый метод контроля применяется в различных областях производства. Наиболее перспективным представляется его применение при обнаружении дефектов [1].

Используя определённые показатели, можно построить фрактальную модель, привязав к определённому фракталу. Это позволяет сказать о структуре сигнала и привязать качественные свойства к определённому виду сигнала. При исследовании сигнала вихретокового показателя с помощью фрактального анализа можно более качественно сказать о структуре поверхности материала детали.

Многим физическим объектам присуще явления самоподобия, а также дробной размерности, такие объекты являются фракталами. По Бенуа Мандельброту фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому (лат. fractus - дробленный). При этом возникает необходимость выявления самоподобия в объектах исследования, используя методы и признаки, по которым то или иное фрактальное поведение обнаруживается.

При исследовании сигнала, который характеризует физическую зависимость ставится необходимым исследование и определение его качеств и характеристик. В этой области наиболее перспективным является направление фрактального анализа. Прямым признаком, характеризующим фрактальные свойства объекта, является его фрактальная размерность [2].

Понятие размерности традиционно используется в трёх пониманиях:

- число переменных, описывающих закономерность;
- размерность Евклидового пространства;
- топологическая размерность.

В случае топологической размерности – это число координат, необходимых для задания положения точек внутри фигуры. Линия, плоскость, поверхность шара имеют целое число размерности (для линии одномерно, для плоскости и шара двумерно), поэтому при этом понимании размерности могут приниматься только целые значения.

К объектам с фрактальными свойствами данное определение неприменимо, так как их размерность не имеет целого значения. Поэтому для фракталов вводится понятие фрактальной размерности, которая принимает дробные значения по отношению к традиционной и промежуточное между целыми значениями топологической размерности (например, снежинка Коха имеет размерность 1.2618) [3].

Различают несколько видов фрактальной размерности:

- размерность подобия;
- размерность Хаусдорфа-Безиковича;
- размерность Минковского.

Отличие их заключается в способе определения фрактальной размерности.

Размерность подобия D – заключается в покрытии объекта в r раз уменьшенными копиями N количеством, которыми заполняется исходный объект и повторяет его (или измерения величины или объекта уменьшенным шагом $\delta = 1/r$.

Данная размерность подобия вычисляется:

$$D = \lim_{r \to \infty} \frac{\log(N)}{\log(r)} \text{ или } D = -\lim_{\delta \to 0} \frac{\log(N)}{\log(\delta)} \quad (1)$$

Для примитивных геометрических объектов (Евклидовых) фрактальная размерность выражается целым числом (совпадает с топологической размерностью). В данном случае фрактальная размерность не зависит от масштаба рассмотрения.

Размерность Хаусдорфа-Безиковича D_1 – заключается в покрытии N отрезками с длинной δ. При этом, количество отрезков возрастает неограниченно быстрее, чем убывает длина отрезка. Для оценки скорости роста вводят величину:

Размерность Хаусдорфа-Безиковича вычисляется по формуле [3]:

$$D = -\lim_{\delta \to 0} \frac{\log(N)}{\log(\delta)} \quad (2)$$

При этом существует критическое значение, при котором $D = D_1$:

$$\begin{cases} M_D \xrightarrow[\delta \to 0]{} 0 & при \quad D > D_1 \\ M_D \xrightarrow[\delta \to 0]{} const & при \quad D = D_1 \\ M_D \xrightarrow[\delta \to 0]{} \infty & при \quad D < D_1 \end{cases} \quad (3)$$

Размерность Минковского является аналогом предыдущей размерности. Отличается алгоритмом вычисления и определением размерности. Определение сводится к следующему: центры окружностей с радиусом r движутся вдоль кривой, образуя площадь S при движении шара, то есть покрытие кривой N шарами. В случае гладкой кривой количество шаров равен длине кривой, но для фрактальной кривой количество является бесконечным.

Формула вычисления размерности Минковского:

$$D_M = -\lim_{\delta \to 0} \frac{\log\left(\frac{S}{\delta^2}\right)}{\log(\delta)} \quad (4)$$

При вычислении применяется упрощённая формула Минковского-Булигана:

$$D_M = -\lim_{\delta \to 0} \frac{\log(S)}{\log(\delta)} + 2 \quad (5)$$

Определения размерности Минковского и Хаусдорфа-Безиковича примерно похожи по смыслу. И также для всех строго самоподобных и регулярных фракталов обе размерности равны между собой, однако когда размерности не равны, например, размерность $D_M > D_1$ то

говорят, что размерность Минсковского «грубее», чем Хаусдорфа-Безиковича, так как не учитывает некоторые тонкие топологические структуры объекта.

Алгоритм вычисления размерности по определению Хаусдорфа-Безиковича наиболее применим при более изломанных линий, так как более учитывает тонкости кривой, что является более применимым к зашумлённому сигналу, а также для выявления всплесков при нахождении дефектов, чем алгоритм по определению Минковского. Второй же алгоритм является более упрощённым при вычислении фрактальной размерности.

Помимо перечисленных методов определения фрактальной размерности также существуют методы R/S анализа, предложенные исследователем Хёрстом, который исследовал потоки воды в реках. В основе определения фрактальной размерности данным методом является аппроксимирующая зависимость [1]:

$$D_1 = d - H \tag{6}$$

где d – евклидова размерность (для двухмерного Декартового пространства равна 2); H – показатель Хёрста, принимающий значения от 0 до 1.

В основе определения показателя Хёрста лежит эмпирический закон, представленный формулой (7).

$$\frac{R}{S} \approx (a \cdot N)^H \tag{7}$$

где a – некоторая постоянная; R – размах величины, разница между максимальными и минимальными значениями приращений наблюдаемой величины на определённом объёме выборки N; S – среднеквадратическое отклонение на определённом объёме выборки N; N – текущее значение объема выборки.

В формуле (6) показатель Хёрста связан с размерностью Хаусдорфа-Безиковича, вычисление данной размерности сводится к вычислению показателя Хёрста, который определяется на основе соотношения размаха R, среднеквадратического отклонения (СКО) S.

Данный алгоритм наиболее простой при реализации, практичен при расчётах исследуемых зависимостей, так как расчёт проводится по элементарным расчётным критериям, а также имеет 5% точность расчёта. Поэтому R/S анализ является наиболее применимым при исследовании сигналов и нахождении дефектов.

Наиболее простым является размерность Минковского, примерно является равным размерности Хаусдорфа-Безиковича. Однако при наименьших всплесках наблюдается расхождение двух размерностей, на практике определение Минковского является «грубым», для сложных сигналов наиболее предпочтительна размерность Хаусдорфа-Безиковича, который является более точным при определённых условиях и учитывает наименьшие изменения сигналов. Однако прямая реализация его алгоритма наиболее затруднительна.

Метод, основанный на расчёте показателя Хёрста позволяет рассчитывать размерность Хаусдорфа-Безиковича, алгоритм является наиболее простым в реализации, также соответствует 5% точности при расчётах. При исследовании сигналов данный метод наиболее подходит и не требует реализации алгоритма представления сигнала в виде фрактальных фигур и за счёт этого является наиболее производительным и более предпочтителен при расчётах.

Литература:

1. Шумарова О.С., Утюмов А.А. Применение фрактального анализа в подшипниковом производстве / Сборник ВТП

2. Федер Е. Фракталы / Федер Е. – «Мир»: Пер. с англ.-М.: Мир, 1991. - 254 с.

3. Вишик, М.И. Фрактальная размерность множеств. / Соросовский образовательный журнал. 1998. №1. С. 122–127.

УДК 643

Анализ возможности автоматизации сбора информации о температуре теплоносителя с целью перераспределения тепловых потоков

Щеголев С.С., кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»,
Мотков А.Г., ассистент кафедры «Информатика и управление в технических системах»,
Захарова А.С., студентка направления «Электроэнергетика и электротехника»
Балаковский инженерно-технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Система теплоснабжения города покрывает потребности населения в отоплении жилых и общественных помещений, горячем водоснабжении. При этом в летний период помещения не отапливаются, поэтому потребление тепла происходит более неравномерно.

К основным источникам тепловой энергии можно отнести тепловые электростанции и котельные, а к теплоносителю - воду. При высокой температуре примеси, содержащиеся в воде, выпадают в осадок, что способствует выходу из строя тепловых сетей. Поэтому к горячей воде предъявляются высокие требования по чистоте.

В настоящее время протяженность тепловых сетей города Балаково составляет 186,25 км магистральных тепловых сетей, 276,7 км распределительных (внутриквартальными) тепловых сетей (в т.ч. 87,7 км сети горячего водоснабжения). Система централизованного

теплоснабжения включает один источник тепловой энергии (Балаковская ТЭЦ-4 ОАО «ВТГК»), установленная тепловая мощность которого составляет 1532 Гкал, 76 ЦТП, 53 групповых и 58 индивидуальных бойлерных и 8 насосных станций. В год происходит до 100 аварий трубопровода, в основном, локальных. Недавним примером крупной аварии стал прорыв магистрального трубопровода в 4-м микрорайоне на улице вокзальная 16 декабря 2016 года, который повлек за собой перебой в подаче тепла в 900 домах города. Для лучшего представления масштабов проблемы можно отметить, что зимний режим теплоснабжения города Балаково предусматривает подачу 10000 тонн теплоносителя в час при давлении выше 9 кг/ см².

Рис. 1. Проблемы, связанные с износом труб

При рассмотрении локальных аварий можно выделить дефект трубопровода, выявленный и устраненный 29 декабря в районе подъема на шлюзовой мост. В зону проведения ремонта попали 9 домов на ул. Титова и ул. Чапаева, школа, институт и пенсионный фонд.

20 декабря 2016 года на улице 30 лет Победы прорвало трубу водоканала. Произошло затопление одной из центральных улиц города.

Таким образом, одной из основных проблем системы теплоснабжения города является износ труб. На диаграмме видно, что более половины тепловых сетей города Балаково эксплуатируются более 25 лет и нуждаются в замене.

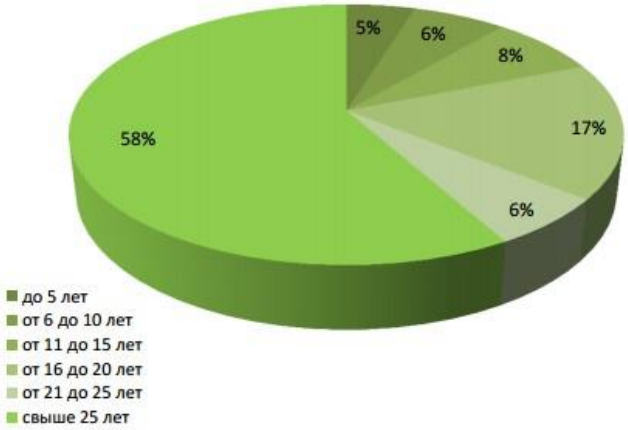


Рис. 2. Состояние тепловых сетей в городе Балаково

Разработкой планов технического перевооружения и реконструкции балаковского теплосетевого узла и развития городской системы централизованного теплоснабжения, а также выполнением работ по ремонту и модернизации системы отопления города занимаются Саратовский филиал «Т Плюс» и администрация Балаковского муниципального района.

В частности, в островной части города завершается прокладка новой теплотрассы, длина трубопровода которой составляет 227 метров.

Фактор, описанный выше, будет рассматриваться как внешний. Изменять и воздействовать на него не представляется возможным. Учитывая, что, в основном, устранение последствий аварии происходит оперативно, будем считать, что влияние этого фактора на разрабатываемую систему снижается.

Вторая проблема, по сути, вытекает из первой и заключается в нарушении или полном разрушении тепловой изоляции подземной и наружной прокладки. За счет этого фактора происходят огромные потери тепловой энергии (до 30% от отпущенного тепла). Энергоэффективность многократно снижается. Этот фактор также относится к группе внешних.

Третьей является проблема, связанная с перераспределением тепловых потоков. Она заключается в неравномерной температуре подаваемого теплоносителя.

Современное централизованное теплоснабжение требует непрерывного вмешательства человека для регулирования работы оборудования тепловых станций и сетей. Такое регулирование осуществляется с главного поста управления. При этом обеспечивается автоматическая передача информации из ЦТП, контрольно-распределительных и тепловых пунктов в центральный диспетчерский пункт. Во всех пунктах тепловой сети размещаются автоматические приборы с выводом показаний контрольно-измерительных приборов, состоянии электрооборудования и о положениях запорно-регулирующей арматуры. Внедрение телеконтроля и телемеханизации расширяет возможности диспетчерского регулирования позволяет повысить эффективность централизованного управления за счет сокращения времени на сбор информации.

Это открывает широкие перспективы для применения систем автоматического управления с внесением информации от контролируемых объектов на сервер управления для решения вопросов эксплуатации:

– выбора оптимального сочетания центрального, группового, местного и индивидуального регулирования тепловой нагрузки с учетом местных метеоусловий и микроклимата в отдельных помещениях;

– выбора оптимального варианта распределения тепловой нагрузки между основными и пиковыми источниками тепла;

– ускоренной локализации аварийных участков и организации оптимального режима теплоснабжения в аварийных ситуациях;

– выбора оптимальных условий технической эксплуатации систем теплоснабжения.

В городе Балаково выявлено несоответствие состояния диспетчерской службы выше упомянутым возможностям. Диспетчерская служба в городе не может дать оценку происходящим процессам в тепловых сетях из-за отсутствия пьезометрических графиков, автоматических приборов с выводом электрических сигналов о показаниях контрольно-измерительных приборов. Это делает невозможным принятие оперативного решения по поддержанию качества теплоснабжения

Проблема, связанная с необходимостью перераспределения тепловых потоков, присутствует не только в городе Балаково. Например, в Омске наблюдается низкий процент использования теплофикационного оборудования на ТЭЦ, наличие неиспользуемого резерва тепловой мощности оборудования тепловых электростанций, перерасход удельного расхода топлива на одного жителя (в 1.9 раза). Заявленная тепловая мощность в течение года используется крайне неэффективно. Отсутствуют регуляторы температуры горячего водоснабжения. Это приводит к тому, что температура подаваемой воды часто не соответствует стандартам и может меняться в пределах от 20 до 90 градусов.

Следовательно, описанная проблема не является локальной и ее решение в границах конкретного города можно, в дальнейшем, применить и для других населенных пунктов с учетом их особенностей.

На данный момент установлены приборы учета тепловой энергии для контроля работы тепловых сетей. Диспетчеризация ЦТП отсутствует.

Таблица 1

Приборы учета тепловой энергии

ЦТП №	Адрес	Dy	Тип теплосчетчика	Дата приемки
1	Рабочая 41/1	150	Взлет ТСРВ-023	30 ноября 2006
2	Рабочая 57/1	150	ТЭМ 05.02	2001
3	Харьковская 34/1	150	ТЭМ 05.02	2002
4	Бр. Захаровых 6/1	150	Взлет ТСРВ-023	12 декабря 2006
5	Бр. Захаровых 144 1	150	Взлет ТСРВ-023	20 ноября 2006
6	Свердлова 17/1 1	150	Взлет ТСРВ-023	1 декабря 2006
7	Свердлова 31/1	150	ТЭМ 05.02	2003
8	Свердлова 1/1	150	ТЭМ 05.02	2002
9	Свердлова 56/1	200	Взлет ТСРВ-023	30 ноября 2006
10	20 лет ВЛКСМ 55/1	150	Взлет ТСРВ-023	20 ноября 2006
…	…	…	…	…
77	30 лет Победы 38/1	150	Взлет ТСРВ-023	декабрь 2010

Тепловычислитель «ВЗЛЕТ ТСРВ» предназначен для использования на узлах учета тепловой энергии с целью измерения параметров теплоносителя и представления данных по потреблению теплоресурсов. Среди его особенностей можно выделить группу, позволяющую автоматизировать процесс измерений: вывод результатов измерения в виде частотно-импульсного или логического сигнала и вывод измерительной, диагностической, установочной, архивной и другой информации через последовательный интерфейс RS-232 или RS-485, а также через интерфейс Ethernet.

Счетчики воды ТЭМ предназначены для измерения объёма теплофикационной воды, рассчитаны для работы с любыми тепловычислителями, воспринимающими числоимпульсные сигналы, и входят в состав теплосчетчиков ЛОГИКА 941К и ЛОГИКА 942К.

Исходя из приведенного обзора, можно сделать вывод, что счетчики, установленные на ЦТП, могут использоваться для автоматизированного сбора информации с целью последующей обработки.

Таким образом, обладая схемой системы теплоснабжения города и сняв показания с датчиков, можно спрогнозировать участки, на которых температура теплоносителя на входе в дом будет максимальной и минимальной. Получив численные значения температуры теплоносителя и воздуха внутри помещений, станет возможным перераспределение тепловых потоков с целью усреднения температурных показателей.

СЕКЦИЯ 5:
«НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

УДК 69.036.3

Основные аспекты расчета железобетонных оболочек гипаров

Голова Т.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В практике проектирования и строительства покрытий типа оболочек наряду с оболочками нулевой и положительной гауссовой кривизны получили распространение оболочки отрицательной гауссовой кривизны, очерненные по поверхности гиперболического параболоида, которые сокращенно стали называются «гипарами». Архитектурно-конструктивные возможности гипара заключены в его форме, обладающей ярко выраженной пространственностью, объемностью, приближающей его к известным в архитектуре стереометрическим формам: параллелепипеду, конусу, полусфере. В зависимости от функциональной задачи по ограничению пространства все гипары можно разбить на три группы: гипары-покрытия, гипары-здания, консольные гипары. Тонкостенные пространственные покрытия в виде гипаров, выполненные из торкрет-бетона, имеют ряд преимуществ по сравнению с покрытиями из плоскостных конструкций (ферм, арок, балок, панелей). Ими можно перекрывать не только малые, но и большие площади (сетка колонн 30х30 м, 36х36 м и более).

Поверхности гипаров принадлежат к поверхностям переноса двоякой разнозначной кривизны. Рассмотрим построение поверхности гипара (рис.1). В сечениях оболочки плоскостями, параллельными координатным осям AOz и BOz , лежат параболы 1 положительной и отрицательной кривизны (рис. 1). В сечениях плоскостями параллельными плоскости xOy – гиперболы. Отсюда название оболочки – гиперболический параболоид. Гипар, как оболочка переноса, образуется поступательным перемещением одной параболы (образующей) по другой параболе (направляющей) [1].

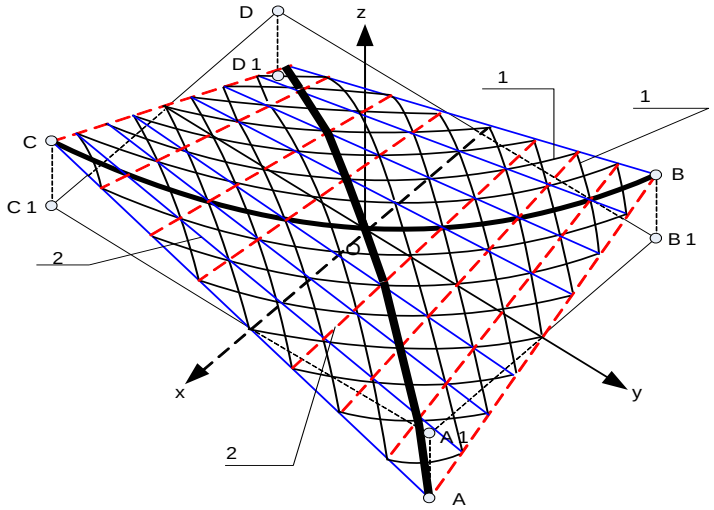


Рис. 1. Геометрия построения гипара 1 – образующие параболы; 2 – прямые

Напряженное состояние тонкостенной оболочки характеризуется действием сил в ее срединной поверхности, обуславливающих деформации в этой поверхности оболочки (рис.2, а), а также действием поперечных сил и моментов, изгибающих оболочку (рис.2, б).

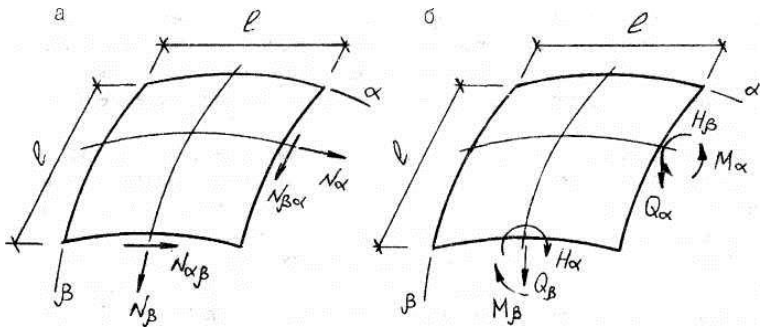


Рис.2. Внутренние силы и моменты, действующие на элемент тонкостенной оболочки: а - срединной поверхности; б – из срединной поверхности

Внутренние усилия, действующие в срединной поверхности оболочки, представляют собой главные векторы нормальных или касательных внутренних усилий, которые суммируют напряжения, равномерно распределенные по толщине элемента оболочки, выделенного нормальными сечениями. Моменты в оболочке являются главными векторами, которые суммируют моменты нормальных или касательных напряжений, линейно распределенных по толщине того же элемента оболочки.

Тонкостенные оболочки имеют малую жесткость на изгиб в сравнении с жесткостью при действии сил, развивающихся в срединной поверхности. Вследствие этого в большинстве оболочек, загруженных нагрузками, которые распределены по всей поверхности, на значительной части их площади возникает безмоментное напряженное состояние, а полное напряженное состояние – лишь в отдельных зонах; там, где происходит заметное искривление срединной поверхности.

Большая область тонкостенных оболочек, на которые действуют распределенные

нагрузки, находится в безмоментном напряженном состоянии, а зоны местного изгиба характеризуются полным напряженным состоянием [2].

Безмоментная теория, используемая для расчета тонкостенных оболочек, построена на предположении, что в оболочке действуют только нормальные и касательные силы, а изгибающими, крутящими моментами и поперечными силами вследствие их малости пренебрегают.

Компьютеризация учебного процесса и использование современного программного оборудования позволили упростить расчет таких сложных конструктивных форм с помощью программного комплекса «Лира-9.6» [3].

Теоретической основой рассматриваемого программного продукта «ЛИРА-9.6» является метод конечных элементов, реализованный в форме перемещений. Выбор именно этой формы разработчики объясняют простотой алгоритмизации и физической интерпретации, возможностью создания единых методов построения матриц жесткости и векторов нагрузок для различных типов конечных элементов, возможностью учета произвольных граничных условий и сложной геометрии рассчитываемой конструкции [3].

Перед выполнением расчета оболочки с использованием программного комплекса «Лира-9.6», необходимо подготовить исходные данные. Состав исходных данных следующий:

1. Определение геометрических размеров (с учетом разбиения на элементы) расчетной схемы оболочки здания.

2. Назначение материала и определение его физико-механических характеристик: модуля упругости E, коэффициента поперечной деформации ν, объемного веса конструкции R_0.

Для несущих железобетонных конструкций не допускается применять тяжелые бетоны класса по прочности на сжатие ниже В 7.5, для колонн - ниже В 15, для сильнонагруженных колонн (колонн нижних этажей многоэтажных зданий) - ниже В25 (СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» [4]). На практике для монолитных железобетонных несущих конструкций применяются тяжелые бетоны классов В15, В20, В25. Начальный модуль упругости тяжелого бетона при естественном твердении для класса В15 составляет 23000 МПа, для класса В20 – 27000 МПа, для класса В25 – 30000 МПа. Начальный коэффициент поперечной деформации ν принимается равным 0,2. Объемный вес железобетона составляет 25 кН/м^3. Объемный вес уплотненного бетона 18 кН/м^3.

3. Определение размеров геометрических характеристик сечения элементов: для оболочки - высота поперечного сечения h.

4. Назначение типа закрепления узлов оболочки.

5. Определение нагрузок (постоянной нагрузки и временных нагрузок: полезной на перекрытие, снеговой на покрытие и ветровой).

При использовании в ПК «ЛИРА» расчетная схема покрытия необходимо создавать в программе AutoCAD (рис.3.) и импортировалась в программный комплекс. Затем задавать триангуляции оболочки, граничные условия (закрепление опорных точек по контуру) – шарнирное опирание, соответствующие нагрузки [2] и проводить расчет. В результате расчета получается разбивка оболочки на элементы, мозаику напряжений от моментов, поперечных и продольных усилий и значения расчетных усилий в табличной форме.

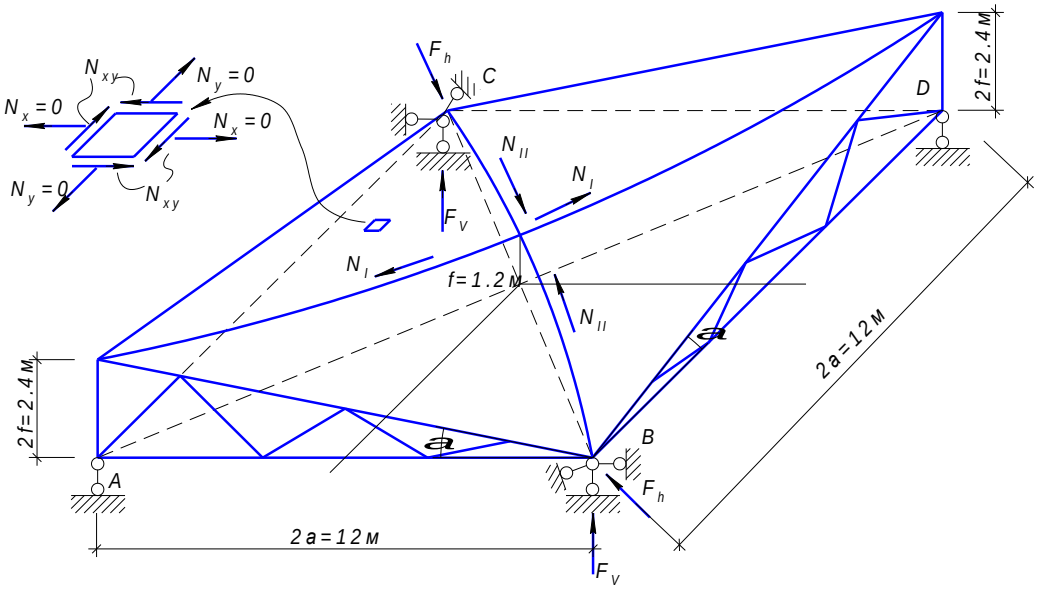


Рис. 3. Расчетная схема гипара

Использование данного программного продукта при конструировании железобетонных оболочек из бетона позволит студентам оптимизировать стадию проектирования, расчета конструкции и оформления полученных результатов.

Литература:

1. Милейковский И.Е., Купар А.К. Гипары. Расчет и проектирование пологих оболочек покрытий в форме гиперболических параболоидов. М.: Стройиздат, 1978.

2. Скачков Ю.П. Расчет и конструирование пространственных покрытий с оболочками отрицательной кривизны: Учебное пособие. – Пенза. Пензен. гос. архит.-строит. ин-т, 1996.

3. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. –М.: Электронное издание, 2015.

4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 . Действующая версия.

УДК 691

Бетон для защиты от радиации

Магеррамова И.А., ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,
Баширзаде Сеймур Разим оглы, магистрант,
Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Азербайджан, Баку,
Попова Ю.А., Глухов А.Е., студенты специальности
«Строительство уникальных зданий и сооружений»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Прогресс в отрасли ядерной энергетики и более широкой использование атомной энергии во всех сферах жизнедеятельности человека предполагает необходимость обеспечения защиты обслуживающего персонала и окружающей среды от опасных радиоактивных воздействий [1].

При ядерном распаде наиболее опасны для живых организмов γ – лучи и нейтронное излучение. γ-лучи, имеющие скорость света и большую проникающую способность, ослабляются путем, так называемого слоем половинного ослабления, который уменьшает в 2 раза интенсивность излучения. Учитывая это и некоторые другие факторы, рассчитывается толщина защитного ограждения, необходимая для ослабления излучения до нормативной интенсивности. Толщина слоя половинного ослабления γ-излучения зависит от плотности вещества-поглотителя, т.е. чем тяжелее материал, тем меньше толщина ограждения. Нейтроны – незаряженные частицы, также обладающие большой проникающей способностью, без взаимодействия с заряженными частицами атомов, замедляются только при соударениях. Наибольший эффект поглощения энергии нейтронов достигается при соударении их с частицами подобной им массы, например с протонами. Веществом-замедлителем может быть, в частности, вода [1].

Основным материалом для единовременной защиты от γ - и нейтронного излучения применяют особо тяжелые бетоны классов В7,5; В10; В15 и гидратные бетоны. Вяжущими служат портландцемент или шлакопортландцемент, который вырабатывает при гидратации немного тепла и поэтому хорошо используется в массивных защитных конструкциях, а также глиноземистый цемент и др. В качестве заполнителей могут быть рис. 1:

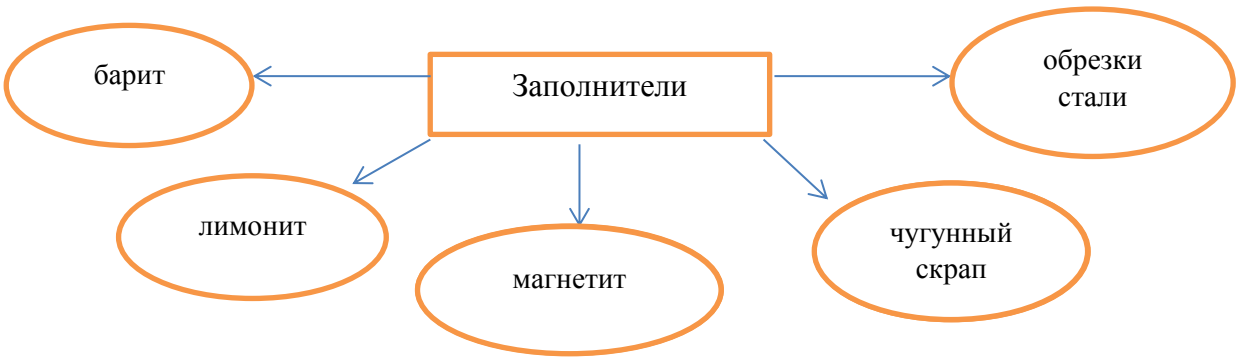


Рис. 1. Заполнители для бетона

Зависимость плотности бетона от вида наполнителя представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Заполнитель	Плотность бетона, кг/м^3
Барит- сернокислый барий	3800
Магнетит, или магнитный железняк,— слабоокисленная железная руда (Fe304)	4000
Лимонит, или бурый железняк, содержит гидроксид железа (2Fe203-3H20) с плотностью 3500 кг/м^3	2600-2800
Обрезки стали	5000-6000
Чугунный скрап	3500

Нужно учитывать воздействие нейтронного излучения на характеристики заполнителей:

• при поглощении нейтронов ядрами атомов возможно вторичное γ-излучение. Это особенно характерно для железа. Поэтому железный лом и руды не всегда могут быть использованы. В этом отношении предпочтителен барит, не дающий вторичного γ-излучения.

• нейтроны при столкновении с ядрами атомов могут нарушить их равновесное положение в кристаллической решетке. При этом возможно изменение объема и свойств заполнителей [2].

Объемность заполнителей для защитных бетонов устанавливает массивность бетонируемой конструкции и принимается максимально возможной. Зерновой состав заполнителей подбирают так, чтобы как можно больше насытить бетон тяжелым

заполнителем, таким образом, чем тяжелее получится бетон, тем меньшей может быть толщина ограждения.

Бетонные смеси на особо тяжелых заполнителях в значительной степени подвержены сегрегации (отделение, обособление, неоднородность состава материала), расслоению, поэтому большое значение имеет вязкость и плотность растворной части бетона.

Бетон для атомных станций

Отличительная особенность бетона, который используют при строительстве атомных станций и других противорадиационных объектов – обязательные добавки свинца (Pb) и его соединений (например, пластификатор С-3). Свинцовая дробь – это самый дорогостоящий из всех возможных заполнителей. Но она необходима, где нужно добиться от бетона максимально возможной защиты от радиоактивного излучения. Поэтому бетон с заполнителем в виде свинцовой дроби нередко применяют в случаях, требующих повышенной защищенности. Плотность бетона с металлическим заполнителем может достигать 6000 кг/м^3. Практически всегда эксплуатация таких бетонных конструкций связана с необходимостью выдерживать воздействие высоких температур. При неравномерном прогревании бетон испытывает большое напряжение внутри, поэтому он должен быть максимально прочным на растяжение. В непосредственной близости с реактором бетон должен обладать максимальной жаропрочностью. Недостаток таких добавок - снижение прочности бетонных конструкций, потому что частицы бетона и молекулы свинца плохо смешиваются друг с другом. Для улучшения качества бетона для АЭС, добавки свинца покрываются синтетическими смолами (обладают высокой адгезией к различным материалам, высокой химической стойкостью и теплостойкостью) [3].

Особенности применения бетона в строительстве атомных станций

Бетон для АЭС производится согласно требованиям нескольких технических документов:
- ПНАЭ Г-5-006-87 - нормы проектирования сейсмостойких атомных станций (радиационная и ядерная безопасность, герметичность сооружения, биологическая защита и долговечность),
-ГОСТ 25192-82 (стандарт по классу прочности и плотности на сжатие),
-СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.03.04-84 (эксплуатационные характеристики и условия работы бетона при воздействии контрастных температур, сейсмических и динамических нагрузок). Армирование контролируется этими же нормативными требованиями, предъявляемыми к арматуре согласно ее классу.

Бетон, используемый от излучений, готовится в бетономешалках принудительного действия, элементы состава могут отличаться в объеме: песок - ± 2%, наполнители - ± 5%. Бетон в защитном сооружении укладывается послойно и горизонтально слоем максимальной толщины 15-20 см. Слои раствора уплотняются вибратором на месте заливки, т.е. в опалубке.

Конструкции из тяжелых и особо тяжелых бетонов для защиты от ионизирующих излучений рекомендуется располагать в защитных конструкциях. Для этого в бетонируемый объект укладываются и уплотняются заполнители, раствор подается снизу бетононасосом.

Конструкции, где бетон нагревается до 100^0С и больше, необходимо предварительно просушить [3].

Свойства и характеристики бетона для АЭС

Технические требования к бетону и конструкциям для всевозможных объектов атомной станции [4]:

Литература:

1. Информационный портал: http://www.bibliotekar.ru (Дата обращения 15.03.17)

2. Информационный портал: http://stroivagon.ru/ (Дата обращения 15.03.17)

3. Информационный портал: http://schoolremont.ru/ (Дата обращения 15.03.17)

4. Информационный портал: http://omega-beton.ru (Дата обращения15.03.17)

УДК 691

Базальтовый утеплитель

Магеррамова И.А., ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,
Коблова Е.А., Акимова Э.К., студенты специальности
«Строительство уникальных зданий и сооружений»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Современный рынок строительных материалов предлагает потребителю широчайших выбор утеплителей. Базальтовый утеплитель может применяться практически во всех строительных конструкциях. Им можно изолировать как кровлю любой формы, так и стены, перегородки, перекрытия. Там где предполагаются большие нагрузки удобно использовать жесткие маты. Они могут быть как монтажными, так и эксплуатационными. Если нужно утеплить вентилируемый фасад, то лучше всего взять базальтовую вату, состоящую из двух слоев. Каждый слой имеет разную плотность, причем более рыхлый слой располагается внутри, со стороны стен. Второй слой, имеющий более плотную структуру, должен быть снаружи, со стороны вентиляции. Кроме того, благодаря своим характеристикам базальтовый утеплитель вполне пригоден там, где другой изолятор окажется совершенно бесполезным. Базальтовый утеплитель пользуется большой популярностью по ряду многих причин рис. 1.

Рис.1. Свойства базальтового утеплителя

Теплопроводность: структура вещества базальтового утеплителя получается воздушной благодаря тому, что волокна расположены хаотично**.** Прослойки воздуха между

каменными волокнами – отличный теплоизолятор. Необходимо не забывать о том, что присутствует продуваемость по швам плит, а также сквозь сам утеплитель, если мы используем утеплитель низкой плотности. Поэтому при использовании базальтовой ваты необходимо использовать ветрозащиту, а слои плитного утеплителя раскладывать с разбежкой швов.

Негорючесть: важное свойство всех строительных материалов. Каменная вата производятся из горных пород, температура которых составляет 1500 ^{0}C. Максимальная температура, которую выдерживает утеплитель, не достигая точки плавления – 1114 ^{0}C. Это позволяет применять его там, где необходимо обеспечить точечную защиту конструкции от воздействия высоких температур. Полную защиту конструкции от огня базальтовый утеплитель не дает. Огонь находит другие пути в обход базальта, поэтому даже если вы используете данный теплоизолятор при утеплении необходимо задумываться о мерах обеспечения огнезащиты.

Базальтовый утеплитель обладает хорошими, но не лучшими качествами по *звукоизоляции.* При сплошном слое хорошо справляется с воздушными шумами, но не помогает в звукоизоляции от ударных шумов, так как ударный шум передается жестким конструкциям в обход базальтовой ваты. Поэтому необходимо использовать дополнительные меры для исключения ударных шумов.

Еще одним достоинством каменной ваты является хорошая *паропроницаемость*. Влага, содержащая в воздухе, легко проникает сквозь слой утеплителя, не образуя внутри него конденсата. Высокая паропроницаемость позволяет легко и эффективно выводить избыточную влагу из помещений и конструкций. Это создает благоприятный внутренний климат помещений. Паропроницаемость составляет около 0,3 мг/(м·ч·Па).

Гидрофобность: в процессе производства каменная вата должна проходить гидрофобизацию, что позволит плитам с открытой пористостью не впитывать воду. Так как в процессе производства она пропитывается специальными маслами вода не пропитает слои утеплителя, сохранив при этом свои высокие теплозащитные свойства. Водопоглащение теплоизоляции составляет не более 1,5%.

Сопротивление точечной нагрузке: в конструкции плоских кровель теплоизоляционный материал выполняет роль основания, на которое постоянно воздействуют снеговые, ветровые и эксплуатационные нагрузки. Они могут достигать до 600 кг/м^2. Точечные нагрузки один из основных видов воздействий на кровельную изоляцию, создаваемые при монтаже и при обслуживание кровли. Очень важно, чтобы теплоизоляционные материалы, выдерживали данные нагрузки без деформации и

продавливания. В противном случае это вызовет нарушение гидроизоляционного покрытия. Базальтовый утеплитель успешно справляется с сопротивлением точечной нагрузке.

Предел прочности на растяжение: утеплитель подвергается в конструкции не только сжимающим нагрузкам, но и силам, воздействующим на отрыв слоев. Например, в конструкциях мокрых фасадов, где утеплитель играет роль основания для нанесения штукатурного слоя и воспринимает полностью все нагрузки от него. Базальтовый утеплитель может выдерживать вес до 170 кг. Предел прочности на отрыв слоев равен 80 кПа.

Отсутствие выветривания волокна: Теплоизоляционные плиты, в конструкциях навесных вентилируемых фасадов, постоянно подергаются различным нагрузкам: атмосферные осадки, собственный вес и ветровые нагрузки. Волокна каменной ваты, даже при сильном ветровом воздействии, не выдуваются из плиты. Срок пригодности такого материала при правильной установке и вовсе исчисляется десятилетиями, это при любом качественном облицовочном материале, используемом в строительстве.

Биологическая и химическая активность – низкие. Каменная вата биологически и химически пассивна – это ее несомненное достоинство. Если проложить ее к металлической поверхности, то можно быть уверенным, что ржавчина на металле не появится. Ему также не свойственны ни гниение, ни поражение плесневым грибком и другими вредными микроорганизмами.

Безопасность.

Производители заявляют о том, что базальтовая вата на 100% безопасна для здоровья человека и полностью экологична. Это не так. Как и для многих других теплоизоляционных материалов промышленного производства базальтовой ваты добавляют целый ряд неэкологичных добавок для того, чтобы повысить ожидаемые потребительские качества. Если мы посмотрим на гигиенический сертификат соответствия базальтовой ваты, то там мы увидим целый список вредных летучих веществ, которые содержатся в данном материале. При этом нужно понимать, что гигиенический сертификат соответствия не всегда показывает картину происходящего. К сожалению, базальтовую вату нельзя назвать экологичной.

Несмотря на большое количество положительных характеристик, базальтовый утеплитель имеет некоторые недостатки:

- Достаточно высокая цена. Не каждый может себе позволить натуральный утеплитель из базальтовых волокон.
- Наличие швов в тех местах, где соединяются отдельные элементы утеплителя, делает изоляционный слой недостаточно герметичным, что в результате приведет к появлению мостиков холода.

▪ В процессе монтажа следует соблюдать меры предосторожности защищать руки перчатками, органы дыхания маской, а глаза очками. Для устранения пыли готовую поверхность базальтовой ваты покрывают слоем гидроизоляционной мембраны.

На строительном рынке имеется большое количество марок базальтовой ваты различной плотности, технические характеристики которых несколько отличаются друг от друга. Все типы базальтового утеплителя отличают прочность и срок эксплуатации. Перечислив все достоинства и недостатки плит из каменной ваты можно сделать вывод о целесообразности их применения для тех или иных зданий и конструкций.

Литература:

1.Информационный портал: http://www.rockwool.ru (Дата обращения 20 марта 2017).

2. Информационный портал: http://postroy-sam.com (Дата обращения 22 марта 2017).

3. Информационный портал: https://ratingstroy.ru (Дата обращения 15 марта 2017).

4. Информационный портал: http://www.tsmos.ru (Дата обращения 10 марта 2017).

5. Информационный портал: http://uteplimvse.ru (Дата обращения 5 марта 2017).

6. Информационный портал: http://srbu.ru (Дата обращения 1 марта 2017).

7. Информационный портал: http://strport.ru (Дата обращения 3 марта 2017).

УДК 711.52

Результаты исследования архитектуры и дизайна интерьеров усадьбы Паисия Мальцева

Попова Н. А., доктор архитектуры, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»,
Попова Юлия Александровна, студентка специальности
«Строительство уникальных зданий и сооружений»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В конце XIX века купце Мальцевы (Михаил и его сыновья Паисий и Анисим) становятся самыми крупными землевладельцами из хлебопромышленников степного края Заволжья (Николаевского уезда), они занимались производством знаменитой пшеницы

белотурки и сбытом ее на российский и зарубежные рынки, с помощью связей с московскими купцами старообрядцами.

Паисий Мальцев построил замечательную усадьбу, по проекту известного архитектора Ф. О. Шустера, в 1890 г., а в 1912 г. предпринимает оформление интерьеров, столичного уровня, предположительно с помощью архитектора Ф. О. Шехтеля. В настоящее время усадьба является федеральным памятником архитектуры.

Усадьба включает: основной дом, сиреневый сад, дом для дворовых с хозяйственным блоком, каретную, конюшню и прачечную, кирпичную с ажурными решетками ограду и двое литых ворот, брандмауэр.

Хозяйственный двор отделен от соседнего участка высокой кирпичной стеной – брандмауэром. Все здания усадьбы объединены общей каменной оградой, декорированной узорчатой чугунной решеткой. Основным входом в усадьбу являются торжественные ворота по улице Коммунистической. Вторые ворота из сиреневого сада соединяют усадьбу с улицы Ленина. Въезд в хозяйственную часть с улицы Красной Звезды осуществлялся через сквозные ворота конюшни, а с улицы Ленина через дворовые ворота.

Архитектура фасадов главного дома трактована в традициях необарокко. Обрамления оконных проемов украшены замковым камнем в виде античных мужских масок. Центральная часть фасада завершается высоким торжественным аттиком барочных форм с округлым окном в квадрате, где зодчий добавляет затейливые ажурные фигуры грифонов из черного металла, которые подпирают квадратное основание аттика. Также добавлены греческие вазоны-амфоры с пламенем.

Планировка дома представляет собой анфиладно-кольцевой характер. Отдельные пространства комнат соединяются между собой последовательно и связаны с распределительным холлом, откуда осуществляется связь со столовой, мансардой, служебными помещениями. Прихожая парадного входа с улицы Коммунистической включает две металлические площадки, лестницу и три двери. Декоративное убранство интерьера выполнено в стиле позднего итальянского ренессанса и барокко.

Первая комната делового характера, в которую мы попадаем из небольшого холла, являлась кабинетом хозяина и библиотекой. В убранстве интерьера в стиле итальянского ренессанса и барокко выделяется резная рама зеркала печи с декоративными элементами в виде гирлянд. Верхнее завершение рамы имеет вид зубчатого карниза, завершенного фигурным аттиком в виде символических крыльев.

Из кабинета в малую гостиную (или диванную) анфилада ведет к богато убранной двери с характерно повторяющимся дверным картушем. Небольшое пространство комнаты убрано в формах рококо. Особо выделяется в интерьере резная рама панели печи, которая

завершается скульптурной композицией в виде двух амуров, фланкирующих большую вазу — амфору.По периметру плафона идет позолоченный карниз в виде сомкнутых листьев аканта. Выше проходит широкая кайма темного цвета, на которой располагаются четыре крупных гипсовых картуша по орнаменту — лента в виде закрученных в волюты гирлянд. Имеется и вторая верхняя часть каймы в виде нежной сети.

Следующая по анфиладе комната - торжественный зал (голубая музыкальная гостиная) - самая большая и главная в интерьере. Она занимает угловое положение в доме и выходит окнами как на улицу Коммунистическую, так и на улицу Ленина. Стены убраны филенчатыми панелями с декоративными барельефами, включающими греческие амфоры, растительные гирлянды, орнаменты и картуши. Узкие простеночные панели имеют вертикальный рисунок, включающий высокий кувшин для вина, корзину для фруктов и вверху амфору с пламенем, дополненные растительными гирляндами и фруктами.

В интерьере гостиной особо выделяется камин с зеркалом. Композиция камина состоит из двух частей: нижней мраморной тумбы с нишей с арочным проемом для каминного оборудования и верхней части - зеркала. Боковые части карниза поддерживают изящные женские головки греческих кариатид.

Рис. 1 Камины : Слева дом П. Мальцева; справа особняк А. Морозова в Подсосенском переулке

Рис.2 Греческая и мавританская стилистика залов. Слева дом П. Мальцева. Греческая прихожая и мавританская спальня. Справа А. Морозова в Подсосенском переулке и особняк Ушкова на Пречистенке, Москва, начало XX века

Парадная прихожая с улицы Ленина имеет высокое и узкое пространство, где размещается металлическая лестница и две площадки. Плоскости стен и плафона богато декорированы с использованием барельефов и лепнины высокого качества. Греческое фойе соединяет парадную прихожую с улицы Ленина с голубой гостиной и столовой.

Охотничья столовая - проходное помещение, связывающее греческое фойе, спальню со шлюзом - входом на мансарду и прихожей с улицей Коммунистической. А также из столовой широкая дверь выходит на открытую террасу с лестницей, ведущей в сиреневый сад. В убранстве использованы цветная лепка пастельных тонов в виде натюрмортов с охотничьими предметами.В интерьере спальни использована стилизация мавританского стиля. Богато убран плафон прорезным рисунком арабесок. Контур плафона по фризу представлен рельефными арабесками с цветовым контрастным заполнением. На стенах произведено разделение плоскостей на карты с рамами в виде широкой ленты-каймы, заполненными прорезными шрифтовыми арабесками.

Заключение: В целом архитектура усадьбы Паисия Мальцева, выполненная архитектором Франциском Ивановичем Шустером и умело дополненная интерьерами под

влиянием Федора Осиповичем Шехтелем, представляет собой высокий образец архитектурной культуры и искусства периода историзма и модерна

Литература:

1.Спутник Зодчего по Москве. Изд. МАО для членов II съезда русских зодчих в Москве. Под редакцией И.П. Машкова. М.,1895.Реклама

2..Попова Н.А. Историко-архитектурное наследие. Саратов, 2008.

3.Федина М.П. Архитектурная сказка Федора Шехтеля. Москва, изд. «Русский импульс», 2010.

4.Попова Н.А. Интерьеры Ф.О. Шехтеля в доме Паисия Мальцева/Сб. Наследие Ф.О. Шехтеля в современном мире. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 150-летию Ф.О. Шехтеля. 19-20 сентября 2009 года. Саратов, 2009.

УДК 711.424

Ретроспективный архитектурный анализ родовой усадьбы купцов Мальцевых

Попова Н.А., доктор архитектуры, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»,
Попова Ю.А., студентка специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В историко-архитектурном наследии Балаково XIX – XX века прослеживается тесная взаимосвязь с развитием русской архитектуры в целом. Купеческие усадьбы, торговые дома строились с использованием не только народных традиций, но и стилевых архитектурных особенностей, преобладающих в русской культуре рассматриваемого периода.

Одним из грандиозных памятников архитектуры конца XIX – начала XX столетия, на примере которого прослеживаются влияние и особенности архитектурных традиций данного периода, можно считать родовую усадьбу Мальцевых, расположенную по ул. Ленина, Советской и Пролетарской.

В результате ретроспективного анализа истрической архитектуры усадьбы выявлены три исторических этапа: 1 – середина XIX в; 2 – конец XIX; 3 – начало XX века.

Первый этап строительства был начат главой семьи Мальцевых – Михаилом Трофимовичем - в середине XIX века, когда главенствующими были строгие классические

формы в сочетании с живописными элементами архитектурного убранства фасадов. Михаилом Мальцевым был построен главный жилой одноэтажный дом, выходящий фасадом на ул. Ленина (рис.1). Дом выполнен в духе русского классицизма.

Рис.1. Дом Михаила Трофимовича Мальцева

Главный фасад дома имеет характерную трехчастную композицию за счет его деления профилированными пилястрами, прямоугольные окна и карниз, украшенные изящными лепными деталями. Белые фигурные наличники с гипсовыми деталями на фоне цветной гладко оштукатуренной стены – она из главных черт архитектуры этого периода.В традициях классицизма выполнена и архитектура летнего павильона, расположенного в саду (рис.2). Выступающая часть главного фасада деревянного павильона также имеет трехчастную композицию: два окна, каждое из которых обрамлено пилястрами сложного ордера, так же как и углы здания, и центральный торжественный вход, подчеркнутый полукруглым навесом на металлических кронштейнах. Оконные и дверные проемы имеют арочную форму с резным обрамлением, увенчанным сверху замковым камнем. Такие детали напоминают нам римский стиль.

Рис.2. Летний павильон (чайный домик)

К концу XIX столетия активное развитие получает строительство из кирпича, возникает так называемый кирпичный стиль.

Исследователь русского зодчества Е.И. Кириченко отмечает, что для кирпичного стиля художественность остается синонимом украшения, «...кирпичная орнаментация трактуется подобно формам традиционных стилей: те же приемы размещения, симметрично-осевая композиция, фронтальность… использование цвета как средства выделения отдельного мотива» [2], а отличительной особенностью фасадов являлась ориентация на выразительность целого, а не отдельной детали [3]. Отражение этих черт прослеживаются и в усадебном комплексе Мальцева.

В период владения усадьбой Анисима Мальцева она получила большую часть своих строений и приобрела вид, дошедший до нас. При Анисиме были построены второй дом, каретная, хозяйственные и служебно-хозяйственные корпуса, расположенные по периметру главного двора, а также флигель и конюшня, образующие конюшенный двор, водокачка [1].

Рис.3. Дом А.Мальцева, каретная, служебно-гостевой корпус.

Рис.4. Брандмауэр в липовом саду

Все эти здания объединяет архитектура кирпичного стиля с элементами итальянского ренессанса (рис.3). Фасады имеют раскреповки, завершенные лучковыми фронтонами, первые этажи зданий рустованные. Стиль итальянских палаццо напоминают нам и лучковые формы окон с прямоугольным сандриком и замковым камнем. Похожие черты имеет и архитектура брандмауэра, отделяющего липовый сад от хозяйственного двора (рис.4). Вся его поверхность украшена великолепным рельефом, напоминающим римский стиль. Массивная стена разбита на 6 секций пилястрами, соединенными между собой полуциркульными декоративными арками, каждая из которых увенчана замковым камнем. Архитектура словно переносит нас во времена Римской Империи, заставляя вспомнить знаменитую Триумфальную арку и аркаду Колизея.

Таким образом, мы можем смело сказать, что ансамбль усадьбы Анисима Мальцева выполнен в формах, характерных для архитектуры рубежа XIX – XX столетий , сочетая в себе черты русского классицизма, барокко, ампира и ренессанса. Всё это делает его архитектуру неповторимой и запоминающейся.

Литература:

1. Попова Н.А. Балаково. Историко-архитектурное наследие. – Саратов: Изд-во Саратовской епархии, 2008. – 176 с.: 32 л. вкл.

2. Кириченко Е. И. Русская архитектура 1830—1910-х годов. — М.: Искусство, 1978. — 400 с.

3. Агеева Е.Ю., Акилова Е.В., Костина Е.А. Архитектурные стили конца XIX – нач. XX вв.: Учебное пособие. – Н. Новгород: Издательство Нижегородского гос. архит. – строительного университета, 2011. – 70 с.

УДК 711. 424

Генезис архитектурно-градостроительной среды исторического города в связи с утратой духовных доминант

Попова Н.А., доктор архитектуры, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»,
Коблова Е. А., студентка специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Одной из важных проблем градостроительного развития и сохранения архитектурной специфики русских городов красной нитью проходит проблема возвращения утраченного духовного наследия в советский период. С периода средневековья традиционно сложились исторически центры русских городов . вокруг храмов, которые являлись ядром доминантой.

Городом в древней Руси Х11 века называлось укрепленное поселение как крепость - «град» Под прикрытием оборонительных сооружений осуществлялись все функции жизнедеятельности. Главной функцией являлась духовная сакральная функция, выражающаяся в архитектуре главной святыни города – храме, размещающегося на самой высокой центральной точке площади и доминирующего над застройкой своими верхами, крестами. Часто храмы размещались на холмах, называемыми «поклонными горами», которые открывались путникам в панораме города, и подъезжая, они слезали с коней и повозок, молились и поклонялись святыням. После ХУ века на Руси деревянные храмы сменяются каменными, которые появлялись среди деревянной застройки. С белоснежными или раскрашенными стенами, полукруглыми закомарами, главой покрытой свинцовым или позолоченным шеломом архитектура храма – создавала архитектурный контраст выделения доминанты церкви(1,2).

Анализ историко-архивных материалов, литературных источников, материалов натурного обследования исторических центров городов показывает, что исторические площади сформировали наиболее ценные архитектурные ансамбли, как в российских, так и в поволжских городах в большинстве случаев с участием храмового зодчества. Наилучшие образцы оставила эпоха классицизма. В каждом из городов. сложился неординарный ансамбль застройки исторического центра и главной площади. В период ХУ111-Х1Х в.в. исторические центры городов Поволжья получили каменное обрамление регулярных площадей, где сосредоточены самые презентабельные здания, образующие ансамбль застройки. К сожалению во многих из рассматриваемых городов исторические ансамбли утратили главные доминанты-храмы, взорванные в 40 годах ХХ столетия. В связи с чем разрушен исторический градостроительный образ ядра и утратилась сакральная функция ансамблей площадей. Эта градостроительная проблема требует своего решения, в целях выбора правильной методики реконструкции. Статья содержит результаты исследования утраченного церковного зодчества на примере исторического города Балаково Среднего Поволжья периода XVIII-XIX века. Рассмотрены особенности формирования исторических центров как ядра композиции с учетом влияния общероссийской градостроительной культуры и духовных предпосылок размещения главных святынь городов - храмов. [2].

Балаково обладает историко-культурным наследием и богатой духовной культурой, накопившей опыт и традиции храмового зодчества, прервавшиеся в советский период и

востребованные современным обществом. Согласно регулярному плану **исторический центр города Балаково** 1909 года город имел 6 церковных площадей и 4 торговых. Церкви являлись градостроительными вертикальными доминантами и духовными центрами города. Планировочная структура города сложилась с равномерным распределением церквей в градостроительной ткани с размещением их на обширных площадях. К 1830 году сформировались четыре площади: две общественные церковные – Христорождественская, Селитьбенская – и две торговые – Амбарная и Хлебная, то в 1909 году количество площадей выросло до десяти, из которых шесть имели духовное предназначение. Церковные площади с расположением в центре храмов с высокими колокольнями, куполами и шатрами, являлись архитектурными и градостроительными доминантами города, визуальными ориентирами [2].

Христорождественская площадь – одна из самых старинных площадей города, расположенная на пересечении улиц Топоринской и Красная Звезда (быв. Христорождественской). В середине XIX века она была центральной площадью села Балаково. В 1765 году на высоком берегу реки Балаковки была первоначально построена деревянная Христорождественская церковь (рис.1). В 1884 году перестроена в камне – с каменной колокольней и чугунной оградой-решеткой по проекту самарского архитектора А. И. Мейснера. На огражденной, прилегающей к церкви территории кроме строений размещалось церковное кладбище, где хоронили священников и благотворителей храма.

Рис.1. Церковь Рождества Христова

Рис.2. Церковь Преображения Господня

Церковь в 1932 году была снесена, общегородские функции выведены, центральное пространство площади застраивается чужеродными объектами, но сохранились красные линии площади, поддерживаемые старинными и мощными кирпичными историческими общественными зданиями – памятниками архитектуры XIX века, напоминающими о былой значимости этого замечательного исторического ансамбля [5].

Вторым градостроительным опорным узлом, который играет роль центрального ядра планировочной структуры, сохранившимся в красных линиях, является ансамбль Единоверческой площади конца XIX века. На этой площади располагалась церковь Преображения Господня (рис.2), она была построена в 1830 году на территории

исторического центра Балаково на пересечении улиц Новоузенской и Никольской. Его архитектура следует принципам образцовых проектов и использует формы русского классицизма. Главный объем церкви имел пять куполов шлемообразной формы. Церковь была градостроительной доминантой – ядром построения планировочной композиции плана 1909-1912 годов и центром главной городской площади исторической застройки конца XIX – начала XX века. Церковь была разрушена в 1936 году. С утратой храма была потеряна основная доминанта главной площади исторической зоны города [5].

Рис.3. Иоанно-Богословская церковь

Рис.4. Свято-Троицкая церковь

В середине Х1Х века строятся Иоанно-Богословская церковь (рис.3) при Кладбищенской церкви, строится Красный Троицкий храм на Хлебной площади(рис.4), на Базарной площади строится часовня в честь спасения царской семьи от крушения. Вначале XX века строится Святотроицкая церковь архитектором Шехтелем. В 1936 году в одну ночь все храмы были разрушены, храм Шехтеля утратил шатры и переоборудован под театр.

Архитектурно-художественная композиция главных площадей малых русских городов, складывалась в исторический период ХУ111 – Х1Х века с регулярной планировкой площадей и центральным ядром композиции – храмом. Градостроительная композиция исторических центров выражает прямую зависимость от формирования её храмовой духовной архитектурой[1]. Учитывая тот факт, что большая часть храмов поволжских городов утратилась в 40 годах XX столетия, исторические площади лишились сакральных функций и главных доминант - высотных акцентов-храмов, в связи с чем необходимо выполнять возрождение утраченных звеньев исторических центров для восстановления первообраза разрушенных ансамблей и возрождением духовных святынь.

Литература:

1. Мокеев Г.Я. Стольный град княжества. О граде. Москва -850 лет. 1 том. Изд. «Московские учебники» М.,1996, С. 58.

2. Деревянченко А. А. У реки великороссов. – Балаково: Изд. ТОО "Август", 1994.

3. Осятинский А.И. Строительство городов на Волге. - Саратов: Издательство Саратовского университета. 1965.

4. Терёхин С.О., Фурман Н.В., Антипенко М.В. Национально-региональные особенности архитектуры Саратовского Поволжья. - Саратов: Сар. гос. тех. ун-т. 2002г.

5. Попова Н.А. Балаково. Историко-архитектурное наследие.- Саратов: Издательство Саратовской епархии, 2008.

УДК 624.014

Формообразование облегченных конструкций пирамидальной формы

Ращепкина С.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство», профессор РАЕ,
Бойчук С.В., ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,
Ильин В. Р., студент направления «Строительство»
Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

1. Постановка задачи. Облегченные быстровозводимые металлоконструкции – это высокопрочные здания, которые можно построить за несколько месяцев при любых погодных условиях и климатических особенностях региона строительства.

Из легких металлических конструкций можно построить практически любую конструкцию промышленного или жилого назначения. Они отлично подходят для возведения крупных ангаров и складов, офисных зданий, торговых центров, станций технического облуживания и других зданий сооружений. Оригинальные проекты строгой многогранной формы, выполненные из металла, представлены на рис. 1 и рис. 2.

а *б*

Рис.1 - Сооружения из легких металлических конструкций:
а – пирамиды Лувра, Франция [1]; б – Пирамида Мемфис, США [1]

Бангкокский университет является эксплуатируемым зданием, построенным в Таиланде. Он имеет очень необычную уникальную архитектурную форму, каждая часть здания выполнена в абстрактном стиле и существенно отличается от других частей, задавая эффектный вид зданию. Но и отсутствие унификаций элементов и частей здания делает его сложным при монтаже, и приводит к увеличению конечной стоимости объекта.

Башня Делоноэ – это проект разрабатывался для Парижа, но от него отказались, в связи существенного отличия от общего архитектурного стиля города, а также нежелания горожан строить в своем высотные здания.

Для возведения легких металлических конструкций может быть использована горячетканная сталь, специальные алюминиевые сплавы.

а *б*

Рис.2 - Многогранные сооружения: а – Бангкокский университет, Таиланд [2]; б – проект 180-метровой парижской башни, Франция [3]

Следует отметить, что при проектировании и возведении зданий с зальными помещениями возникает комплекс сложных архитектурных и инженерных задач. Для создания комфортных условий в зале, обеспечения требований технологии, акустики, изоляции его от других помещений и окружающей среды определяющее значение приобретает конструкция покрытия зала. Зал – основное композиционное ядро большинства общественных зданий. Наиболее часто встречающаяся конфигурация плана – прямоугольник, круг, квадрат, эллипсовидные и подковообразные планы, реже трапециевидные. При выборе конструкций покрытия зала решающее значение имеет необходимость связать зал с внешним миром посредством открытых остекленных поверхностей.

Проведенный авторами анализ формообразования различных зданий и сооружений многогранной формы, их уникальные особенности позволил выявить несколько факторов при проектировании пространственных металлических конструкций:

- предлагаемая конструкция должна иметь высокую архитектурную выразительность, которая должна гармонировать с общим архитектурным стилем города, в котором данная конструкция будет эксплуатироваться;

- элементы конструкции должны быть максимально унифицированы, что обеспечит конструкции простоту монтажа и меньшую стоимость.

2. Предлагаемое решение. На основе проведенного анализа существующих решений зданий и сооружений пирамидального типа и уникальных их особенностей было разработано новое конструктивное решение эффективной пространственной мансардной конструкции имеющей высокую архитектурную выразительность, гармонирующей с нижележащей частью многоэтажного здания. Конструкция многогранного купола с уклоном 45° состоит из металлических профилей, материалом из которых является – холодногнутая сталь.

Пространственная конструкция в плане имеет крестообразную форму. Для уменьшения теплопотерь кровля из энергосберегающих стеклопакетов, заполненных инертным газом – аргоном. Основные размеры и общие виды предлагаемой пространственной мансардной конструкции представлены на рис. 3. Пирамидальная конструкция опирается на железобетонную шахту, нижняя часть конструкции на металлический пояс по периметру мансардного помещения. Пояс в свою очередь опирается на несущие монолитные стены. Для остекления конструкции используются стеклопакеты из каленого стекла, заполненные инертным газом – аргоном, для понижения теплопередачи и сохранения тепла в помещении в зимнее время.

Выбор данной пространственной металлической конструкции обусловлен тем что, она имеет высокую архитектурную выразительность, которая гармонирует с нижележащей частью здания. Необычная форма конструкции привлекает взгляды людей, оставаясь у них в памяти.

3. Расчет пространственной пирамидальной конструкции. Расчет пирамидальной конструкции купола выполнялся аналитически и с применением программного комплекса ЛИРА. Разработка инженерного алгоритма расчета с применением программных комплексов облегчает расчет конструкций и представляет собой метод научного конструирования. Причем его конечная цель достигается подбором рационального сечения элементов пространственного купольного покрытия пирамидального типа, обеспечивающего максимальное снижение его материалоемкости.

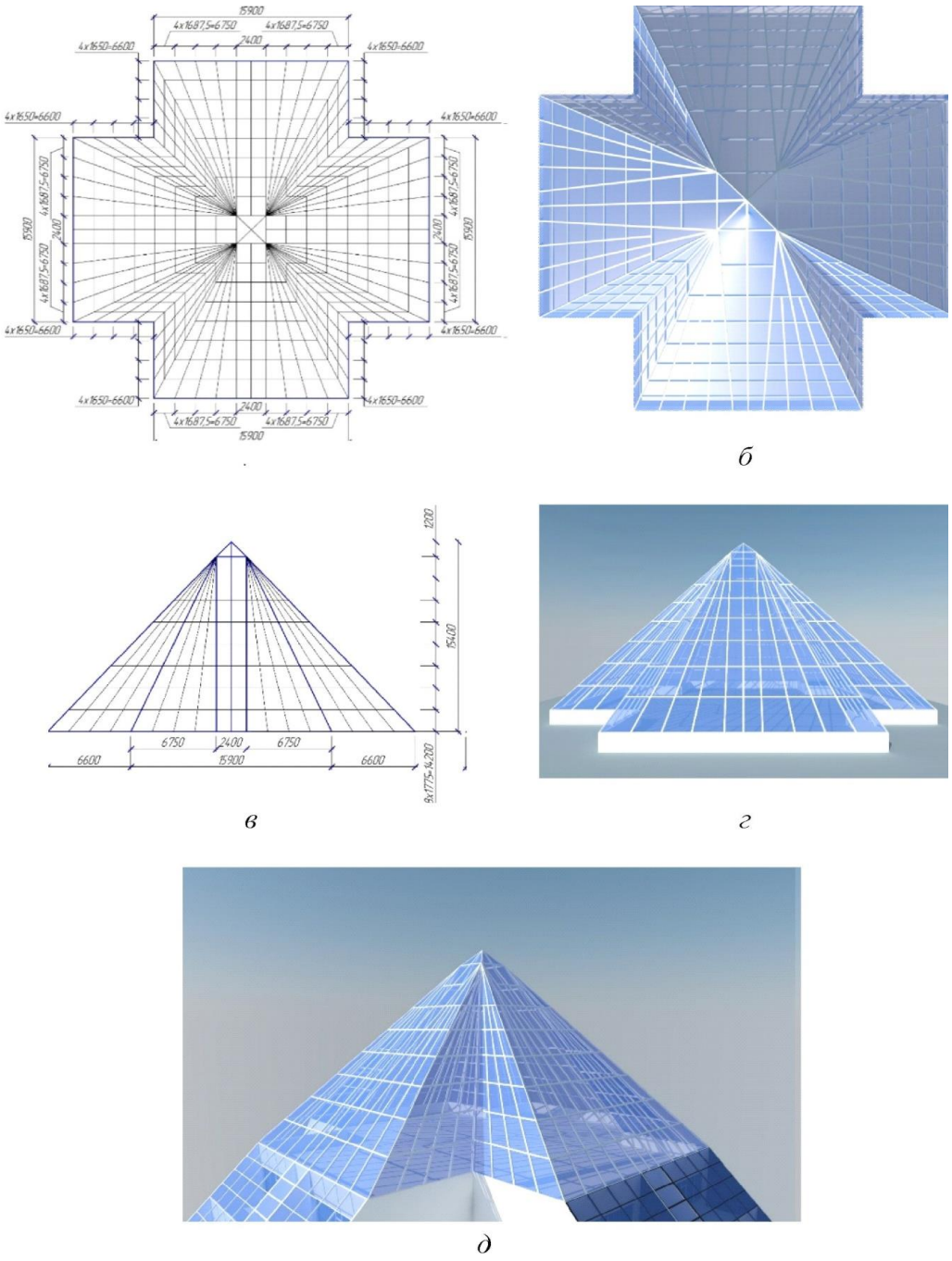


Рис.3. Многогранный купол: а, б – вид в плане; в, г – вид сбоку; д – общий вид

В расчете ПК ЛИРА лежит метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в форме перемещений. Выбор именно этой формы объясняется простотой ее алгоритмизации и физической интерпретации. Реализованный вариант МКЭ использует принцип возможных перемещений

$$a(u,v)=(f,v) \qquad (1)$$

где *u* - искомое точное решение; *v* - любое возможное перемещение; *a (u,v), (f,v)* - возможные работы внутренних и внешних сил.

Занимаемая конструкцией область разбивается на конечные элементы Ω_r, назначаются узлы и их степени свободы L_i (перемещения и углы поворота узлов).

Степеням свободы соответствуют базисные (координатные, аппроксимирующие) функции μ_i, отличные от нуля только на соответствующих звездах элементов и удовлетворяющие равенствам

$$L_i \mu_i = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (2)$$

Приближенное решение $\boldsymbol{U_h}$ ищется в виде линейной комбинации базисных функций

$$U_h = \sum_{i=1}^{N} u_i \mu_i \quad (3)$$

удовлетворяющей главным (кинетическим) условиям,

где: u_i - числа; N - количество степеней свободы.

Расчет пирамидального купола можно выполнять с использованием линейных задач метода конечных элементов. Для этого подставляя в (1) U_h вместо U и μ_i $(j=l,...,N)$ вместо V, получим систему уравнений МКЭ:

$$\sum_{i=1}^{N} u_i a(\mu_i \mu_j) = (f, \mu_j), i = 1,...., N \quad (4)$$

Обозначив K матрицу жесткости с элементами $k_{ij}=\alpha(\mu_i, \mu_j)$, P - вектор нагрузок, с элементами $P_i = (f, \mu_i)$ и X- искомый вектор с элементами u_i , запишем систему (4) в матричной форме:

$$\boldsymbol{KX = P.} \quad (5)$$

Рассмотрим пример. Требуется определить перемещения и усилия в покрытии виде многогранного купола пирамидального типа с размерами в плане 29,1х29,1м и высотой 15,4м. Материал конструкций – сталь С245,

нагрузки: постоянная – 0,57 кПа, II снеговой район; V ветровой район.

Расчет конструкции производился в программном комплексе «ЛИРА» в следующей последовательности:

1) создавалась пространственная расчетная схема конструкции с учетом следующих аспектов:

- степень свободы системы – 6 (X, Y, Z, UX, UY, UZ);
- закрепление узлов системы – жесткое;
- пространственная схема конструкции в программном комплексе «ЛИРА» трехмерная, построена с соблюдением всех фактических размеров.

2) задавались жесткости для элементов пространственной конструкции;

3) вводилась нагрузка: постоянная нагрузка и временная нагрузка (снеговая и ветровая);

4) производилась генерация таблиц РСУ с соблюдением расчетных сочетаний усилий в соответствии с СП [4];

5) выполнялся расчет пирамидального купола, и результаты расчета представлялись в виде эпюр усилий, мозаик перемещений, интерактивных таблиц и протокола расчёта.

6) производился анализ полученных данных, при этом сравнивалось несколько вариантов поперечных сечений элементов пирамидального купола, на основе которых выбиралось наиболее выгодное сечение по усилиям и соответственно расходу металла (табл. 1). Размеры сечений приняты в соответствии с [4]. Цены на металл приняты из [6].

Анализ рассмотренных вариантов сечений элементов показывает, что наиболее выгодным с экономической точки зрения является вариант конструирования №5 – профиль из квадратной трубы 80х5, то есть данный профиль наиболее экономичный для предлагаемой пространственной конструкции пирамидального купола.

На рис.4, а представлена мозаика перемещений по оси X: а – от постоянной нагрузки; б – от временной нагрузки, а также эпюры усилий (рис. 5) полученные по результатам расчета в ПК ЛИРА.

Таблица 1

Технико-экономические показатели основного несущего элемента

№	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 сотавленный 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

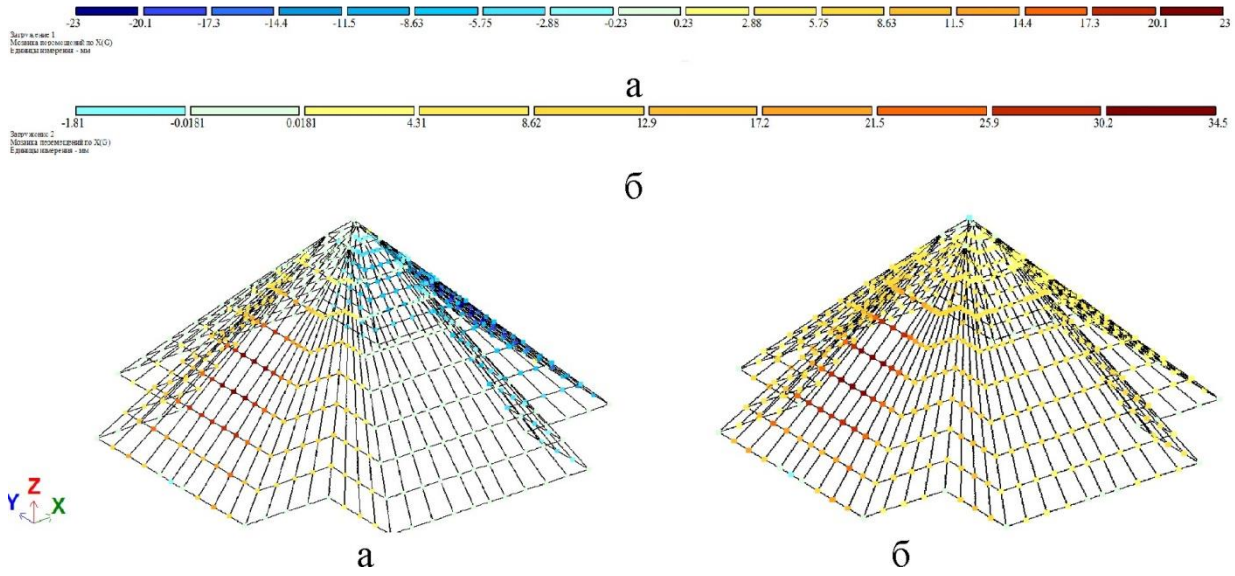


Рис. 4. Мозаика перемещений по оси X

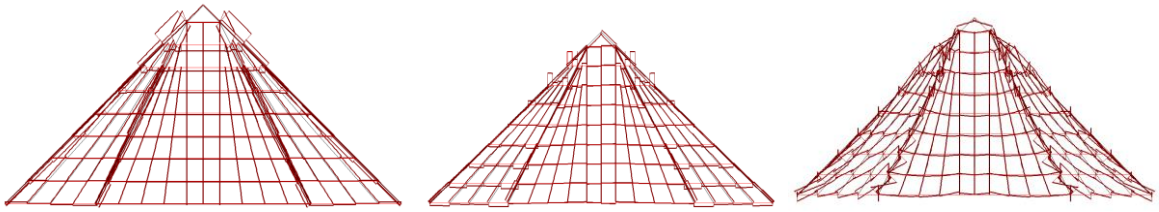


Рис. 5. Эпюры и напряжения в элементах пирамидальной конструкции: а – эпюра продольных сил N; б – эпюра поперечных сил Q_x; в – эпюра изгибающих моментов M_x.

Выполним поверочный аналитический расчет сжатого элемента №154 (рис. 6, б) при следующих данных: N=174,344 кН, l=2020 мм; прямоугольная труба 80х5 имеет следующие характеристики: площадь сечения А = 12,25 см^2; радиус инерции i = 2,76 см; в запас принимаем φ=0,5.

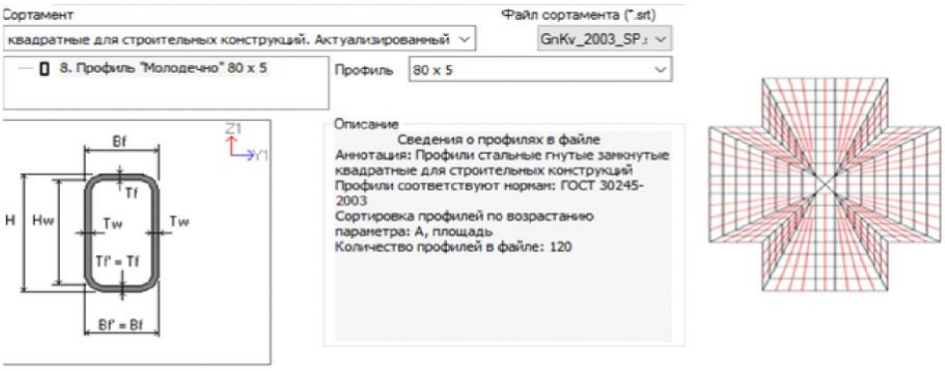
Найдем гибкость стержня, $\lambda = l / i$ = 202/2,76 = 73,2.

Согласно табл. 4 приложения «Д» [5] при гибкости λ =73,2 коэффициент φ=0,732. Тогда имеем:

$$\sigma = N / \varphi A = 174344/(0{,}732 \cdot 12{,}25 \cdot 100) = 194.43 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 240 \text{ МПа}.$$

Условие устойчивости выполняется.

а



б

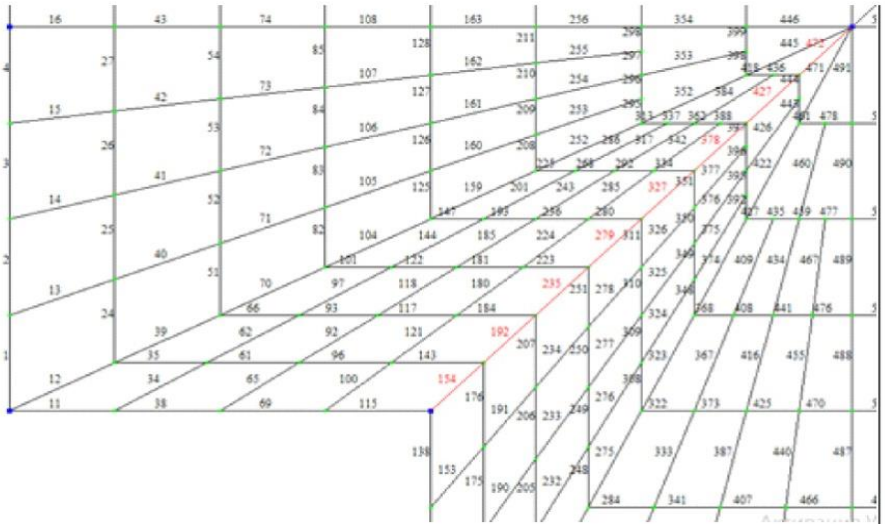


Рис. 6 - К расчету радиального ребра: а - фрагмент расчета сечения ребра

б - красным цветом выделен элемент №154

Выводы. Исследования формообразования облегченных конструкций пирамидальной формы позволили получить следующее:

- на основе проведенного анализа существующих решений пространственных пирамидальных облегченных металлических сооружений были выявлены новые возможности и уникальные особенности пространственных металлических конструкций;

- разработано эффективное конструктивное решение пространственного покрытия пирамидального типа, имеющее высокую архитектурную выразительность;

- выполнен расчет нового конструктивного решения пространственного пирамидального покрытия крестообразной в плане формы, который выявил высокую его несущую способность;

- численный эксперимент показал эффективность применения металлических профилей из прямоугольных труб для несущих элементов пирамидального покрытия.

Предложенное конструктивное решение может быть применено в качестве мансард высотных сооружений, а также в качестве отдельных самонесущих зданий многогранной формы различного назначения. Необычная пирамидальная форма сооружения привлекает взгляды людей, впечатляет красотой и оригинальностью.

Литература:

1. Информационный портал: http://pix.com.ua/ru/cities/europe/ picturesque_paris/223060-upsee.html (дата обращения 03.04.2017).

2. Информационный портал: http://www.arhinovosti.ru/2011/11/10/ kompleks- zdanijj-dlya-bangkokskogo-universiteta-ot-architects-49-rangsit-tailand/ (Дата обращения: 08.04.2017).

3 Информационный портал: http://www.admagazine.ru/arch/74719_ treugolnaya-bashnya-v-tsentre-parizha.php (Дата обращения: 08.04.2017).

4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Изд-во "НИЦ "Строительство". 2017.

5. Городецкий А. Примеры расчета и проектирования / А.С. Городецкий. – Киев: Факт, 2002. – 99с.

6. Информационный портал: http://www.stroymetall.ru/metal-roll/ (Дата обращения: 08.04.17).

СЕКЦИЯ 6:
«ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ»

УДК 677.4; 678.04

Изучение химической стойкости армированных полимерных композиционных материалов

Зубова Н.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины», Малкина К.А., Кочнева А.В., студенты направления «Химическая технология»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В настоящее время большое число полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе химических волокон и нитей находят широкое применение в качестве защитных покрытий при работе с агрессивными средами. К сожалению, в связи с высокой гигроскопичностью гидратцеллюлозных волокон и нитей, композиты на их основе характеризуются низкой коррозионной стойкостью.

Целью настоящей работы являлось увеличение химической стойкости полимерных композиционных материалов на основе модифицированных гидратцеллюлозных нитей.

Объекты исследования: образцы полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отверждающейся полиэтиленполиамином (ПЭПА) и гидратцеллюлозных технических нитей (ГЦТН), модифицированных сульфатом гидроксомеди (II) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и сульфатом никеля $NiSO_4$, концентрированная фосфорная кислота H_3PO_4.

Модифицированные ГЦТН сульфатом гидроксомеди (II) получали путем обработки исходных нитей 2%-ным водным раствором соли, при времени обработки 90с, модифицированные ГЦТН сульфатом никеля получали их обработкой 5%-ным водным раствором соли, при времени обработки 60 с. Выбор в качестве модификаторов солей меди и никеля определялся, в первую очередь, доступностью этих веществ и простотой обработки исходных волокон.

Гидратцеллюлозные нити, модифицированные при данных технологических режимах характеризуются увеличением относительной разрывной нагрузки и относительным разрывным удлинением по сравнению с немодифицированной нитью.

Эпоксидные композиционные материалы на основе исходных и модифицированных ГЦТН были получены методом прямого прессования при давлении 5±0,5 МПа и при температуре выдержки 100ºС в течении 1 ч.

Образцы эпоксидных композитов исследовали на химическую стойкость к действию агрессивной среды, в качестве которой использовалась концентрированная фосфорная кислота.

Влияние модифицированных волокон на стойкость ПКМ к действию фосфорной кислоты изучалось по методу определения стойкости к действию химических сред. Сущность метода заключается в определении изменения массы образцов пластмасс в ненапряженном состоянии в течении определенного периода времени в жидких химических веществах. Максимальный период выдержки образцов эпоксипласта выбирался по ГОСТ и составил 1 неделю [1-2].

Изменение массы эпоксидных композитов на основе исходных и модифицированных волокон в зависимости от времени их выдержки в концентрированной фосфорной кислоте выражается графиком, изображенным на рис. 1.

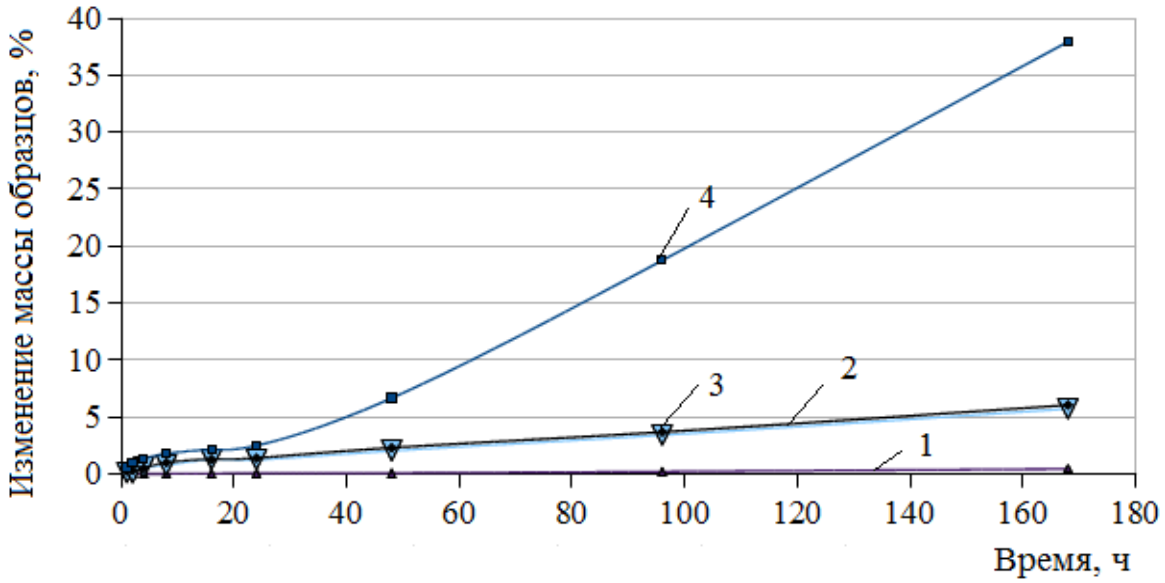


Рис. 1. Зависимость изменения массы композитов от времени выдержки:

1 — ЭД-20; 2 - ЭД-20+ГЦТН+$CuSO_4 \cdot 5H_2O$; 3 — ЭД-20+ГЦТН+$NiSO_4$; 4 - ЭД-20+ГЦТН

Из данных рис.1 видно, что наименьшим изменением массы, не превышающее при этом 0,5 %, при испытаниях на влияние концентрированной фосфорной кислоты обладает ненаполненная эпоксидная смола (кривая 1). Наибольшее изменение массы, при действии на образцы агрессивной среды, характерно для композита, армированного исходным ГЦТН и составляет 0,86 % (кривая 4). Образцы композиционных материалов, наполненные модифицированными волокнами характеризуются средней химической стойкостью (кривая 2,3).

Поверхность композиционного материала на основе исходного ГЦТН после выдержки в фосфорной кислоте имеет неоднородный и вздутый вид, что говорит о нецелесообразности дальнейших испытаний. Композиты на основе модифицированных ГЦТН после действия на них кислоты имеют шероховатую поверхность.

На основании изменения массы были рассчитаны коэффициенты сорбции и проницаемости композиционных материалов, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты сорбции и проницаемости эпоксидных композитов

Наполнитель	Коэффициент сорбции, S(г/см^3)	Коэффициент проницаемости, P(г·см/см^2·с)
ЭД-20	$6{,}0\cdot10^{-3}$	$0{,}6\cdot10^{-10}$
ЭД-20+ГЦТН	$4{,}0\cdot10^{-2}$	$0{,}188\cdot10^{-5}$
ЭД-20+ГЦТН+$NiSO_4$	$4{,}5\cdot10^{-3}$	$0{,}28575\cdot10^{-6}$
ЭД-20+ГЦТН+$CuSO_4\cdot5H_2O$	$4{,}6\cdot10^{-3}$	$0{,}2921\cdot10^{-6}$

Полученные результаты позволяют сделать вывод об увеличении стойкости образцов эпоксидных композитов на основе ГЦТН, модифицированных $CuSO_4\cdot5H_2O$ и $NiSO_4$, к действию концентрированной фосфорной кислоты.

Литература:

1. ГОСТ 12020-72* Методы определения стойкости к действию химических сред. - Введен 01.07.1973. - М.: Изд-во стандартов, 1973. - 23 с.

2. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов: учеб. пособ. для вузов / А.А. Шевченко. - СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. - 224 с.

УДК 677.4; 678.04

Исследование смачиваемости модифицированных химических волокон

Зубова Н.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины», Кочнева А.В., Малкина К.А., студенты направления «Химическая технология»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Свойства армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ) зависят не только от свойств армирующего наполнителя и полимерной матрицы, но и от процессов,

происходящих на границе раздела матрица-наполнитель. Эти процессы определяются, прежде всего, смачиваемостью и адгезией [1].

Смачивание наполнителя связующим — необходимый этап изготовления любого композита. Хорошее смачивание, то есть образование хорошо сформированной — без дефектов и пор — поверхности контакта между связующим и наполнителем — необходимое условие высокой адгезии.

Цель настоящей работы: исследование смачиваемости гидратцеллюлозных нитей, модифицированных солями металлов.

Объекты исследования: гидратцеллюлозные технические нити (ГЦТН), модифицированные сульфатом гидроксомеди (II) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и сульфатом никеля $NiSO_4$.

Обработка гидратцеллюлозных нитей 2%-ным водным раствором сульфата гидроксомеди (II) и 5%-ным водным раствором сульфата никеля способствует увеличению прочностных характеристик ГЦТН по сравнению с исходной нитью.

Нити, модифицированные на выбранном режиме, исследовались на способность к смачиванию раствором эпоксидного связующего в ацетоне (рис. 1).

Из приведенных данных видно, что наибольшей смачивающей способностью к эпоксидному олигомеру обладает немодифицированное ГЦТН (кривая 1). Нити, модифицированные сульфатом гидроксомеди (II) отличаются повышенной смачиваемостью (кривая 2) по сравнению с нитями, модифицированными сульфатом никеля (кривая 3).

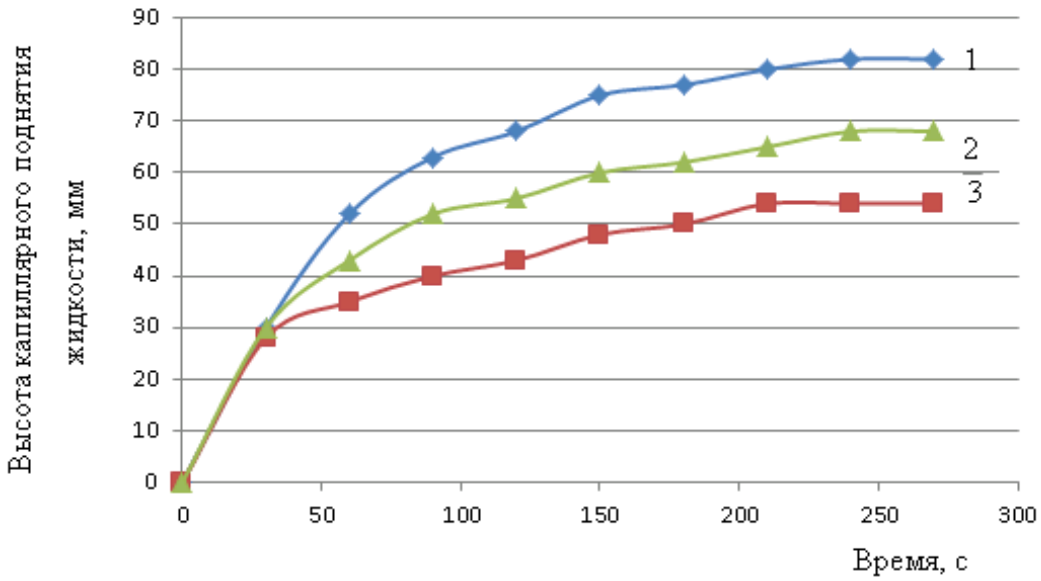


Рис. 1. Кинетические кривые смачивания исследуемых нитей:

1 – немодифицированное ГЦТН; 2 – ГЦТН+ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; 3-ГЦТН+ $NiSO_4$

Смачивание волокон матрицей определяет монолитность получаемого материала [2]. Равномерность распределения химических нитей в связующем и монолитность исследуемого

композита оценивается при помощи оптической микроскопии (рис. 2).

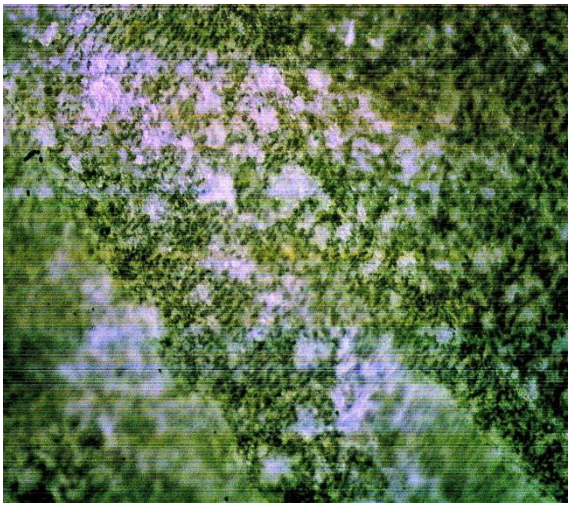


Рис. 2. Микрофотографии поверхности эпоксидного композита на основе модифицированного ГЦТН, n=100

Из фотографии поверхности исследуемого ПКМ следует, что при армировании модифицированных нитей в эпоксидное связующее формируется монолитный композит с равномерным распределением ГЦТН.

Гидратцеллюлозные нити, модифицированные сульфатом гидроксомеди (II) и сульфатом никеля обладают удовлетворительной смачивающей способностью и могут быть рекомендованы для равномерного распределения в эпоксидном связующем при получении композиционных материалов.

Литература:

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. - 4-е испр. и доп. изд. / под ред. А.А. Берлина. - СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. - 592 с.

2. Перепелкин, К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты: учебник / К.Е. Перепелкин. - СПб.: Научные основы и технологии, 2009. - 380 с.

УДК 51-74; 677.4

Математическое моделирование процесса модификации ПАН-ТЖ органосиланами

Зубова Н.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»,
Барановская Л.В., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Среди карбоцепных волокон наиболее широкое промышленное применение нашли полиакрилонитрильные волокна, которые получают из полиакрилонитрила и его сополимеров. Полиакрилонитрильные волокна выпускаются в основном в виде штапельного волокна. Свойства полиакрилонитрильных волокон можно изменять в широких пределах, используя различные методы их модификации [1]. Одним из распространенных методов модификации является обработка волокон растворами, содержащие кремнийорганические соединения — органосиланы.

Органосиланы занимают важное место в химии органических соединений. Их используют в качестве модификаторов для улучшения эксплуатационных показателей технических и бытовых тканей. Органосиланы способствуют адгезии, соединяя различные фазы, имеющиеся в композитном материале. Этими фазами обычно являются органические полимеры и неорганические наполнители или волокнистые усилители. Органосиланы образуют «молекулярные мостики», то есть сильные, стабильные, водо- и химически стойкие связи между двумя изначально слабосвязанными поверхностями [2,3].

Объектами исследования являлись: полиакрилонитрильный технический жгутик (ПАН-ТЖ) и органосилановые модификаторы:

- 3 – аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9);
- 3-глицидоксипропилтриметоксисилан (А-187);
- 3-метакрилоксипропилтриметоксисилан (А-174).

Модификацию силанами проводили пропиткой волокна их водными растворами при температуре 20 ± 5^0С и модуле ванны 30. Для гидролиза силанов и перевода их в водорастворимую форму pH ванны доводили до 4,5 введением уксусной кислоты. После завершения процесса пропитки и сушки образцов (температура сушки 50ºС), их подвергали дополнительной термообработке при 100 ± 2ºС, обеспечивающей фиксацию модификатора на

волокне. При обработке ПАН-прекурсора аппретирующими композициями на основе АГМ-9, А-187 и А-174 варьировали концентрацию модификаторов (2, 5 и 10 %) при времени обработки 60 сек.

Выбор состава и концентрации модификаторов оценивался по изменению массы ПАН-ТЖ в после обработки исследуемыми органосиланами. Результаты опытов представлены в таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Зависимость изменения массы образцов ПАН-ТЖ от концентрации и вида модификатора

Модифицирующий аппрет	Изменение массы образца					
	при концентрации модификатора в пропиточной ванне, % (мл)					
	2 (0,6)		5 (1,5)		10 (3)	
	г	%	г	%	г	%
АГМ-9	0,0007	0,1	0,0210	2,9	0,0803	11
А-187	0,0385	5,1	0,0452	6,2	0,0573	7,9
А-174	0,0225	3,1	0,0487	6,7	0,0541	7,4

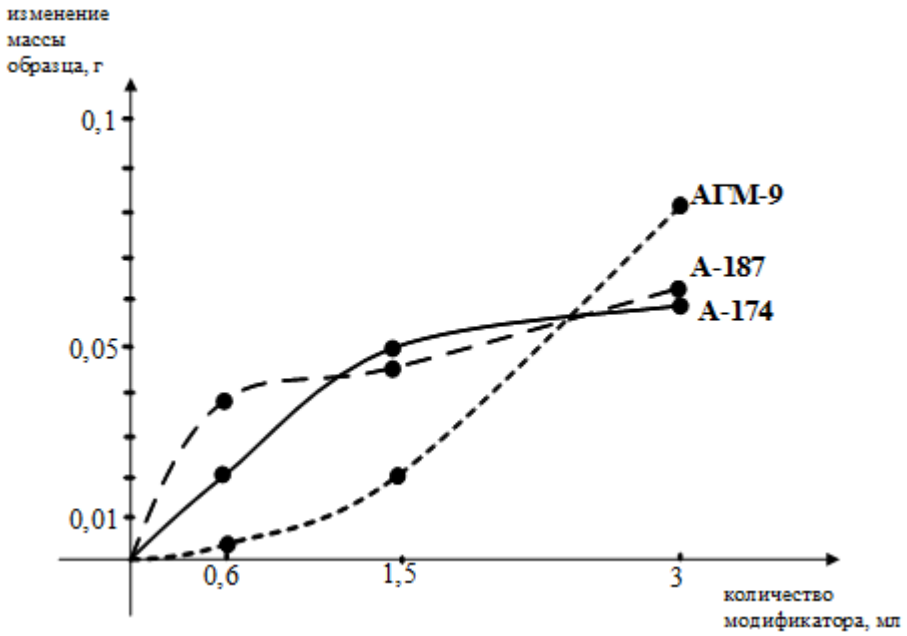


Рис. 1. Зависимость изменения массы образцов ПАН-ТЖ от количества модификатора

По данным таблицы 1 для каждого органосилана строится функция, определяющая зависимость изменения массы образца ПАН-ТЖ от количества модификатора в ванне.

Искомая функция для модификатора АГМ-9 проходит через 4 точки:

(0,0); (0,6; 0,0007), (1,5; 0,021), (3; 0,0803). (1)

Помимо трех точек, указанных в таблице 1, берется точка (0, 0), так как при нулевой концентрации модификатора изменение массы образца равно нулю.

Согласно теории интерполирования [4], функцию определяется в виде многочлена третьей степени:

$$y=ax^3+bx^2+cx+d. \quad (2)$$

Для нахождения коэффициентов a,b,c,d составляется система уравнений, которая получается при подстановке значений (1) в формулу (2):

$$\begin{cases} 0^3a + 0^2b + 0c + d = 0 \\ (0{,}6)^3a + (0{,}6)^2b + 0{,}6c + d = 0{,}0007 \\ (1{,}5)^3a + (1{,}5)^2b + 1{,}5c + d = 0{,}021 \\ 3^3a + 3^2b + 3c + d = 0{,}0803 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} d = 0 \\ (0{,}6)^3a + (0{,}6)^2b + 0{,}6c = 0{,}0007 \\ (1{,}5)^3a + (1{,}5)^2b + 1{,}5c = 0{,}021 \\ 3^3a + 3^2b + 3c = 0{,}0803 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -0{,}0024 \\ b = 0{,}0193 \\ c = -0{,}0095 \\ d = 0 \end{cases}$$

Методами линейной алгебры (например, методом Крамера) определены следующие значения коэффициентов: $a=-0{,}0024$, $b=0{,}0193$, $c=-0{,}0095$.

Следовательно, для модификатора АГМ-9 функция равна

$$y=-0{,}0024x^3+0{,}0193x^2-0{,}0095.$$

Аналогичным образом, для модификатора А-187, составляется система уравнений:

$$\begin{cases} (0{,}6)^3a + (0{,}6)^2b + 0{,}6c = 0{,}0387 \\ (1{,}5)^3a + (1{,}5)^2b + 1{,}5c = 0{,}0452 \\ 3^3a + 3^2b + 3c = 0{,}0573 \end{cases},$$

Для модификатора А-187 определены значения коэффициентов: $a=0{,}0127$, $b=-0{,}0645$, $c=0{,}0983$ и функция:

$$y=0{,}0127x^3-0{,}0645x^2+0{,}0983x.$$

Для модификатора А-174 составляется система уравнений:

$$\begin{cases} (0{,}6)^3a + (0{,}6)^2b + 0{,}6c = 0{,}0225 \\ (1{,}5)^3a + (1{,}5)^2b + 1{,}5c = 0{,}0487 \\ 3^3a + 3^2b + 3c = 0{,}0541 \end{cases},$$

По системе уравнений, для модификатора А-187, определены значения коэффициентов: $a=-0{,}0017$, $b=-0{,}0021$, $c=0{,}0393$ и функция

$$y=-0{,}0017x^3-0{,}0021x^2+0{,}0393x.$$

От полученных функций рассчитываются следующие производные:

$y'(x)=-0{,}0072x^2+0{,}0386x-0{,}0095x$ - для АГМ-9,

$y'(x)=0{,}0381x^2-0{,}129x+0{,}0983x$ - для А-187,

$y'(x)=-0{,}0051x^2-0{,}0042x+0{,}0393x$ - для А-174.

По рассчитанным производным определяется скорость изменения массы образцов

ПАН-ТЖ при изменении количества модификатора в ванне. Скорости изменения массы образцов ПАН-ТЖ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Скорости изменения массы образцов ПАН-ТЖ при изменении количества модификатора

Модифицирующий аппрет	Скорость изменение массы образца		
	при концентрации модификатора в пропиточной ванне, %(мл)		
	2 (0,6)	5 (1,5)	10 (3)
АГМ-9	0,011	0,032	0,042
А-187	0,035	-0,009	0,054
А-174	0,035	0,022	-0,019

В результате проведенных математических исследований можно сделать вывод, что наилучшие сорбционные свойства проявляет ПАН-ТЖ в 10%-ном растворе модификатора А-187.

Литература:

1. Циркина О.Г. Производство химических волокон. - Иваново: Ивановская государственная текстильная академия, 2010. - 64 с.

2. Моцарев Г.В. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны / Г.В. Моцарев, М.В. Соболевский, В.Р. Розенберг-М: Химия, 1990.-240 с.

3. Функциональные наполнители для пластмасс / Под ред. М. Ксантоса. Пер. с англ. под ред. Кулезнева В.Н.-СПб.: Научные основы и технологии.-2010.-462 с.

4. Копченова Н.В. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н.В. Копченова, И.А. Марон – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 368 с.

УДК 678.6

Перспективы использования фосфогипса как наполнителя полиэфирных матриц

[1]Королева О.М., аспирант кафедры «Химические технологии»,

[2]Арзамасцев С.В., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»

[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

При производстве минеральных удобрений из Кольского апатитового концентрата образуются промышленные отходы – фосфогипс-дигидрат (ФГД) или фосфополугидрат (ФПГ), в зависимости от режима разложения природного сырья. Масса отходов достигает 180 % массы перерабатываемого сырья. Фосфогипс содержит до 95 % двуводного сульфата кальция и является аналогом природного сырья – гипсового камня [1].

Одной из проблем, связанных с использованием фосфогипса, является наличие в нем остатков фосфорной кислоты, удаление которой ведет к значительному удорожанию фосфогипса и вторичному загрязнению окружающей среды сточными водами. С экономической точки зрения, наиболее выгодно использование фосфогипса, взятого непосредственно из отвала или с технологической линии производства фосфорных удобрений [2].

В работе были изготовлены образцы полиэфирной смолы, наполненной фосфогипсом. В качестве наполнителя использовался ФГД, ФГД, кондиционированный мелом, ФПГ и ФПГ, кондиционированный известью.

Проведенный анализ зависимости физико-механических характеристик композиционного материала, полученного введением разного количества ФГД или ФПГ в полиэфирную смолу марки КАМФЭСТ-0102, показал (рис. 1-5), что при использовании ФГД (обычного или кондиционированного) время отверждения композиции существенно возрастает. Кроме того, при использовании ФГД в качестве наполнителя сложно установить определенную закономерность влияния количества его на, например, разрушающее напряжение при растяжении, поскольку колебания pH дигидрата влияют на физико-механические характеристики.

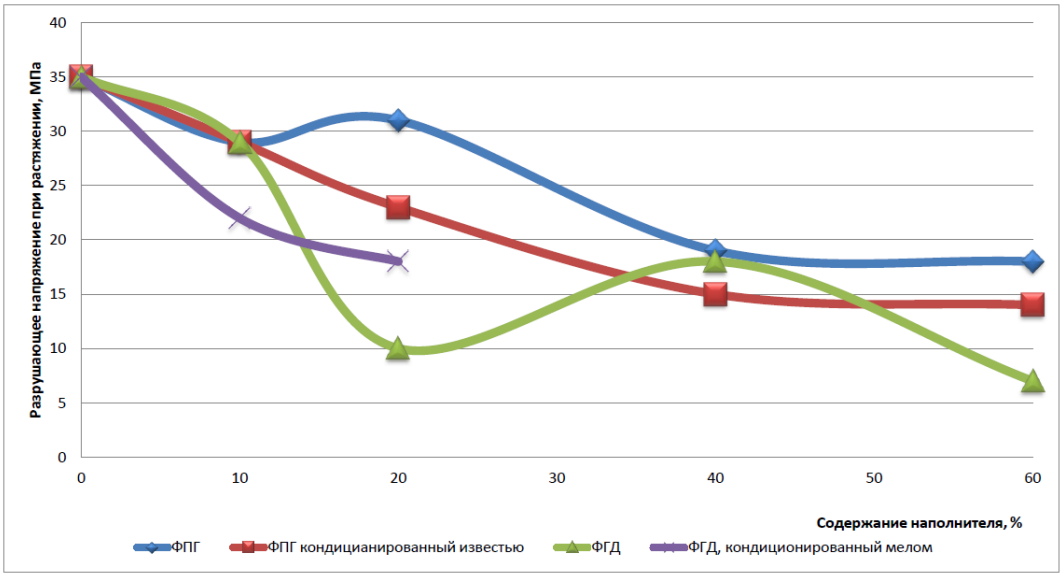


Рис.1. Зависимость разрушающего напряжения при растяжении от вида и количества наполнителя.

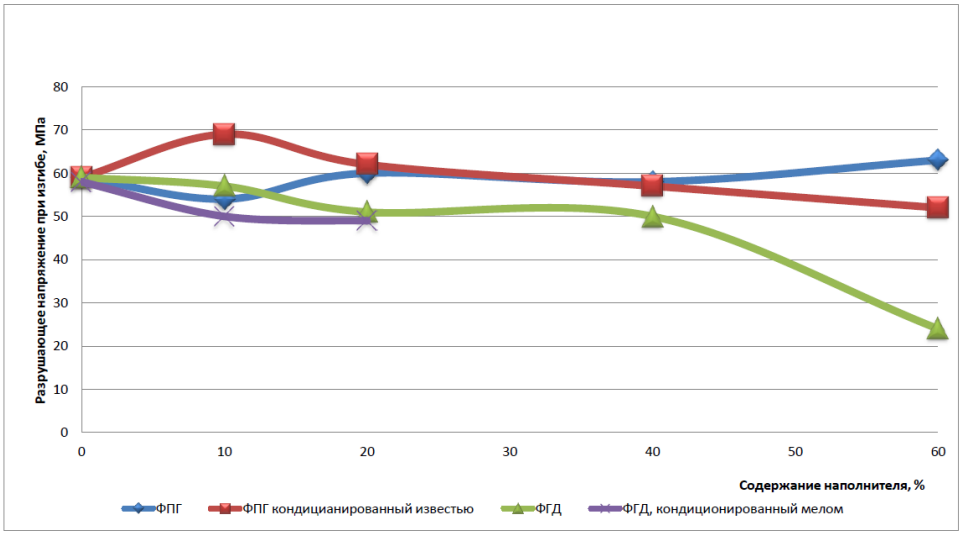


Рис.2. Зависимость разрушающего напряжения при изгибе от вида и количества наполнителя.

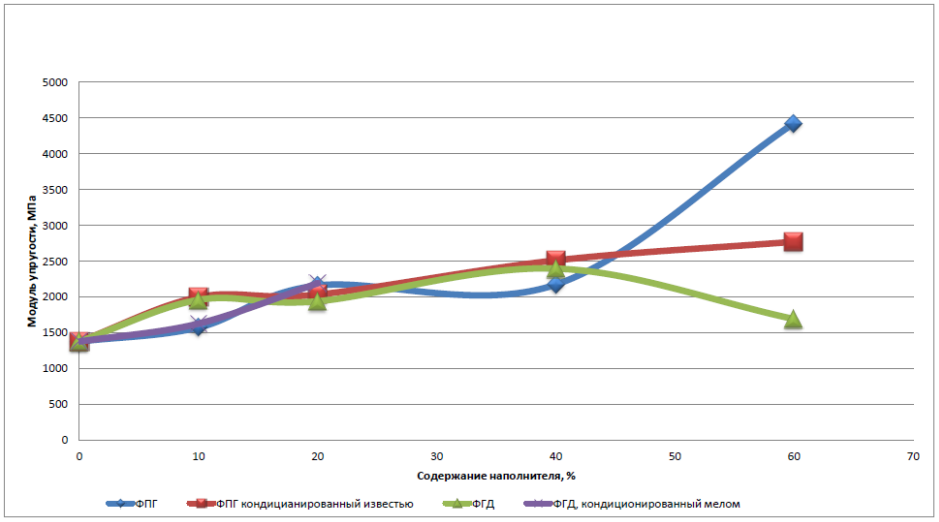


Рис. 3. Зависимость модуля упругости при изгибе от вида и количества наполнителя

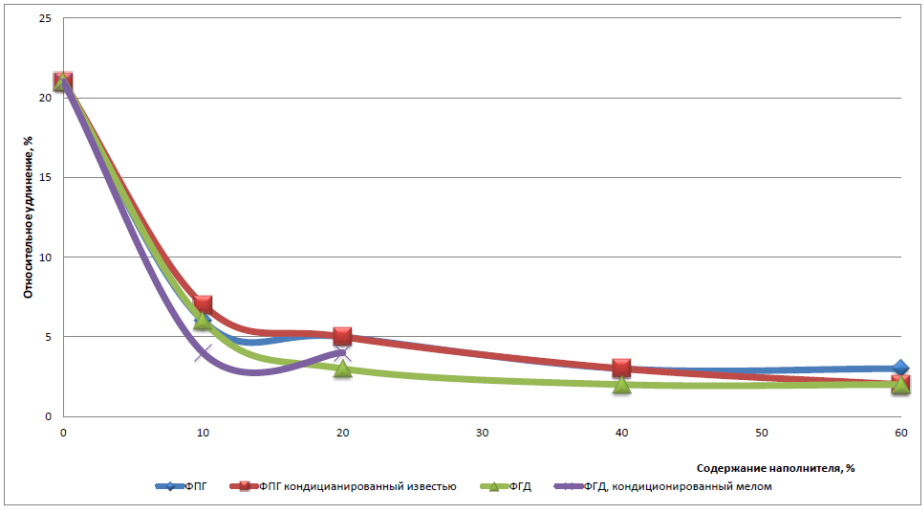


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения при растяжении от вида и количества наполнителя

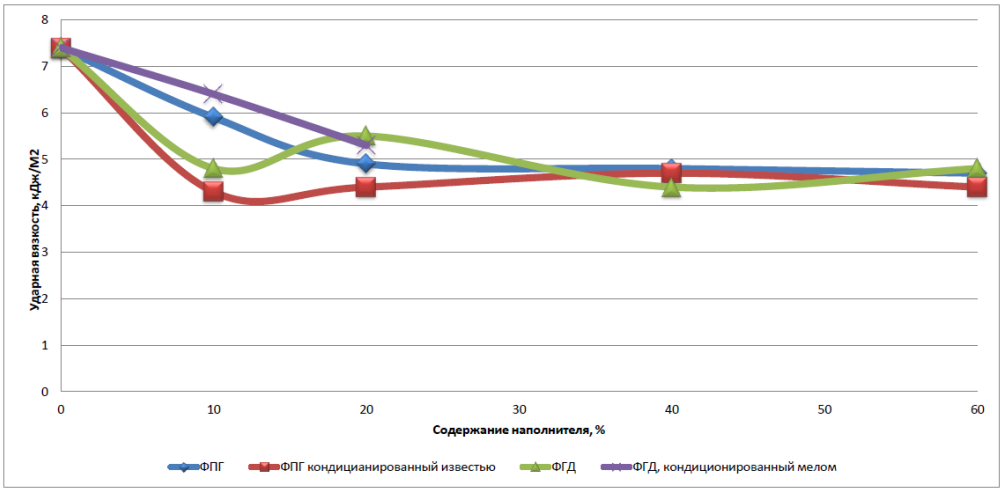


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости от вида и количества наполнителя

Таким образом, более целесообразно использовать ФПГ в качестве наполнителя полиэфирных матриц, так как время отверждения композиции, наполненной ФПГ, существенно ниже, и ПКМ проявляет более стабильные свойства.

Литература:

1. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Проблемы промышленной переработки фосфогипса в РФ, сосотяние и перспективы // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6-2. – С. 273-276;

2. Арзамасцев, С.В. Закономерности технологии базальто- и фосфогипсонаполненных полимерных композиционных материалов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (05.17.06) / Арзамасцев Сергей Владимирович; ФГБОУ ВПО СГТУ имени Гагарина Ю.А. - Саратов, 2011. - 337 с.

УДК 678.5.046

Изучение влияния аппретов различной химической природы на прочностные свойства модифицированной базальтовой нити и эпоксипластов на ее основе

Корчина Л.В., кандидат технических наук, преподаватель специальных дисциплин отделения «Химическая технология неорганических веществ»

ГАПОУ СО «Поволжский колледж технологии и менеджмента», г. Балаково

В настоящее время армирующие волокна и нити, применяемые для получения полимерматричных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами на основе традиционных связующих, в том числе эпоксидных смол, должны обладать высокими механическими свойствами [1]. Использование модифицированных

армирующих волокон и нитей в полимерных композиционных материалах позволяет многократно ускорить и усовершенствовать процесс производства высокопрочных изделий, одновременно расширив комплекс придаваемых им свойств [2].

Одним из путей решения поставленной задачи является использование в технологии композитов волокнистых наполнителей, в частности базальтовой нити, эффективность применения которой может быть повышена его модификацией.

Для выбора состава ванны для модификации базальтовых нитей использовали исследуемые аппреты: АГМ-9 и Duron OS 3151, с концентрацией растворов 2, 5 и 10% и временем обработки 30, 60 и 90с.

Эффективность режима модификации БН раствором АГМ-9 оценивалась по изменению массы модифицированного волокна, характеризующему полноту протекания диффузионно-сорбционных процессов (табл. 1).

Таблица 1

Изменение массы* образцов БН в процессе модификации раствором АГМ-9

Время обработки, с	Концентрация, %		
	2	5	10
30	0,5	0,2	3,2
60	0,6	0,7	3,0
90	0,9	0,8	3,3

*-10^{-3} г

Из приведенных данных (табл. 1) видно, что изменение массы образцов БН пропорционально увеличению концентрации модификатора. Причем волокнистый наполнитель сорбирует от $0{,}5\cdot10^{-3}$ до $3{,}3\cdot10^{-3}$г, что, очевидно, связано с гладкой стеклообразной поверхностью минеральной нити, получаемой расплавным методом. Однако, несмотря на незначительное изменение массы БН, в результате модификации происходит их упрочнение. Физико-механические свойства базальтовой нити, модифицированной АГМ-9, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость относительной разрывной нагрузки модифицированной БН от параметров модификации раствором АГМ-9

Концент-рация ванны, %	Время модификации, с	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	Относительное разрывное удлинение, %
2	30	145	8
	60	152	10
	90	159	7
5	30	148	12
	60	148	11
	90	146	8
10	30	125	8
	60	139	9
	90	146	9
Исходная БН		107	9

Анализ представленных экспериментальных данных по изменению относительной разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения показывает, что модификация БН аппретом АГМ-9 обеспечивает повышение физико-механических характеристик исследуемой нити на 17-49%. Следует отметить, что большая эффективность модификации достигается при концентрации АГМ-9 в модифицирующей ванне 2%, продолжительность модифицирования – 60 с.

Также проводилась модификация БН водным раствором, содержащим Duron OS 3151. Данные по изменению привеса модифицированных базальтовых нитей (табл. 3) показывают, что при модификации БН растворами Duron OS 3151 масса образцов изменяется, как и при обработке АГМ-9, пропорционально увеличению концентрации модификатора и достигает максимума при содержании аппрета в ванне 10%.

Таблица 3

Изменение массы* образцов БН при модификации раствором Duron OS 3151

Время обработки, с	Концентрация, %		
	2	5	10
30	0,04	0,49	0,84
60	0,27	0,53	1,16
90	0,37	0,68	1,84

*-$10^{-2.}$ г

Оценка физико-механических свойств модифицированных Duron OS 3151 базальтовых нитей в таблице 4.

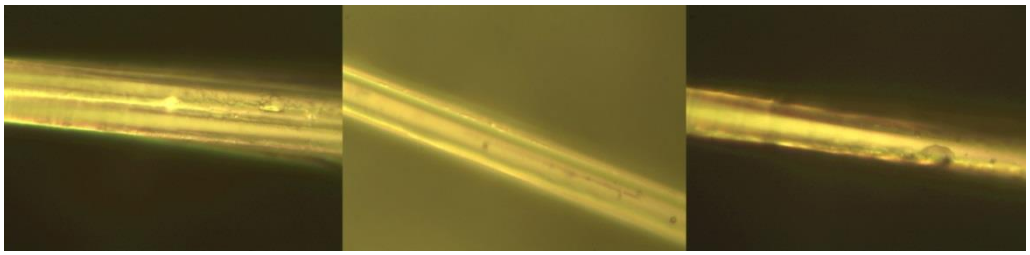
Таблица 4

Зависимость механических свойств модифицированной БН от параметров модификации Duron OS 3151

Концент-рация ванны, %	Время модификации, с	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	Относительное разрывное удлинение, %
2	30	181	11
	60	184	9
	90	188	10
5	30	175	12
	60	180	6
	90	183	9
10	30	183	11
	60	164	10
	90	151	14
Исходная БН		107	9

Из приведенных данных видно, что обработка БН данным модификатором также обеспечивает повышение механических свойств модифицированных нитей на 41-76 %. Причем наибольший упрочняющий эффект реализуется при обработке БН модифицирующей ванной с концентрацией 2% Duron OS 3151 и продолжительность - 60 с.

Значительному увеличению прочностных показателей модифицированных Duron OS 3151 базальтовых нитей, возможно, способствует формирование на поверхности БН в результате модификации достаточно равномерного пленочного покрытия, повышающего компактность и снижающего дефектность исследуемого волокнистого наполнителя (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Микрофотографии образцов (n=1200) : а-БН; б-БН+АГМ-9; в-БН+Duron OS 3151

Анализ экспериментальных данных по оценке эффективности модификации БН аппретами различной химической природы свидетельствует о том, что обработка исследуемой нити АГМ-9 и Duron OS 3151 при оптимальных параметрах обеспечивает устойчивый модифицирующий эффект, следствием этого является повышение прочностных свойств модифицированных волокнистых наполнителей независимо от их природы и химической природы аппрета.

Таким образом, модифицирование БН аппретами различной химической природы: АГМ-9, Duron OS 3151 приводит к повышению деформационно-прочностных свойств, по сравнению с немодифицированной нитью, что позволяет рекомендовать их в качестве волокнистых наполнителей для эпоксидных композитов.

Для изучения влияния модифицированной БН на основные механические свойства эпоксидных композитов на ее основе получали модельные образцы, содержащие 50 % волокнистого наполнителя, обработанного аппретами различной химической природы.

Прочностные характеристики композиционного материала, на основе модифицированной АГМ-9 базальтовой нити, представлены на рисунке 2.

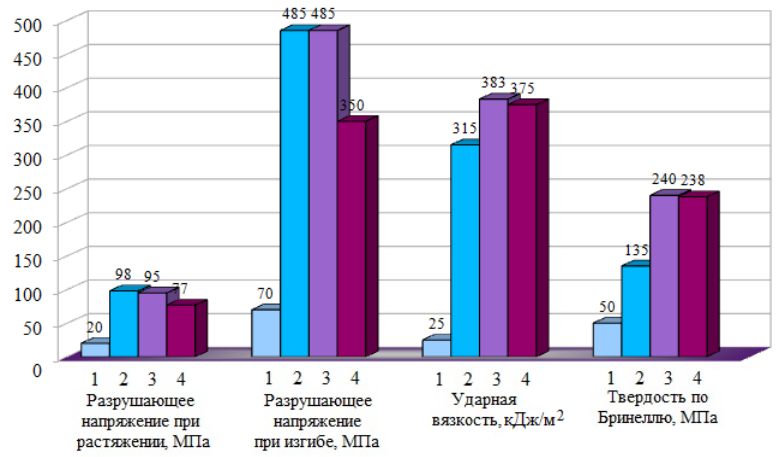


Рис. 2. Сравнительная оценка эксплуатационных свойств разработанных ПМКМ: 1-ЭД-20 ненаполненная; 2-ЭД-20+БН;3-ЭД-20+БН+АГМ-9; 4-ЭД-20+БН+Duron OS 3151

Из полученных данных видно, что армирование эпоксидной смолы исходной базальтовой нитью значительно повышает прочностные характеристики композиционного материала. При этом происходит значительное увеличение разрушающего напряжения при растяжении (в 4-5 раз), при изгибе (в 5-7 раз); ударной вязкости (в 12-15 раз); твердости по Бринеллю (в 3,7-4,8 раза) по сравнению с ненаполненной матрицей. Модификация БН АГМ-9 обеспечивает повышение ударной вязкости на 21,6 % и твердости по Бринеллю на 77,8% при практическом сохранении разрушающего напряжения при растяжении и изгибе. Следует отметить, что эпоксидные композиты на основе БН, модифицированной Duron OS 3151 отличаются также повышенной ударной вязкостью (на 19%) и твердостью по Бринеллю (на 76,3%) при снижении прочности при деформациях растяжения и изгиба.

Результаты предварительного эксперимента по изучению возможности поверхностной модификации базальтовых нитей, используемых при получении эпоксипластов, свидетельствуют о том, что их обработка исследуемыми аппретами на данном этапе не обеспечила дополнительного повышения прочностных характеристик композитов на их основе по сравнению с ПМКМ, армированными исходной базальтовой нитью, что ставит задачи продолжения работ по выбору эффективных аппретирующих составов для их модификации.

Литература:

1. Перепелкин, К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты: учебник [Текст] / К.Е. Перепелкин.- СПб.: Научные основы и технологии, 2009.-380с.

2. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов: Уч. – справ. пос. / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб: Профессия, 2007. – 240 с.

УДК 66.0

Исследование влияния фосфогипса на качество цемента и бетона

Костюченко Е. А., преподаватель первой категории
Шарова И. Г., преподаватель первой категории.
Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Саратовской области «Балаковский политехнический техникум», г. Балаково.

В настоящее время остро стоит вопрос об утилизации отходов производства экстракционной фосфорной кислоты, а именно о фосфогипсе. На 1 т полезного продукта приходится до 4,5 тонн фосфогипсовых отходов, содержащих в своем составе более 90 % двуводного гипса [1]. Колоссальное количество фосфогипса, находящееся под открытым небом, подвергается воздействию атмосферных осадков, что позволяет ему практически беспрепятственно поступать в грунтовые воды. Водный бассейн на десятки километров в регионах подвержен губительному воздействию фосфорной, серной кислот и их солей, соединений редкоземельных металлов. Кроме того, испаряющиеся в атмосферу соединения фтора загрязняют биосферу. Объективные предпосылки для разработки эффективных решений имеются в достаточном количестве, однако количество фосфогипса в отвалах с каждым годом увеличивается, нанося непоправимый ущерб окружающей среде. Проведя анализ научно-технической, патентной документации, журналов и литературных источников нами было проведено исследование влияния фосфогипса на качество цементного камня и цементной смеси. В составе бетонных смесей используют минеральные вяжущие вещества – неорганические порошкообразные материалы, получаемые из природного сырья и образующие при перемешивании с водой подвижную массу, затвердевающую в прочное камневидное тело.

На первом этапе исследования мы определили состав фосфогипса и проверяли его на радиоактивность. Радиоактивный фон замеряли, на индикаторе радиоактивности РАДЭКС РД 1503, средний показатель семи замеров был 16 мкР/ч, данный прибор не дает точных представлений о содержании радиоактивных нуклидов. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в строительных материалах не должна превышать 370 Бк/кг. Фосфогипс обладает более высоким показателем радиоактивности — 574 Бк/кг (природный гипс 29 Бк/кг). Обладая гораздо большей удельной радиоактивностью, чем природный гипс, который он призван был заменить, фосфогипс подвергает людей более интенсивному облучению (на 30%).Содержание радиоактивных элементов в фосфогипсе зависит от их концентрации в фосфатном сырье, поэтому радиоактивность фосфогипса следует измерять и

учитывать в каждом конкретном случае при выборе места складирования и для определения возможностей его использования [2].

Далее мы провели анализ состава фосфогипса и выявили содержание P_2O_5 . По данным лабораторного исследования, процентное содержание P_2O_5 в фосфогипсе АО «Апатит» составило 0,13%. Незначительное содержание водорастворимых фосфатов не оказывает существенного (негативного) влияния на процесс схватывания и отверждения. Поэтому, дальнейшее исследование химического состава фосфогипса было нецелесообразно, т.к. целью исследования было выявление влияния фосфогипса на качество цемента и бетона, используемого в строительстве, основными характеристиками которых являются схватываемость и твердость [3].

На новом этапе, измельчив фосфогипс, мы изготовили четыре образца в форме цилиндра с разными процентными концентрациями цемента, фосфогипса и воды и через сутки определили их твердость по шкале Мосса. Цемент применялся марки М 500. Составы образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав образцов

	Цемент,%	Фосфогипс,%	Вода,%	Прочность по шкале Мосса
Образец 1	85	15	40 от массы смеси	2
Образец 2	70	30	40 от массы смеси	2
Образец 3	50	50	60 от массы смеси	2
Образец 4	30	70	60 от массы смеси	2

По шкале Мосса все четыре образца по твердости можно отнести ко второму классу, так как они все царапались мягкой алюминиевой проволокой, оставляя за собой белую черту. Можно сделать вывод, что при увеличение содержание фосфогипса в образцах их прочность уменьшалось. Образцы при нажатии разрушались, самая маленькая прочность была у четвертого образца. Через 7 суток мы провели повторное определение твердости и определили, что образцы стали более прочными и при нажатии не разрушались, но мягкой проволокой царапались, значит, твердость осталась той же.

Так же исследовали структуру наших образцов, с содержанием фосфогипса 15, 70%, на микроскопе.

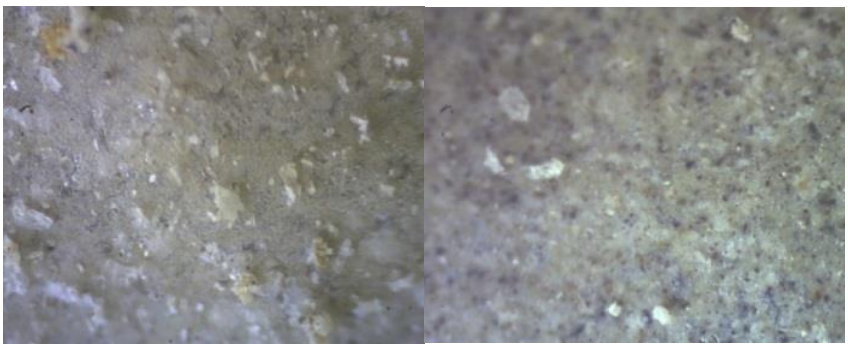


Рис.1. Электронное изображение поверхности исследуемых образцов, увеличение 40: а- с содержанием фосфогипса 15%, б-с содержанием фосфогипса 70%.

Затем мы попробовали ввести фосфогипс в уже готовую цементную смесь и посмотреть как он влияет на время схватываемости и прочность при сжатии образца на 7 сутки, для этого мы изготовили цементный состав (цемент марки М 300 и вода в количестве 25% от цементной смеси) и ввели в него фосфогипс в количестве 5%, 10%, изготовили четыре образца в форме цилиндра: два с содержанием фосфогипса 5% и два с содержанием фосфогипса 10% и провели замер предела прочности на аппарате ПСУ 50125.

Провели расчет предела прочности при сжатии по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F} \cdot \text{К}_{\text{сут}} \cdot 0{,}95, \quad (1)$$

где $\text{К}_{\text{сут}}$ –суточный коэффициент; Р-наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Мпа; F-площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, см^2 [4].

Рассчитаем площадь поперечного сечения образцов:

$$F = \pi \cdot r^2, \quad (2)$$

где r- радиус формы, см

$$F = 3{,}14 \cdot 2{,}5^2, = 19{,}63 \text{ см}^2$$

Мы получили следующие результаты:

1.Образец без фосфогипса

$$R_{\text{сж}} = \frac{400}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 33{,}3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ или } 3{,}33 \text{ МПа}$$

2.Образец без фосфогипса

$$R_{\text{сж}} = \frac{400}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 33{,}3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ или } 3{,}33 \text{ МПа}$$

3.Образец 5% фосфогипса

$$R_{\text{сж}} = \frac{100}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 8{,}3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ или } 0{,}8 \text{ МПа}$$

4.Образец 5% фосфогипса

$$R_{сж} = \frac{100}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 8{,}3 \frac{кгс}{см^2} \text{ или } 0{,}8 \text{ МПа}$$

5.Образец 10% фосфогипса

$$R_{сж} = \frac{150}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 12{,}4 \frac{кгс}{см^2} \text{ или } 1{,}24 \text{ МПа}$$

6.Образец 10% фосфогипса

$$R_{сж} = \frac{150}{19{,}65} \cdot 1{,}71 \cdot 0{,}95 = 12{,}4 \frac{кгс}{см^2} \text{ или } 1{,}24 \text{ МПа}$$

Можно сделать вывод, что введение фосфогипса в цементную смесь снижает её прочность, что обусловлено ранней схватываемостью образцов. Однако исходя из литературных источников прочность образцов содержащих фосфогипс увеличивается в 10 раз с увеличением времени выдержки образцов (от 7 до 90 суток) [5].

Для определения времени схватывания цементной смеси на приборе Вика, мы подготовили три образца, содержание фосфогипса в них составляло 0%, 5% и 10% соответственно. Через три часа, после замеса смесей, мы начали наблюдать начало схватывания у образца № 2, содержащего 5 % фосфогипса.

Лабораторное исследование влияния содержания фосфогипса на время схватывания показало, что наименьшее время схватывания цементной смеси составило у образца № 2, и в общем составляет 6 часов 30 минут, а наибольшее время схватывания оказалось у образца № 1 – 9 часов (таблица 2).

Таблица 2

Физико-механические характеристики цементов, с различным содержанием фосфогипса

№ образца	Составляющие цемента %		Сроки схватывания, ч-мин	
	Цементная смесь М-300	Фосфогипс	Начало	Конец
1	100	0	16 30	20 40
2	95	5	15 20	18 30
3	90	10	16 10	19 50

Исходя из проведенного исследования, можно сделать следующий вывод, что использование фосфогипса в качестве добавок к цементной смеси, уменьшающих время схватывания, возможно, но в количестве не более 5% [6].

Литература:

1.Бетоны из фосфогипса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6275. – Фосфогипс (Дата обращения: 30.04.17).

2. Самарский гипсовый комбинат. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://samaragips.ru/company/gips-news/2421/.-Радиоактивность природного и химического гипса.(Дата обращения: 11.04.17).

3. Книпович Ю.Н., Морачевский Ю.В. (ред.). Анализ минерального сырья. 3-е изд., стер., испр. – Л.: ГХИ, 1959. – 1055 с

4.ГОСТ 8462-85 Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе- Введ. 1985-07-01.— М.: Изд-во стандартов, 1985.— 6 с.

5. Ахмедов М.А. Фосфогипс. Исследование и применение: учебное пособие/М.А. Ахмедов, Т.А. Атакузиев.-Ташкент.: Изд-во «Фан»,1980.-141 с.

6. ГОСТ 310.3-76 от 1978-01-01 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема- Введ. 1978-01-01.- М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.-10с.

УДК:691.175.5/.8

Полиолефиновая композиция с различными температурами плавления

[1]Линьков М.В., главный технолог, [2]Арзамасцев С.В., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»

[1]ООО «ТД Новополимер», г. Чехов

[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Проблема повышения эффективности использования отходов собственного производства и снижения стоимости продукции остро стоит у производителей различных полимерных пленок. Существует сложность рециглинга отходов таково вида продукции как армированная пленка. Армированная полиэтиленовая пленка - это полотно, состоящее из армирующего слоя, ламинированного с двух сторон слоями полиэтилена [1, 3]. В качестве армирующего слоя применяется двуосноориентированная полипропиленовая или тканая полиэфирная сетка (нить). Компания ООО «ТД НОВОПОЛИМЕР» является производителем армированной пленки под торговой маркой СТРЕН в диапазоне удельного веса от 80 до 250 г/м². Сейчас на практике применяют несколько способов разделения пленочных отходов полиэтилена высокого давления (ПВД) и полипропилена (ПП), но они подразумевают

увеличение технологических операций, трудоемки и финансово затратны. Для утилизации отходов была разработан метод получения вторичной термопластичной полимерной композиции, пригодной для дальнейшего формования технической пленки и листов методом экструзии. Композиция имеет в своем составе ПВД (ПТР 2г/10мин, при 2,16 кг, 190С°) и ПП (ПТР 3г/10мин при 2,16 кг, 230С°) в соотношении 60-70/40-30%. Сущность разработанного метода заключается в получении термопластичной полимерной композиции из смеси полимеров с различными температурами плавления - ПП и ПВД. Для этого брак и отходы армированной пленки измельчают в шредере до частиц с размерами 7-5 мм. Полученную в шредере массу перерабатывают в роторном измельчителе до образования частиц с размерами 2-3 мм. Перед грануляцией проводится процесс сушки для получения однородной влажности всей композиции. Сушку смеси производят в вакуумной сушилке с перемешивающим устройством, при температуре 40-50С° и выдерживают до получения остаточной влажности 0,02%±10%. Полученную смесь перерабатывают в экструдере – грануляторе, выдерживая определенные технологические параметры (табл. 1). В качестве регулятора вязкости вторичный композиции использовался первичный (вторичный) полиэтилен высокого давления марка ПВД 12203-250–ТУ BY 300042199.111-2010 производства ОАО «Нафтан», завод «Полимир» (г. Новополоцк).

Таблица 1

Температурный режим гранулирования вторичной композиции

Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4	Зона 5	Зона 6	Зона головы 1	Зона головы 2
150-155°С	200-210°С	205-210°С	210-220°С	215-220°С	220-230°С	220-230°С	220-230°С

Для определения фазового состава вторичной композиции и технологичности гранулирования, а в дальнейшем и переработки, был использован метод дифференциальной сканирующий калориметрии.

На кривых ДСК (рис. 1) присутствуют фазовые переходоы ПВД и ПП в составе полимерной вторичной композиции.

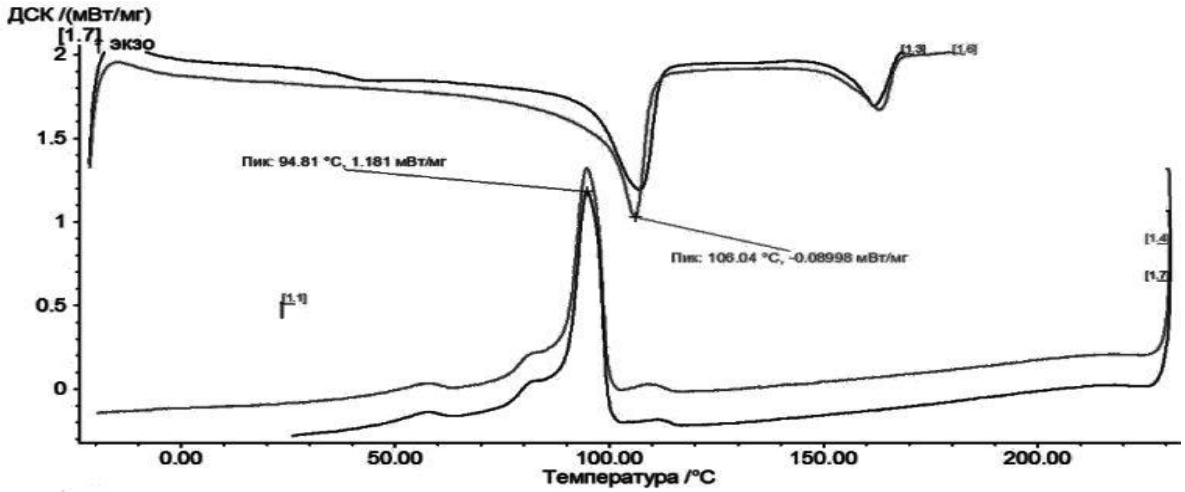


Рис. 1. Кривые ДСК пленки толщиной 25мкм, изготовленной из смеси ПВД и ПП в соотношении 70:30 (масс)

В настоящий момент проводятся работы по определению возможности многократного рециглинга полученной полимерной композиции.

Вторичную полимерную композицию (ПП+ПВД) применили для формования верхнего слоя геокомпозита марки «ТЕПЛО-СТРЭН» (ООО «ТД НОВОПОЛИМЕР). Данный материал представляет собой следующее поколение геокомпозита «СТРЭН-АСГЕО» ТУ-2245-012-88882290-12. Геокомпозит марки «ТЕПЛО-СТРЭН», который предназначен для применения в качестве полотна технического назначения в конструкциях автомобильных дорог, аэродромов, тоннелей, площадок различного назначения и других геотехнических сооружениях, а так же для защиты изолированной поверхности трубопроводов в подтопляемой, обводненной и заболоченной местности при их строительстве, реконструкции и капитальном ремонте [2]. Благодаря текстильной вставке пленка адсорбирует остатки пара, влаги и способствует их выветриванию через вентиляционные зазоры. В состав экспериментального геокомпозита марки «ТЕПЛО-СТРЭН» входит холст геосинтетического материала (геотекстиля) с удельным весом 200г/м² из штапельного полипропиленового волокна, закрепленный на основе методом термоскрепления и слоя полиэтиленовой пленки, изготовленной из вторичной полимерной композиции (ПП+ПВД). В качестве армирующего слоя между геотекстилем и пленкой применялась двуосноориентированная полипропиленовая сетка марки СТЭН С3-1 с удельным весом 45 г/м². Геокомпозит получается путем термического соединения трех слоев.

Полимерную вторичную композицию также использовали для изготовления листового материала методом плоскощелевой экструзии. Полученные листы из вторичной полимерной композиции толщиной 1,4 мм., имеющие прочность на разрыв не менее 14 кН/м могут применяться в качестве отсечной гидроизоляции, ограждающей и бордюрной ленты (табл. 2).

В настоящее время в ООО «ТД Новополимер» проводится ряд испытаний полученных из вторичной полимерной композиции (ПП+ПВД) материалов на климатическое старение по ГОСТ 0.707-81 и определяется устойчивость материалов к ультрафиолетовому старению по ГОСТ Р55031-2012. Полученные данные свидетельствуют об устойчивости полученного материала к перепадам температуры и воздействию ультрафиолетового излучения.

Таким образом, изделия, получаемые из вторичной полимерной композиции (ПП+ПВД), по техническим характеристикам не хуже изделий из первичных материалов.

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов изготовленных из вторичной термопластичной композиции ПП+ПВД

Показатель	Наименование образцов		
	Геокомпозит «ТЕПЛО-СТРЭН» уд. вес 550г/м²	Лист ПП+ПВД (толщина 1,4 мкм)	Пленка техническая (толщина 25 мкм)
Прочность при растяжении, кН/м, вдоль поперек	 18 15	 21 20	 1,2 0,9
Относительное удлинение при разрыве, %,	78	150	280
Прочность при растяжении посредством захват, Н, не менее	700	550	-
Ударной прочности, при грузе 1000±5г, мм,	5,2	2,1	-
Водопроницаемость при давлении 20кПа и напоре 100мм, м/сут	водонепроницаем	водонепроницаем	-

Литература:

1. Научно-технологические принципы создания полимерматричных композитов на основе приоритетных наполнителей с заданным комплексом свойств: монография /Устинова Т.П., Панова Л.Г., Кардаш М.М., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л., Плакунова Е.В., Бурмистров И.Н. - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2014. - 111 с. (6,94 печ. л.). - ISBN 978-5-9905521-4-2

2. Сайт компании ООО «ТД Новополимер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stren.ru

3. Устинова, Т.П. Направленное регулирование структуры и свойств полимерматричных композиционных материалов /Устинова Т.П., Кадыкова Ю.А. // Вестник Тамбовского государственного технического университета . - 2015. - Т. 21, № 4. - С. 644-652.

УДК 678.072; 678.01

Эпоксидные композиты, модифицированные микросферами оксида кремния

Мостовой А.С., кандидат технических наук, заведующий лабораторией
«Современные методы исследований функциональных материалов и систем»,
ассистент каф. «Естественные и математические науки»;
Кадыкова Ю.А., доктор технических наук, первый заместитель директора,
профессор кафедры «Химические технологии»,
Таганова А.А., студент направления «Химическая технология»,
Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

Эпоксидные смолы характеризуются высокой адгезией к материалам различной природы, поэтому их широко используют в качестве основного компонента лакокрасочных материалов, клеев, герметиков, полимерных композиционных материалов и т.д. В настоящее время с совершенствованием технологий возрастает потребность промышленности в современных материалах из эпоксидных смол с улучшенными эксплуатационными и технологическими характеристиками. Однако заключается это не столько в разработке новых, сколько в модификации известных материалов [1-2].

В качестве пластификатора-антипирена применяли трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), содержащий в составе ингибиторы горения – фосфор и хлор, структурирующие эпоксидный полимер при воздействии на него повышенных температур и обеспечивающие увеличение выхода карбонизованных структур [3], а в качестве наполнителя – микросферы оксида кремния (SiO_2).

Микросферы, применяемые в данной работе, являются аналогами стеклянных микросфер, которые получают промышленными методами, но их стоимость в разы ниже.

Фракционный состав SiO_2 характеризуется бимодальным распределением частиц и представлен частицами с размерами от 0,1 до 100 мкм, со средними размерами частиц 1 и 10 мкм, при этом частицы имеют форму, близкую к сферической, и гладкую внешнюю поверхность.

Основными достоинствами сферических наполнителей являются небольшое отношение площади поверхности к объему, способствующее малой адсорбции связующего, совершенство формы, обеспечивающее хорошее смачивание частиц и равномерное распределение напряжений в материале, высокая устойчивость наполненных ими ПКМ к растяжению, сжатию и водостойкость. Кроме того, SiO_2 обладают очень низкой реакционной

способностью, его химический состав обеспечивает высокую устойчивость к кислотам и щелочам, он pH-нейтрален и не влияет на химический состав или реакции материалов или изделий, в которых он используются.

В эпоксидную композицию микросферы SiO_2 вводились от 0,05 до 50 масс.ч. Проведенные исследования показали, что наиболее рациональным является введение 0,1 и 50 масс.ч., так как при этом обеспечивается повышение физико-механических характеристик и снижается себестоимость продукции (в случае 50 масс.ч.): в 3,2-3,5 раза возрастает разрушающее напряжение и в 2-5 раз повышается модуль упругости при изгибе, на 20-50% возрастает разрушающее напряжение и модуль упругости при растяжении, а также возрастает твердость с 84 до 110-230 МПа, табл.1.

Таблица 1

Свойства эпоксидных композитов

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	$G_р$, МПа	$E_р$, МПа	$H_в$, МПа
100ЭД-20	17	2654	26	2040	225
100ЭД-20+42ТХЭФ	34	1750	36	1610	84
100ЭД-20+40ТХЭФ+0,1SiO_2	111	3340	55	1966	110
100ЭД-20+40ТХЭФ+50SiO_2	119	8339	50	2505	230

Примечание: $G_{из}$ – разрушающее напряжение при изгибе; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; $G_р$ – разрушающее напряжение при растяжении; $E_р$ – модуль упругости при растяжении; $H_в$ – твердость по Бринеллю; коэффициент вариации по свойствам 4-6 %.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность использования микросфер SiO_2 в качестве наполнителя для эпоксидных композитов, обеспечивающих повышение физико-механических характеристик полимерных композиционных материалов.

Литература:

1. Осипов П.В., Осипчик В.С., Смотрова С.А., Савельев Д.Н. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров // Пластические массы. – 2011. - № 4 – С. 3-5.

2. Мостовой А.С., Панова Л.Г., Курбатова Е.А. Модификация эпоксидных полимеров кремнийсодержащим наполнителем с целью повышения эксплуатационных свойств // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 87-95.

3. Мостовой А.С. Разработка составов и исследование свойств пожаробезопасных эпоксидных компаундов / А.С. Мостовой, Е.В. Плакунова, Л.Г. Панова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. - № 5 (25). – С. 135-137.

УДК 678.072; 678.01

Исследование влияния хромитовой руды на свойства эпоксидных композитов

Мостовой А.С., кандидат технических наук, заведующий лабораторией
«Современные методы исследований функциональных материалов и систем»,
ассистент каф. «Естественные и математические науки»;
Кадыкова Ю.А., доктор технических наук, первый заместитель директора,
профессор кафедры «Химические технологии»,
Нуртазина А.С., аспирант кафедры «Химические технологии»;
Прокопович К.В., студент направления «Химическая технология»;
Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

Эпоксидные заливочные и пропитанные компаунды, благодаря разнообразию технологических свойств, высоким диэлектрическим показателям, химической стойкости и широкому температурному диапазону эксплуатации в сочетании с другими ценными свойствами являются незаменимыми в электротехнической, радиотехнической, электронной и химической промышленности. Однако полимеры на основе немодифицированных эпоксидных олигомеров зачастую обладают низкими и нестабильными эксплуатационными характеристиками [1-3].

Большие потенциальные возможности улучшения характеристик композиционных материалов заложены в использовании как пластификаторов, так и недорогих и эффективных наполнителей, в число которых входят дисперсные минеральные наполнители [1-3], в частности измельченная хромитовая руда, химический состав которой представлен в таблице 1.

В результате проведенных исследований установлено, что хромитовая руда преимущественно состоит из оксидов хрома (II), железа (III), кремния, алюминия, титана, а также содержит карбонат кальция, такой состав свидетельствует об экологической безопасности данного продукта и, соответственно, возможности использования ее в качестве наполнителя эпоксидного композита.

Фракционный состав хромитовой руды характеризуется бимодальным распределением и представлен частицами от 0,1 до 40 мкм, со средними размерами частиц 2 и 15 мкм (табл.1).

Таблица 1

Химический состав хромитовой руды

Компонент	Концентрация, %
CrO	43,2312
$CaCO_3$	21,4161
Fe_2O_3	17,7266
SiO_2	13,0604
Al_2O_3	3,0256
Ni	0,8244
Cu	0,3372
TiO_2	0,1462
Zn	0,1171
S	0,0846
P	0,0306

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный нами состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. - Furolflex (FF) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамина (ПЭПА).

FF использовался в качестве пластификатора-антипирена, обеспечивающего не только повышение эластических свойств эпоксидных композитов, но и снижающего их горючесть, в следствие наличия в его составе фосфора, который структурирует эпоксидный полимер при пиролизе и горении, обеспечивая повышенное коксообразование и как следствие снижение горючести.

В эпоксидную композицию хромитовая руда вводилась от 50 до 150 масс.ч. Для повышения равномерности распределения хромитовой руды, а также активации ее поверхности и связующего применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ - 22±2 кГц, продолжительность 60 мин.

Проведенные исследования показали, что наиболее рациональным является введение 100 масс.ч., так как при этом обеспечивается повышение физико-механических характеристик и снижается себестоимость продукции: на 15 % возрастает разрушающее напряжение и в 4,5 раза повышается модуль упругости при изгибе, на 35-45% возрастает разрушающее напряжение и модуль упругости при растяжении, в 2 раза возрастает твердость, при этом удается сохранить ударную вязкость на уровне ненаполенного пластифицированного композита, табл.2.

Таблица 2

Свойства эпоксидных композитов

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	$G_р$, МПа	$E_р$, МПа	$H_в$, МПа	$a_{уд}$, кДж/м^2
100ЭД-20	17	2654	26	2040	225	3
100ЭД-20+40FF	80	2210	30	1896	175	6
100ЭД-20+40FF+100Хромитовая руда	92	10376	41	2737	345	5,5

Примечание: $G_{из}$ – разрушающее напряжение при изгибе; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; $G_р$ – разрушающее напряжение при растяжении; $E_р$ – модуль упругости при растяжении; $H_в$ – твердость по Бринеллю; $a_{уд}$ – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 5-7 %.

Таким образом, доказана эффективность и целесообразность использования для наполнения эпоксидной смолы измельченной хромитовой руды, так как установлено повышение физико-механических свойств эпоксидных композитов, что позволяет расширить области применения разработанных полимерных композиционных материалов и снизить их себестоимость.

Литература:

1. Майсурадзе Н.В. Наполнение эпоксидных композиций дисперсными органо-неорганическими отходами / Н. В. Майсурадзе, Л. А. Абдрахманова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, №18. – С. 179-181.

2. Осипов П.В., Осипчик В.С., Смотрова С.А., Савельев Д.Н. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров // Пластические массы. – 2011. - № 4 – С. 3-5.

3. Стухляк П.Д. Влияние ферромагнитных наполнителей на ударную вязкость и седиментационную стойкость эпоксикомпозитов, сформированных под воздействием переменного магнитного поля / П.Д. Стухляк, В.В. Карташов, И.Т. Соривка, А.З. Скороход // Перспективные материалы. – 2013. - № 6. – С. 63-68.

УДК 678.072; 678.01

Изучение возможности использования тонкодисперсной кремнистой породы в качестве наполнителя полимерного композиционного материала

Мостовой А.С., кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Современные методы исследований функциональных материалов и систем», ассистент кафедры «Естественные и математические науки»; Кадыкова Ю.А., доктор технических наук, первый заместитель директора, профессор кафедры «Химические технологии», Нуртазина А.С., аспирант кафедры «Химические технологии»; Чебакова К.А., студент направления «Химическая технология»

Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

Эпоксидные смолы - самые распространенные и универсальные из всего семейства смол, являются одними из лучших видов связующих, применяемых при производстве композитных материалов. Практически по всем параметрам эти смолы обеспечивают самые высокие показатели. Преимуществами эпоксидных смол являются: стойкость к действию галогенов, кислот, щелочей, высокая адгезия к большинству наполнителей и армирующих материалов, хорошие электроизоляционные свойства. В процессе химической реакции между эпоксидной смолой и отвердителем не происходит выделения воды или какие-либо летучих веществ. Они обладают крайне малой усадкой, в сравнении с фенольными и полиэфирными смолами [1-3].

В связи с развитием промышленности, созданием новых конструкционных элементов изменяются и требования к эпоксидным композиционным материалам.

Одним из способов направленного регулирования свойств эпоксидных полимеров, позволяющим повысить показатели механической прочности и жесткости, химической стойкости, теплостойкости, диэлектрических свойств является введение тонкодисперсных наполнителей [1-3], в том числе кремнистой породы.

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный нами состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. - Furolflex (FF) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамина (ПЭПА).

FF использовался в качестве пластификатора-антипирена, обеспечивающего не только повышение эластических свойств эпоксидных композитов, но и снижающего их горючесть, в следствие наличия в его составе фосфора, который структурирует эпоксидный полимер при

пиролизе и горении, обеспечивая повышенное коксообразование и как следствие снижение горючести.

В эпоксидную композицию кремнистая порода вводилась в качестве модифицирующей добавки в количестве 0,05-0,5 масс.ч. Для повышения равномерности распределения кремнистой породы, а также активации ее поверхности и связующего применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ - 22±2 кГц, продолжительность 60 мин.

Проведенные исследования показали, что наиболее рациональным является введение кремнистой породы как модифицирующей добавки в количестве 0,1 масс.ч., так как при этом обеспечивается повышение физико-механических характеристик: на 45-60 % возрастает разрушающее напряжение и модуль упругости при изгибе, на 20-50% возрастает разрушающее напряжение и модуль упругости при растяжении, значительно (почти в 3 раза) повышается ударная вязкость, табл.1.

Таблица 1

Свойства эпоксидных композитов

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	$G_р$, МПа	$E_р$, МПа	$H_в$, МПа	$a_{уд}$, кДж/м^2	$T_в$, ^{0}C
100ЭД-20	17	2654	26	2040	225	3	86
100ЭД-20+40FF	80	2210	30	1896	175	6	132
100ЭД-20+40FF+0,1Кремнистая порода	118	3483	46	1931	185	17	150

Примечание: $G_{из}$ – разрушающее напряжение при изгибе; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; $G_р$ – разрушающее напряжение при растяжении; $E_р$ – модуль упругости при растяжении; $H_в$ – твердость по Бринеллю; $a_{уд}$ – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 5-7 %.

Вследствие того, что сама кремнистая порода является термостойким материалом, то ее введение в эпоксидный композит приводит к повышению теплостойкости по Вика со 132 до 150 ^{0}C, табл.1.

Таким образом, проведенные исследования доказывают эффективность использования кремнистой породы в качестве модифицирующей добавки (0,1 масс.ч.) эпоксидных полимеров, обеспечивающей повышение физико-механических свойств и теплостойкости эпоксидных композитов.

Литература:

1. Кадыкова Ю.А., Улегин С.В. Направленное регулирование свойств эпоксибазальтопластиков // Известия Волгоградского государственного технического

университета. Серия Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. – 2015. – № 7 (164). – С. 130-131.

2. Мостовой А.С., Панова Л.Г., Курбатова Е.А. Модификация эпоксидных полимеров кремнийсодержащим наполнителем с целью повышения эксплуатационных свойств // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 87-95.

3. Стухляк П.Д. Влияние ферромагнитных наполнителей на ударную вязкость и седиментационную стойкость эпоксикомпозитов, сформированных под воздействием переменного магнитного поля / П.Д. Стухляк, В.В. Карташов, И.Т. Соривка, А.З. Скороход // Перспективные материалы. – 2013. - № 6. – С. 63-68.

УДК 621.315.5

Катодное оксидирование меди в водных растворах солей полианионных кислот

[1]Попова С.С. доктор химических наук, профессор кафедры «Химические технологии», [2]Ходжауди Х. А. кандидат технических наук, генеральный директор, [1]Окишева Н.А. кандидат химических наук, доцент кафедры «Естественные математические науки», [1]Рябухова Т.О. кандидат химических наук, доцент кафедры «Естественные математические науки», [1]Сочнева Ю.В. аспирант кафедры «Химические технологии»

[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс, [2]ОАО «Чеченнефтехимпром», г. Грозный

Появление в первой половине XX века литий-ионных химических источников тока многоразового действия связано с тем, что использование лития и его сплавов в качестве активного материала отрицательного электрода позволило значительно увеличить удельный энергозапас на единицу массы (Вт ч/кг) или объема (Вт ч/л), по сравнению с известными ранее вариантами химических источников тока различных других электрохимических систем, и способствовало заметному распространению их для электропитания малогабаритной аппаратуры, например, часов, фотоаппаратов, калькуляторов. Будучи внедренными в промышленное производство, литий-ионные аккумуляторы до сих пор остаются предметом интенсивного изучения, направленного на улучшение их электрохимических характеристик.

Целью настоящей работы было исследование возможности изготовления катода, проводящего по ионам щелочного металла, на основе оксида меди путем катодной обработки в водных растворах молибдатов и вольфраматов щелочных металлов.

Известно, что при катодной обработке этих растворов в ячейках с металлическими электродами анионы MoO_4^{2-}, WO_4^{2-} адсорбируются на поверхности и восстанавливаются с образованием оксидов переменной валентности [1], которые, встраиваясь в решетку металла электрода, образуют соединения, проводящие по ионам щелочного металла, что позволяет использовать такие электроды в металл-ионных аккумуляторах, циклируемых по иону щелочного металла, в частности по иону лития [2].

Протекание гетерогенной электрохимической реакции и образование на электроде соединений типа Me6+xCuyMo7O24 (Me: Li, Na) должно сопровождаться значительными изменениями не только на поверхности электрода, но и в растворе.

Для решения поставленной цели в данной работе было проведено исследование состояния раствора электролита, его физико-химических свойств (плотности, вязкости, электропроводности, оптической плотности) до и после катодной обработки с электродами из меди. Объектами исследования были водные растворы, молибдата натрия и вольфраматы натрия и лития. Концентрация солей составляла 0,02 моль/л. Для всех растворов выбранной для исследования концентрации 0,02 моль/л характерно наличие на кривых оптической плотности двух размытых максимумов в области длин волн ~360 ± 20 нм и ~460 ± 40 нм. Это может указывать на присутствие в растворе двух форм анионов, находящихся в равновесии друг с другом, например [3]:

$$NaMeO_4^- \leftrightarrow Na^+ + MeO_4^{2-} \text{ (Me: W, Mo)} \quad (1)$$

Таблица 1

Электропроводность χ и плотность ρ исследуемых растворов (С = 0,02 М) до и после катодной обработки на медном электроде в гальваностатическом режиме (i = 25 мА/см^2, t = 30 мин)

Электролит	До обработки		После обработки	
	χ, См/м ·10^3	ρ , г/см^3	χ, См/м ·10^3	ρ , г/см^3
Na_2MoO_4	3,60	1,015	4,40	1,015
Na_2WO_4	3,56	1,012	3,60	1,025
Li_2WO_4	2,65	1,015	2,55	1,026

Измерение удельной электропроводности χ и плотности ρ (таблица 1) показало, что при близкой плотности (ρ) раствора его удельная электропроводность (χ) для растворов молибдатов и вольфраматов различаются. При этом преобладающее влияние оказывает

природа катиона. Это согласуется с литературными данными об образовании в этих растворах полианионных структур[3]:

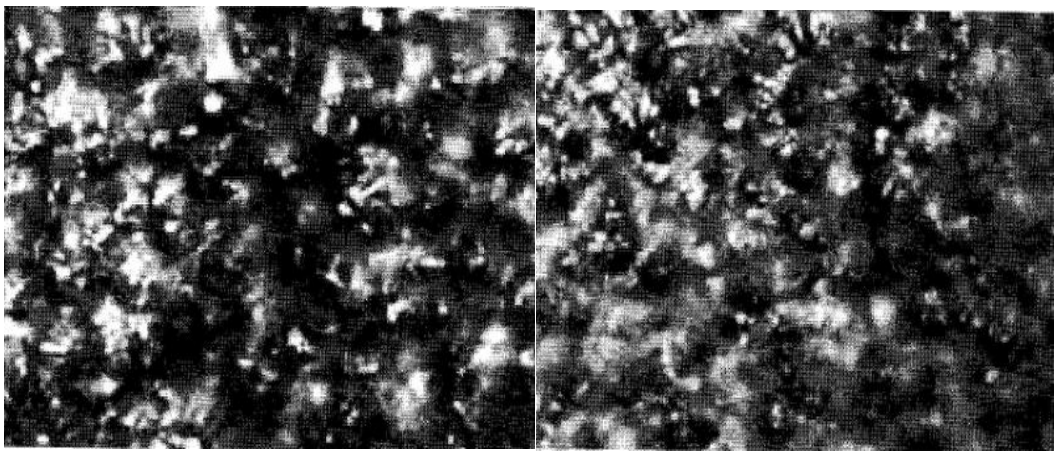
$$7MeO_4^{2-} + 9H^+ \leftrightarrow HMe_7O_{24}^{5-} + 4\ H_2O \quad (2)$$

$$\text{или } 7MeO_4^{2-} + 9Na^+ + 4\ H_2O \leftrightarrow NaMe_7O_{24}^{5-} + 8NaOH \quad (3)$$

В зависимости от соотношения концентраций ионов H^+ и молибдат (вольфрамат)-ионов содержание фрагмента MeO_3 в полианионе может сильно различаться [3]:

$$MeO_4^{2-} \leftrightarrow Me_7O_{24}^{6-} \leftrightarrow Me_8O_{26}^{4-} \leftrightarrow Me_{36}O_{112}^{8-} \leftrightarrow MeO_3 \cdot 2H_2O \quad (4)$$

После катодной обработки исследуемых растворов последовательно в гальваностатическом (i = 25 мА/см^2, t = 30 мин) и затем в циклическом потенциодинамическом режиме в условиях меняющейся скорости развертки потенциала 8 → 20 → 40 → 80 мВ/с в выбранном диапазоне потенциалов от $E_{б/т}$ до – 3,0 В оптическая плотность растворов в области второго максимума (460 ± 40 нм) изменяется незначительно. В области 360 ± 20 нм, напротив, максимум оптической плотности снижается примерно в 5 раз и появляется дополнительный максимум в области 320 нм.



а б

Рис.1. Морфология поверхности Си электрода после обработки в 0,02 М растворах Na_2MoO_4 (а) и Na_2WO_4 (б), в гальваностатическом режиме при i_k = 25 мА/см^2 в течение 30 минут с последующей поляризацией в потенциодинамическом режиме с возрастающей скоростью развертки мВ/с: 4→ 8 → 20 → 40 →80 (увеличение 1200)

При этом возрастает плотность раствора и практически не меняется удельная электропроводность. Это может быть вызвано накоплением в растворе анионов с более высоким молекулярным весом и такой структуры, которая не затрудняет, а облегчает перемещение ионов щелочных металлов (Na^+, Li^+) к электроду и участие их в катодном процессе. Обнаруженное при этом изменение окраски растворов (таблица 2) указывает, что одним из возможных продуктов реакции являются соли меди ($CuMoO_4$, $CuWO_4$), которые переходят в раствор[4] . Это согласуется с результатами морфологии поверхности модифицированного электрода (рисунок 1).

Исходный бестоковый потенциал $E_{б/т}$ практически не меняется во времени только в разбавленных растворах ($C \leq 0,025$ моль/л). В более концентрированных растворах как до, так и после катодной поляризации $E_{б/т}$ смещается из области положительных значений в область отрицательных и тем значительнее, чем выше была концентрация полианионов (молибдат-ионов) в растворе (таблица 3).

Таблица 2

Значения pH растворов солей полианионных кислот до и после поляризации

Электролит	До поляризации	После поляризации в течение		Цвет покрытия	Среда
		t = 30 мин	t – 60 мин		
Na_2MoO_4	6	6	6	желтый	слабо-кислая
Na_2WO_4	8	8	8	зеленый	слабо-щелочная

Таблица 3

Значения бестокового потенциала Cu-электрода в растворах Na_2MoO_4 различной концентрации*)

Концентрация Na_2MoO_4, моль/л	0,010	0,025	0,050*)	0,100*)
$E_{б/т}$, мВ исходный (до катодной поляризации)	+(22,3±1,2)	+(29,4±14,7)	-(148,2±6,4) … -(236,2±5,8)	-(160,2±6,2) … -(235,2±6,0)
$E_{б/т}$*), мВ после катодной обработки в гальваностатическом режиме (i = 25 мА/см^2, t = 30 мин)	-1036 … -595,9	-1060 … -515,0	-1060 … -533,4	-1104 … -634,9

*) Потенциал погружения $E_{б/т}$ составлял + 12 мВ, $E_{б/т}$ фиксировался в течение 10 минут (достаточных для установления стационарного значения).

Это однозначно указывает на их специфическую адсорбцию и участие в твердофазных превращениях. Такая сильная поляризация Cu-электрода уже в отсутствие внешнего тока возможна вследствие протекания двух процессов: электрохимической адсорбции полианионов и молекул H_2O:

$$nMoO_3 \cdot MoO_4^{2-} + 2\,H_2O + 2e \rightarrow nMoO_3 \cdot MoO_2^{2-} + 4OH^-, \quad (5)$$

$$xCu + yH_2O \rightarrow Cu_xO_y + 2yH \quad (6)$$

Сильное подщелачивание электролита у поверхности электрода сопровождается внедрением OH^- ионов в решетку металла элкктрода и образованием твердого раствора кислорода в меди: Cu_xO_y

$$xCu + 2yOH^- \rightarrow Cu_xO_y + y\,H_2O\ 2ye. \quad (7)$$

Высвобождающиеся электроны участвуют в реакции (5) электровосстановления молибдат-ионов в адсорбционном слое.

Увеличение отрицательного заряда поверхности при катодной поляризации приводит к тому, что становится возможным процесс катодного внедрения катионов щелочного металла (натрия, лития) и образование гетерометаллических оксидов типа:

$$(5+x)\ Na^{+} + yCu + NaMe_7O_{24}^{5-} + xe \rightarrow Na_{6+x}Cu_yMe_7O_{24}. \qquad (8)$$

В области плотностей катодного тока ниже 0,5 мА/см^2 потенциал задержки на гальваностатических E,t – кривых в области -0,4 … -0,6 В зависит от концентрации полианионов в растворе. При увеличении плотности катодного тока до 1 мА/см^2 и выше катодные хронопотенциограммы резко смещаются в область потенциалов от -1,2 до -1,9 В. При этом стационарное значение потенциала устанавливается практически мгновенно. Зависимости E = f(i) и E = f(C) в этой области потенциалов имеют линейный характер. Высокие значения угловых коэффициентов наклона ($\Delta E / \Delta i$) = 0,2 В/(мА/см^2) и ($\Delta E / \Delta C$) ≈ 0,6 В/моль/л подтверждают определяющую роль твердофазных превращений на медном электроде в водных растворах полианионого электролита.

Катодное восстановление полимолибдат-ионов через стадию адсорбции и последующее образование в адсорбированном слое оксидных соединений молибдена промежуточной валентности: Me(VI) → Me(IV) →Me(II) и гетерометаллических оксидов типа:$Na_{6+x}Cu_nMo_7O_{24}$, имеющих каркасную структуру, по каналам которой свободно движутся катионы натрия и водорода, в заданных условиях сопровождается накоплением у поверхности большого количества катионов, которые под действием градиента концентрации перемещаются в глубь электрода к границе с металлической медью, где разряжаются по механизму катодного внедрения с образованием сплава Na_xCu (твердого раствора или интерметаллида). Существование двух областей потенциалов: в области низких (≤ 0,5 мА/см^2) и в области высоких плотностей катодного тока (1 … 2,5 мА/см^2) и соответственно протекание двух различных процессов, которым предшествует адсорбция полиядерных комплексов полимолибдат-ионов $NaMo_7O_{24}^{5-}$, согласуется с результатами измерения бестокового потенциала и оптической микроскопии поверхности.

Обработка растворов в потенциостатическом режиме при потенциале -2,7 В в течение 1, 2 и 3 часов приводит к заметному снижению оптической плотности в области первого максимума (320 – 340 нм) в ряду солей

Na_2WO_4 Li_2WO_4 Na_2MoO_4

и исчезновению второго максимума. Это согласуется с представлением о сильной адсорбционной активности полианионов Mo и W и их принципиально иной структуре как в растворе, так и в адсорбированном состоянии.

Таблица 4

Электропроводность и плотность растворов после катодной обработки с Cu(Ti)-электродом при E = -2,7 В

Электролит	$E_{бес.}$, В после катодной обработки в течение, час			χ, См/м $\cdot 10^3$ после катодной обработки в течение, час			ρ, г/см^3 после катодной обработки в течение, час		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Na_2MoO_4	-0,12	-0,12	-0,20	3,94	3,64	3,49	1,013	1,027	1,036
Na_2WO_4	-0,14	-0,15	-0,25	3,63	3,66	3,43	1,011	1,021	1,030
Li_2WO_4	-0,14	-0,20	-0,20	2,83	2,74	2,66	1,007	1,010	1,010

Обработка растворов в потенциостатическом режиме показала, что и в этом случае величины χ и ρ лежат в тех же пределах, что и при обработке в гальваностатическом режиме. Определяющим фактором изменений в растворах остается природа соли и размеры катиона.

Обобщение полученных данных позволяет отдать предпочтение потенциостатическому методу в сочетании с циклическим потенциодинамическим методом формирования оксидных слоев на Cu – электродах с возрастающей скоростью развертки потенциала и предложить использовать его при разработке технологии новых катодных материалов для металл-ионных аккумуляторов, в частности ЛИА.

Внедрение ионов Li^+ в электрод происходит с большей скоростью, в результате $E_{б/т}$ сильнее смещается в отрицательную сторону, а концентрация ионов Li^+ в растворе у поверхности уменьшается.

Литература:

1. Кузнецов В.В., Кладити С.Ю. Особенности электрохимического поведения диоксидно-марганцевых анодов, модифицированных оксидами молибдена // Известия ВУЗОв. Химия и химическая технология. 2012. Т.55, №2. С. 55-58.

2. Попова С.С., Гусева Е.С., Жускеев А.Р. Электрохимическое поведение MnO_2-электрода в растворах молибдатов и вольфраматов щелочных металлов //Вестник СГТУ, 2014. №2 (75). С76-83;

3. Текуцкая Е.Е., Турьян И.Я., Кравцов В.И., Кондратьев В.В. Потенциометрическое исследование равновесной реакции образования полиядерных комплексов молибдена (VI) // Электрохимия, 1991. Т. 28, №4. С. 407 – 409;

4. Реми Г. Курс неорганической химии / Г. Реми. - М.: Мир. - 1974. -775 с.

УДК 685.314.3

Технология производства уплотнительных манжет на основе политетрафторэтилена

[1]Таганова В.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»;
[2]Пичхидзе С.Я, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры
«Физическое материаловедение и биомедицинская инженерия»,
[1]Базина Д.А., студент направления «Химическая технология»
[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково
[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Развитие моторостроения предъявляет к уплотнительным манжетам всё более высокие требования.

Основным недостатком традиционных сальников возникновение течей через уплотняющую «губу». Одно из решений было найдено в переменной величине радиального усилия на уплотнении с конической формой «губы» [1-2].

Каждый виток винта «натянут» на вал с разным радиальным усилием и теперь резонанс на витках наступает в разные периоды частоты вращения вала и никогда вместе на всех витках.

Опыт показал, что достаточно 3-х витков, прилегающих к валу и сальник герметичен на любых оборотах с любым биением и эксцентриситетом.

Винтовая насечка практически прогоняет через уплотнение до 120 мл масла в минуту, смазывая и охлаждая место контакта и это при диаметре вала 80 мм погруженного в масло.

За счет винтовой насечки снизилось трение и износ сальника и практически исключило износ вала, рис.1.

Растущие числа оборотов и температуры масла, более продолжительные интервалы смены масла, для масел, имеющих большее количество присадок, действующих агрессивнее на применяемые материалы – всё это требует нового, более стойкого решения. Материал уплотнений будущего радиальных уплотняющих колец для валов называется политетрафторэтилен.

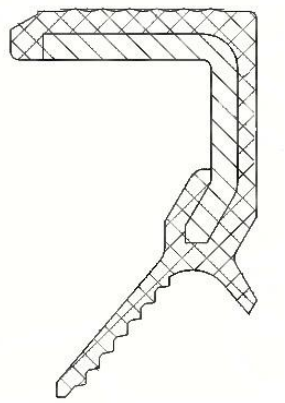


Рис. 1. Схема манжеты с конической «губой» и винтовой насечкой

Малое трение и малый отбор мощности являются решающими преимуществами ПТФЭ - радиальных уплотняющих колец для валов. Также при работе без или с недостатком смазки можно без проблем применять данное уплотнение. Очень хорошие термические характеристики материала с возможностью применения в диапазоне от -130 °С до +200 °С не имеют себе равных. Кроме того, ПТФЭ имеет высокую химическую стойкость и малую силу трения покоя после неподвижного состояния.

При нагревании ПТФЭ стремится принять свою первоначальную форму. Иными словами, материал «помнит» своё первоначальное состояние. Данный процесс обозначается как «эффект пластической памяти» и даёт возможность обойтись без пружины предварительного натяжения.

ПТФЭ, наполненный стекловолокном имеет повышенную износостойкость, более чем в 250 раз по сравнению с не наполненным ПТФЭ и повышенное сопротивление ползучести, более чем в 1,5 раза по сравнению с не наполненным ПТФЭ. Повышенная эластичность материала, высокая химическая стойкость и хорошие диэлектрические показатели делают данный материал предпочтительным для изготовления уплотнений и прокладок, там, где требуется высокая надежность и долговечность. ПТФЭ, наполненный стекловолокном стоек к большинству агрессивных сред, хорошо работает в среде сухих агрессивных газов.

Ведется разработка перспективных способов изменения свойств композитов на основе ПТФЭ, которые позволяют управлять процессами структурообразования и создавать композитные материалы с высокими физико-механическими свойствами.

Одним из наиболее перспективных способов является термическая обработка стекловолокнонаполненного ПТФЭ и закалка в воде.

Образцы стекловолокнонаполненного ПТФЭ выдерживали при температуре 300±20 ºС в течение 5 мин. и проводили закалку в воде при температуре 14-20 ºС. Далее образцы

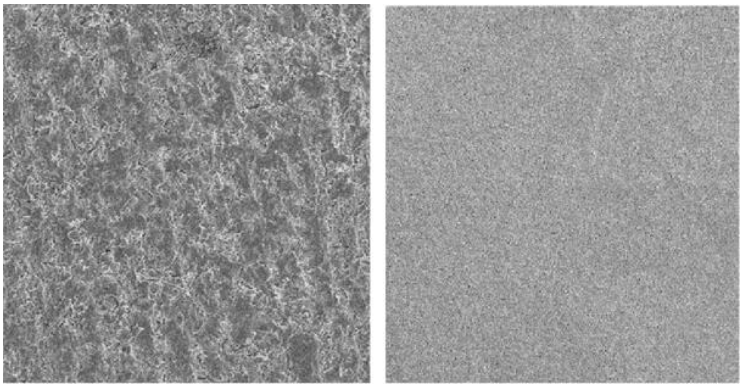
термостатировали в режиме 135ºС х 24 час. Радиальные усилия фторопластовых колец Ø28 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Радиальное усилие фторопластовых колец

№ обр	без термозакалки		после термозакалки	
	До термостатирования, Н	После термостатирования, Н	До термостатирования, Н	После термостатирования, Н
1	15,38	16,41	18,20	19,05
2	13,88	15,91	16,15	16,80
3	15,88	15,79	17,05	17,30

После термической обработки и закалки в воде происходят изменения морфологии надмолекулярной структуры и свойств стекловолокнонаполненного ПТФЭ.



2а 2б

Рис. 2. Микрофотографии поверхности образца политетрафторэтилена, содержащего 15 мас. % СВ 1000х100 μm а) до термозакалки, б) после термозакалки

До термозакалки надмолекулярная структура матрицы ПТФЭ, наполненного 15 мас. % СВ более рыхлая и дефектная, увеличивается количество микротрещин (рис. 2а), наблюдаются отдельные частицы СВ, которые отделены от матрицы микротрещинами вдоль всей поверхности частицы. Указанные изменения морфологии надмолекулярной структуры матрицы при термозакалке свидетельствуют о достаточном уровне структурной активности данного наполнителя (рис. 2б).

Анализ данных табл.1 свидетельствует о том, что после термозакалки значения радиальных усилий изменяются в меньшей степени и носят более стабильный характер в сторону увеличения.

Повышенная эластичность стекловолокнонаполненного ПТФЭ, высокая химическая стойкость и хорошие диэлектрические показатели делают данный материал предпочтительным для изготовления уплотнений и прокладок, там, где требуется высокая надежность и долговечность.

Литература:

1. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия / А.К. Пугачев, О.А. Росляков.- Л.: Химия. – 1987. - 168 с.

2. Логинов Б.А. Удивительный мир фторполимеров: 2-е изд., дополненное / Б.А. Логинов. -М.: 2009.-168 с.

УДК 685.314

Исследование методов вулканизации толстостенных резинотехнических изделий

[1]Таганова В.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»;
[2]Пичхидзе С.Я., доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры
«Физическое материаловедение и биомедицинская инженерия»,
[1]Хмелькова Е.С., студент направления «Химическая технология»;
[1]Николаенко А.С., студент направления «Управление в технических системах»
[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Балаково
[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Способ изготовления того или иного толстостенного изделия определяется комплексом теплофизических и вулканизационнцых характеристик выбранной резиновой смеси [1].

Низкий коэффициент теплопроводности и низкая температуропроводность, свойственные резине, влияют на время передачи тепла от пресс-формы и наружных слоев изделия к центру, что особенно заметно при изготовлении толстостенных изделий [2].

Сокращение времени вулканизации путем повышения температуры может привести к перевулканизации наружных слоев изделия, а в процессе охлаждения свулканизованного изделия может происходить перевулканизация центральных (внутренних) слоев за счет

тепла, накопленного во время вулканизации. Поэтому при малой продолжительности процесса вулканизации в условиях высоких температур допустимая толщина изделия приобретает особое значение. При повышенных температурах вулканизации стандартных образцов толщиной 4—6 мм временем на прогрев можно пренебречь.

Для изделий большей толщины к времени вулканизации необходимо прибавлять время на прогрев образна.

Для добычи нефти и газа широкое применение находят неподвижные уплотнения, называемые пакерами, которые относятся к толстостенным резинотехническим изделиям. Пакеры служат для уплотнения межтрубного пространства. Особенность пакера состоит в том, что в не активированном состоянии изделие легко проходит в уплотняемое отверстие, поэтому его установка возможна в труднодоступных местах.

Основные требования к свойствам резиновых смесей для уплотнения пакера является: маслобензостойкость, морозостойкость, стойкость к сероводороду до 6 %, кессонная стойкость, стойкость к 10 % растворам кислот и щелочей, остаточная деформация.

Одним из основных показателей, характеризующих работоспособность уплотнителей пакера, является остаточная деформация. Появление остаточной деформации свидетельствует о снижении высокоэластической восстанавливаемости, определяющей уплотнительную способность резины.

В связи с этим возникает необходимость снижения накопления остаточных деформаций при сжатии, что может быть достигнуто выбором оптимальных режимов вулканизации резиновых смесей для уплотнительных изделий.

Для решения поставленной задачи использовали двухстадийную вулканизацию высоконаполненных резин на основе фторкаучука СКФ-26ВС, бутадиен-нитрильных, каучуков. Первая стадия вулканизации изделий осуществлялась в прессе при температуре 175 ^{0}С, до достижения 75% степени вулканизации. Вторая стадия осуществлялась в жидкой среде полиметилсилоксана (ПМС) при температуре 200 ^{0}С.

Для второй стадии процесса довулканизации использовали смесь ПМС-5 и ПМС-100 при массовом соотношении компонентов 60:40.

Физико-механические показатели представлены в табл.1

Таблица 1

Физико-механические показатели

№п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Величина показателя р/с			
			Норма по ТУ	БНКС-18	БНКС-28	СКФ-26ВС
1	Твердость, Шор А, в пределах	ед.	75 ± 5	76	75	80
2	Условная прочность при растяжении, не менее	кгс/см^2	100	122	133	150
3	Относительное удлинение при разрыве, не менее	%	170	210	210	200
4	Относительная остаточная деформация при сжатии на 25%, 150°С х 72 час, не более	%	35	18,4	13	10,3

Как видно из табл.1, резиновая смесь на основе фторкаучука, изготовленная по предлагаемому способу имеет более низкую остаточную деформацию при сжатии, что позволяет повысить работоспособность пакерых уплотнителей.

Литература:

1. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 445 с.

2. Соколовский, А.А. Резина как конструкционный материал для нефте-газодобывающего оборудования /А.А. Соколовский // Химическая техника. - 2003. - №3. - С. 20-22.

УДК 66.0

Получение гипсового камня из нейтрализованного фосфополугидрата сульфата кальция

Цыбина Ф.Б., преподаватель специальных дисциплин, Малютина К.Ю., студент 5 курса отделения «Химическая технология неорганических веществ»
ГАПОУ СО «Поволжский колледж технологий и менеджмента», г. Балаково

При сернокислотном разложении апатитового концентрата кроме экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) образуется твердый отход производства фосфогипс, состоящий из фосфополугидрата сульфата кальция (ПСК) и фосфодигидрата сульфата кальция (ДСК). Практический весь его объем складируется и хранится в виде отвалов на территории предприятия. Например, только в отвалах АО «ФосАгро-Череповец» в г. Балаково, по оценкам экспертов приблизительный объем фосфогипса составляет более 53 млн. тонн, что

приводит к загрязнению окружающей среды и увеличению себестоимости удобрений за счет дополнительных финансовых и эксплуатационных затрат.

АО «ФосАгро-Череповец» в г. Балаково является одним из крупнейших предприятий по производству минеральных удобрений. И мне не безразлична конкурентоспособность этого производства и экологическая обстановка нашего города, поэтому актуальность проблемы исследования затронула меня не только как будущего специалиста, но и как жителя г. Балаково.

Актуальность и экологическая целесообразность переработки фосфогипса неоспорима, но решение проблемы осложняется наличием в нем кислых примесей, которые требуют нейтрализации. Применение нейтрализованного фосфополугидрата (за счет способности схватываться с переходом в ДСК), на наш взгляд, является наиболее перспективной в строительной отрасли. Особенно можно выделить производство искусственного гипсового камня – заменителя природного гипса в производстве цемента.

Целью работы является получение искусственного гипсового камня на основе ПСК из фосфогипса.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

-Обоснование возможности использования фосфополугидрата сульфата кальция в качестве основного компонента строительных растворов различного назначения;

-Поиск и исследование способов нейтрализации фосфогипса, а также выбор нейтрализующего агента;

-Экспериментальное исследование до и после нейтрализации образцов полугидрата сульфата кальция на содержание водорастворимого P_2O_5, общей влаги, кристаллизационной воды, концентрацию водородного показателя, водорастворимых фтористых соединений;

- Экспериментальное определение сроков схватывания гипсового вяжущего и определение предела прочности при изгибе и сжатии полученного изделия.

Гипотеза. Использование нейтрализованного полугидратного сульфата кальция позволит получить гипсовый камень необходимой плотности и прочности.

При проведении исследований использованы пробы полугидрата сульфата кальция, отобранные с карусельного фильтра цеха ЭФК – 3,4. Исследования выполнены в лабораториях ЦАКК АО «ФосАгро-Череповец» в г. Балаково, ГАПОУ СО «Поволжского колледжа технологий и менеджмента» и «Балаковского инженерно-технологического института» на кафедре строительных материалов с применением современных физико – химических методов, в том числе, спектрофотомерии, потенциометрии, гравиметрии, ионометрии, а также физико-механических методов. Обработка результатов экспериментов проводилась при помощи аттестованных стандартных методик производства АО «ФосАгро-

Череповец» в г. Балаково, ГОСТ 8462-85 и методику «Определения сроков схватывания гипсового теста». Фосфополугидрат сульфата кальция является неустойчивым продуктом и постепенно переходит в форму дигидрата сульфата кальция, поэтому сначала подверглись исследованиям исходный материал ПСК, а потом нейтрализованный.

Учитывая, что на АО «ФосАгро-Череповец» в г. Балаково замкнутая система водоснабжения, в нашей работе используется сухой способ нейтрализации, так как для нейтрализации достаточно 25-30%, из-за содержания влаги в ПСК, при необходимой норме 15-20%.

В качестве нейтрализующих агентов использовались известь строительная негашеная кальциевая (молотая) (ГОСТ 9179-77) и мел из г.Вольска.

Результаты исследований показывают, что процесс нейтрализации идет неравномерно и выравнивается лишь на седьмые сутки. Среди всех нейтрализующих агентов с разной дозировкой наиболее оптимальным является известь с массой 10 г/кг, а дальнейшее увеличение извести дает щелочную реакцию. Процесс нейтрализации мелом идет не до конца, это означает, что для получения гипсового камня необходимо нейтрализовать известью, а для хранения – мелом. Снижение водородного показателя ниже pH=7 не целесообразно, т.к. существование в кислой среде фосфата кальция и фторида кальция не возможно.

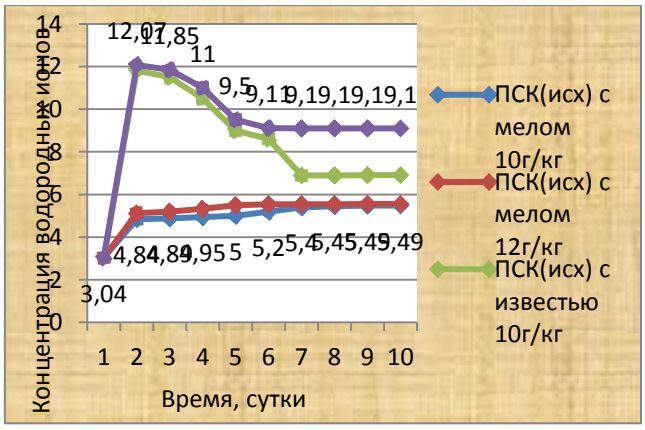


Рис.1. Зависимость pH водной вытяжки ПСК, нейтрализованного известью и мелом, от процента дозировки и времени (суток)

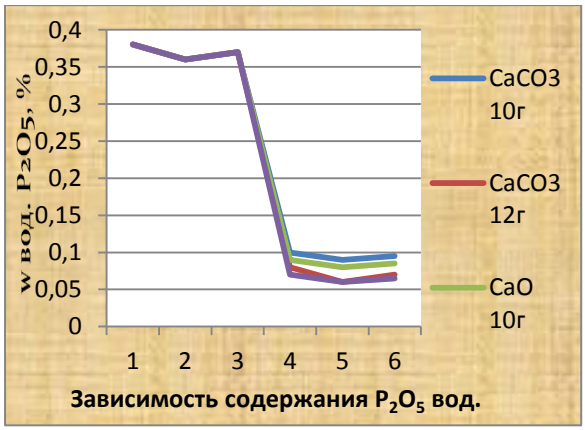


Рис.2. Зависимость содержания водорастворимых фосфатов от процесса нейтрализации

Основной целью процесса нейтрализации является получение нерастворимых в воде фосфор и фторсодержащих соединений в виде $Ca_3(PO_4)_2$ и CaF_2 при pH 7,5 – 8,5ед.

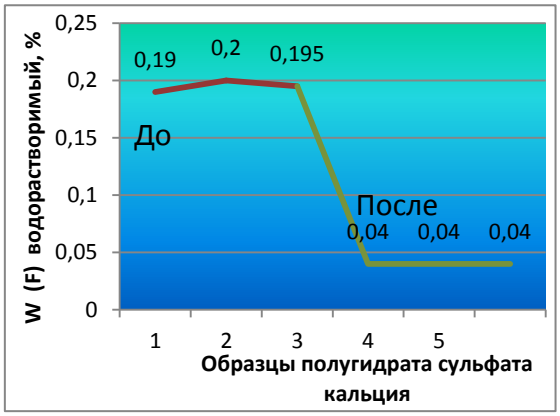


Рис.3. Зависимость содержания водорастворимого фтора от процесса нейтрализации

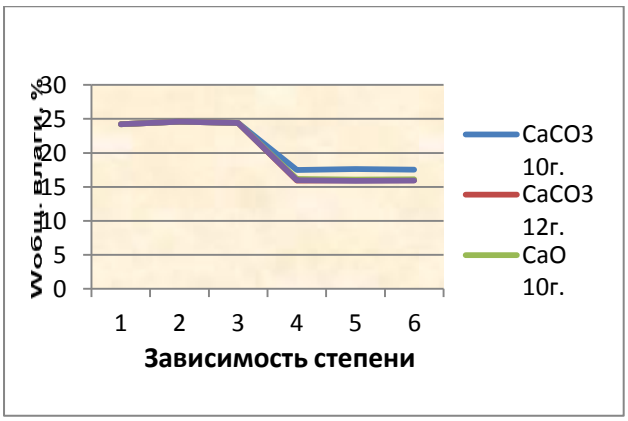


Рис.4. Зависимость степени снижения влаги в ПСК до и после нейтрализации с известью и мелом

Результаты исследований показывают, что в процесс нейтрализации приводит к снижению нерастворимых в воде фосфор и фторсодержащих соединений (рисунок 2,3), это позволяет нам судить об образовании в твердой фазе нерастворимого фторида CaF_2 и фосфата кальция $Ca_3(PO_4)_2$.

Также в данной работе рассматривается влияние процесса нейтрализации на снижение влаги.

Из рисунка 4 видно, что оба нейтрализующих агента эффективно снижают влагу. Снижение влаги на 34% объясняется тем, что вода, находящаяся в ПСК, используется для нейтрализации кислых примесей.

Были проведены измерения сроков схватывания и твердения полученных образцов. Из нейтрализованного ПСК готовые образцы гораздо лучше, чем из ПСК без предварительной нейтрализации, и практически приближается к строительному гипсу.

Прочность образцов измерялась в возрасте от 3 - 14 суток. Результаты измерений показали, что их прочность зависит от времени выдерживания: чем больше время выдержки, тем больше предел прочности при изгибе и сжатии. Прочность образцов-кубиков из кислого ПСК близка к нулю, что лишний раз подтверждает: такие примеси, как фосфорная кислота и фтор, отрицательно влияют на предел прочности.

Таблица 1

Результат измерения предела прочности при изгибе и сжатии гипсового камня

Состав образца и его содержание,%	Количество нейтрализующего агента	Возраст	Размеры образцов			Испытание на изгиб	Вес	Разруш. нагрузка	Временное сопротивл.	Среднее времен. сопротив. сжатию
			Попереч. измерения	Площадь сечения	Высота					
		сутки	см*см	$см^2$	см	МПа	кг	кгс	$кг/см^2$	$кг/см^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПСК-70	Известь	3	4*4	25	16	1,3	0,365	300	12	22,7
Стр.Гипс- 20	12 г/кг		4*4	25	16	1,18	0,365	900	36	
Песок - 10			4*4	25	16	1,2	0,370	500	20	
ПСК-60	Известь	7	4*4	25	16	3,5	0,360	1400	56	56
Стр.Гипс- 30	10 г/кг		4*4	25	16	3,4	0,360	1400	56	
Песок - 10			4*4	25	16	3,1	0,385	1400	56	
ПСК-60	Мел	14	4*4	25	16	2,68	0,290	1200	48	48
Стр.Гипс- 30	10 г/кг									
Песок - 10										
ПСК-60	Мел	14	4*4	25	16	2,4	0,285	1000	40	40
Стр.Гипс- 30	12 г/кг									
Песок - 10										
Строительный гипс 400		14	4*4	25	16	3,78	0,440	1500	60	60

Таким образом, лабораторные исследования показывают, что применение нейтрализованного ПСК возможно для получения гипсового камня.

Литература:

1. Постоянный технологический регламент полигона вторичных материалов и отходов.-15 5 045-ТР-024-2006.

2. Трошин М.А. Получение гипсового камня из полугидрата сульфата кальция – отхода производства ЭФК // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Работа выполнена в ОАО «Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова» (ОАО «НИУИФ»). – Москва – 2011.

УДК 678

Влияние времени диспергирования УНТ на физико-механические показатели полиэфирной смолы

[1]Шуклин Д.С., доктор технических наук, зам. начальника по науке, [2,3]Шуклин С. Г., доктор химических наук, профессор, директор центра МиТТ, [4]Бычкова Е.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии»

[1]ООО «Новый дом», г. Ижевск

[2]Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск

[3]Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

[4] Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университет имени Гагарина Ю.А., г. Энгельс

Полимерные композиты на основе углеродных нанотрубок (УНТ) все чаще рассматриваются в качестве реальной альтернативы традиционным пластикам, в основном благодаря повышенной жесткости и прочности, а также электропроводности при малом объемном содержании [1].

Свойства полимерного композита модифицированного УНТ могут иметь стабильные свойства, если УНТ в нем хорошо диспергирован и отсутствуют агломераты [1]. Анализ литературных данных по физико-механическим свойствам композитов с УНТ показал, что к качеству диспергирования относятся невнимательно. Важнейшими факторами в этом процессе являются напряжения сдвига и время их действия. Однако далеко не всегда можно определить амплитудно-временные характеристики сдвига: в промышленности и лабораторной практике диспергирование порошков в вязких средах осуществляют с помощью мельниц различных типов: шаровых, вибрационных, планетарных, дезинтеграторных, струйных и др.; для диспергирования жидкостей применяют гомогенизаторы, коллоидные мельницы, смесители инжекционного типа и форсунки, работающие по принципу действия струйного насоса, высокоскоростные мешалки турбинного, пропеллерного и других типов; диспергирование также осуществляют с помощью акустических и электрических устройств: ультразвуковые, магнитострикционные преобразователи для получения суспензий, ротор-статорные системы, волновые концентраторы (в виде распылительной насадки) для генерирования аэрозолей [2, 3]. Отсюда делаем вывод, что в тех конструкциях, где невозможно определить с достаточной точностью амплитудно-временные характеристики сдвига, невозможно определить технологические параметры и доказать качество диспергирования. Качество диспергирования в таком случае

необходимо доказывать другими способами, например, с помощью микроскопа, изменение физико-механических свойств, электропроводности в зависимости от интенсивности или времени диспергирования.

Для равномерного распределения углеродных нанотрубок (УНТ) в ненасыщенной полиэфирной смоле количество способов применимых для диспергирования ограниченно из-за наличия стирола. Стирол является основным мономером для полиэфирных смол. Он представляет собой хороший растворитель и реагирует с полиэфиром путем полимеризации, используя ненасыщенные химические связи и образуя полимеросетчатые, неплавящиеся и нерастворимые продукты, что, в основном, определяет хорошие механические и термические свойства готовых изделий. Только комбинация сложного полиэфира и стирола дает типичные для этих смол свойства. Стандартные ненасыщенные полиэфирные смолы обычно содержат от 30 до 50% стирола. В связи с этим основным способом, который наиболее исследован является ультразвуковая обработка УНТ в полимерной матрице.

Данный способ достаточно известен, но на сегодняшний день имеется незначительное количество работ по исследованию времени обработки ультразвуком и результатов модификации полимера. Так же обработка ультразвуком не может полностью разбить скопления УНТ на отдельные нити. Это связанно с тем, что УНТ имеют переплетенную структуру (рис.1).

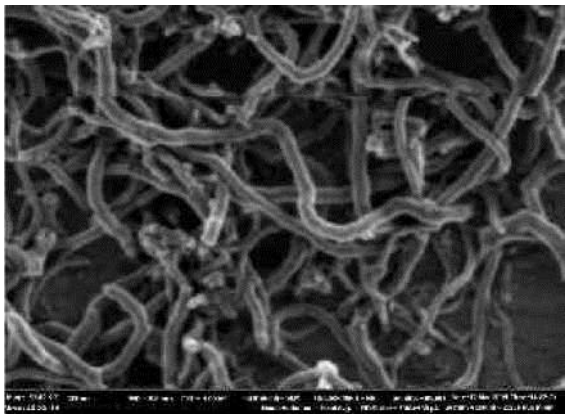


Рис.1. Углеродные нанотрубки при рассмотрении в СЭМ «NEON 40-35-18»

В связи с тем, что УНТ в качестве модификатора работают, как структурообразователи и армирующие компоненты, то необходимо иметь равномерное распределение УНТ в объеме полимера и максимальную длину нанокомпонентов в системе.

Объекты исследования

Для проведения исследования использовались многослойные углеродные нанотрубки Dealtom (г. Москва), интеркалированные наночастицами Ni размером ~ 10 нм (табл.1), за счет этого УНТ являются магнитно-мягким ферромагнетиком с низкой остаточной намагниченностью.

Таблица 1

Основные параметры УНТ Dealtom

Параметры	УНТ Dealtom
Диаметр, нм	49,3 ±0,45 и 72,0±0,45
Внутренний диаметр, нм	13,3±0,45
Длина, мкм	5
Температура сгорания, ^{o}C	517±2
Удельная площадь поверхности, определенная методом BET, м^2/г	97,55±0,02

В качестве полимерной матрицы использовали полиэфирную смолу ТС-2.

Методы диспергирования

Гомогенизация частиц производилась на диспергирующем оборудовании в течение 0, 5 ч., 1 ч., 3 ч. с помощью бисера с размером частиц 2,2 мм. Размер бисера и его состав выбраны как самые распространённые для процесса диспергирования.

На качество диспергирования влияет скорость. Диспергирование производилось в стакане объемом 200 мл, диаметром 63 мм, диаметр шнека составлял 40 мм, загрузка бисера составляла 100% от массы загрузки, скорость вращения шнека составляла 3000 об/мин. Таким образом, линейная скорость составляет 6,23 м/с. Для оптимальных режимов работы данного оборудования рекомендуются скорости от 6 до 12 м/с. Объем, занимаемый шнеком, должен составлять от 33-80% от объема емкости. На текущем оборудовании он составляет 63%. Схема работы бисерной мельницы представлена на рис. 2.

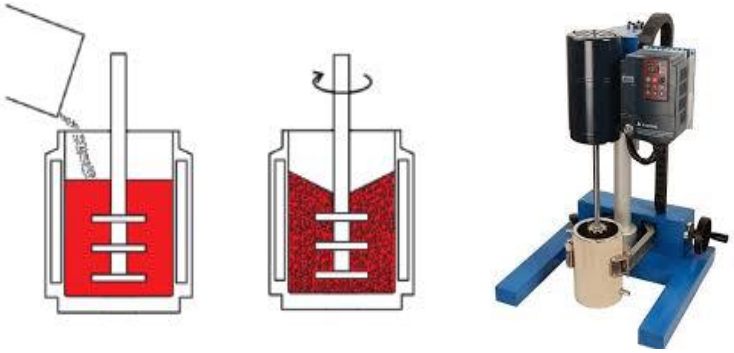


Рис.2. Принцип работы лабораторной бисерной мельницы и внешний вид установки

Результаты и их обсуждение

После диспергирования были изготовлены образцы модифицированной УНТ смолы ТС-2, с концентрацией УНТ, равной 0,01 %. Полученные образцы испытывали по ГОСТ 11262-80. «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» на испытательной машине модели Н5К-5. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства модифицированной УНТ и не модифицированной смолы ТС-2 в зависимости от времени диспергирования

Образец	Время диспергирования, ч.	Прочность при разрыве, $\sigma_р$, МПа (кгс/см^2)	Относительное удлинение при разрыве, $\varepsilon_р$, %
Смола ТС-2 модифицированная	0,5	18,1 (184,6)	0
	1	22,9 (233,8)	5
	3	16,5 (168,1)	4
Смола ТС-2 не модифицированная	-	18,8 (191,1)	2

Как можно видеть из табл. 2, диспергирование в течение 0,5 часа не привело к изменению прочности на разрыв, но при этом снизилось относительное удлинение образцов модифицированной смолы ТС-2 до нуля. Это можно объяснить равномерным распределением сплетений УНТ и их максимальной длиной (по паспорту длина УНТ составляет 5 мкм). Отсутствие увеличения прочности можно объяснить наличием клубков УНТ, а не нитей, так как времени на разбиение их недостаточно.

При диспергировании в течение часа увеличиваются и прочность при разрыве (на 22%) и относительное удлинение (с 2 до 5%), что, видимо, связано с полным разбиением клубков УНТ на исходные составляющие и равномерное распределение их в объеме.

При трехчасовом диспергировании наблюдается снижение показателя прочности при разрыве, что можно объяснить перемолом большего числа нитей УНТ.

Литература:

1. Investigation on sensitivity of a polymer/carbon nanotube composite strain sensor/ N. Hu, Y.Karube, M. Arai, T. Watanabe и др. // Carbon. – 2010. – № 48. – P. 680–687

2. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избр. труды / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 368 с.

3. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, 1989. – 306 с.

УДК 678.7

Использование бытовых и промышленных отходов минерального стекла в качестве эффективного наполнителя полимерматричных композитов

[1]Щербаков А.С., магистрант кафедры «Химические технологии», [1]Кучеренко Е.В., аспирант, кафедры «Химические технологии», [2]Арзамасцев С.В., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»,
[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс
[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Производство ненасыщенных полиэфирных смол является одной из наиболее динамично развивающихся направлений полимерной индустрии, что объективно связано с широкой областью их применения, экономической доступностью и достаточно высоким комплексом свойств. Полиэфирные смолы используют в качестве связующих для стеклопластиков, приготовления лакокрасочных материалов, в качестве полимерных компаундов для заливки деталей радио- и электротехнического оборудования, пропитки пористых металлических отливок с целью их герметизации и др. Полиэфирные смолы применяют и как основу композиций для наливных полов, шпаклевок и клеев.

В последние годы наряду с уже известными и традиционными в определенном смысле отходами особый интерес вызывает утилизация несортированного боя различных стекол. Дело в том, что образующийся во время производства брак или бой стекла в большинстве случаев используется этими же заводами повторно. Такое стекло имеет стабильный (в рамках данной технологии) химический состав и находит применение в процессе плавки шихты. Несортированный же бой различных видов стекол (оконного, тарного, оптического и пр.) имеет довольно широкий диапазон химического состава. Плюс возможны посторонние примеси, попадание которых в сырьевую смесь не допустимо, если желательно получить стекло с определенным составом или качеством. Поэтому несортированный бой стекла, в огромных количествах имеющийся в отвалах и на свалках, до сих пор не находит должного применения.

Следует отметить, что с экологической точки зрения стекло считается наиболее трудно утилизируемым отходом. Оно не подвергается разрушениям под воздействием воды, атмосферы, солнечной радиации, мороза. Кроме того, стекло — это коррозионностойкий материал, который не разрушается под воздействием подавляющего количества сильных и

слабых органических, минеральных и биокислот, солей, а также грибков и бактерий. Поэтому если органические отходы (бумага, пищевые отходы и пр.) полностью разлагаются уже через 1—3 года, полимерные материалы — через 5—20 лет, то стекло, как и сталь, способно сохраняться без особых разрушений десятки и даже сотни лет.

Объемы неиспользованного боя стекла, по данным Института вторичных ресурсов, составляло на 2014 г. более 3млн т. Среди всего многообразия городских отходов бой стекла занимает одно из лидирующих мест - более 20% от общего количества.

Многие ведущие научно-исследовательские центры в России, странах СНГ и за рубежом в последние годы ведут активные работы в области утилизации боя стекла.

В исследованиях, проведенных на кафедре химических технологий ЭТИ СГТУ, установлено, что измельчённый бой стекла может использоваться в качестве наполнителя, например, ненасыщенных полиэфирных смол, обеспечивая повышение комплекса характеристик полимерных композиционных материалов на их основе.

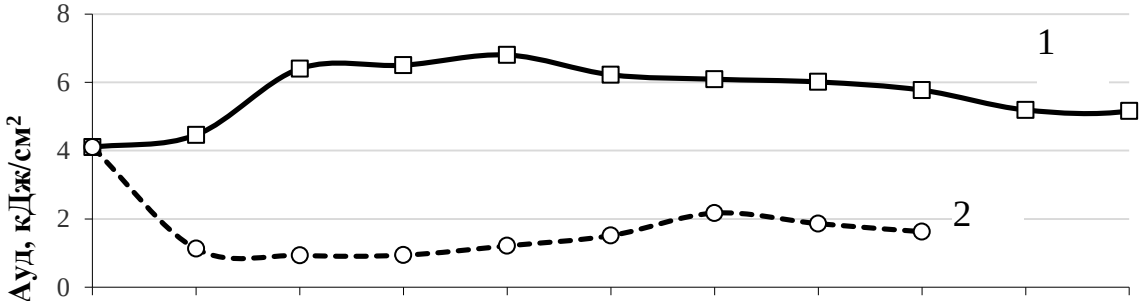


Рис.1 Зависимости ударной вязкости от количества наполнителя: 1 - стеклонаполнитель; 2 – микротальк

Так, введение стеклянного наполнителя в количестве до 100% от массы полимерного связующего, обеспечивает повышение разрушающего напряжения при растяжении и модуля упругости ~ в 2 раза, ударной вязкости на 75%, ударной вязкости – на 50-70%, снижая при этом ~ на 30% разрушающее напряжение при изгибе, что существенно превышает показатели по сравнению с широко используемым микротальком (рис. 1-4).

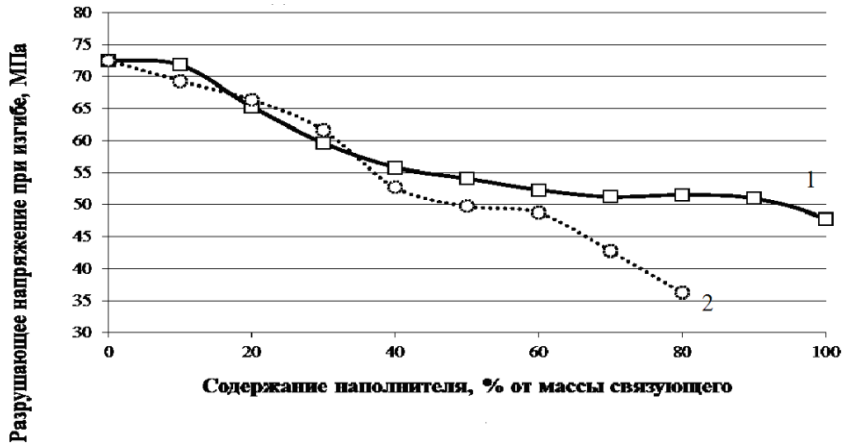


Рис.2. Зависимость разрушающего напряжения при изгибе от вида и количества наполнителя: 1 - стеклонаполнитель; 2 – микротальк

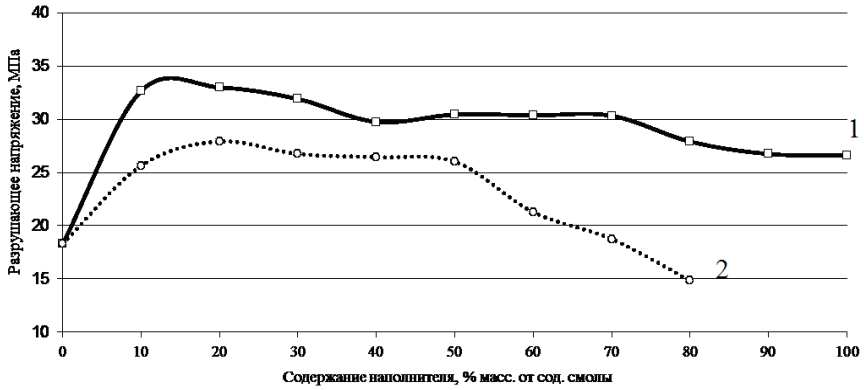


Рис.3. Зависимость разрушающего напряжения при растяжении от вида и содержания наполнителя: 1 - стеклонаполнитель; 2 – микротальк

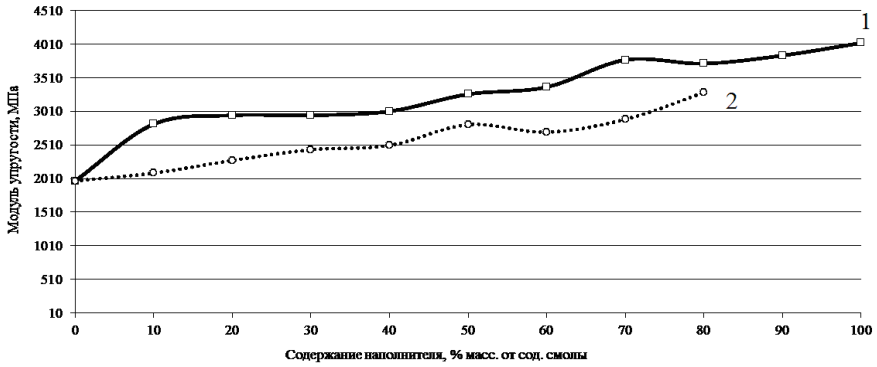


Рис.4. Зависимость модуля упругости от вида и содержания наполнителя: 1 - стеклонаполнитель; 2 – микротальк

Изучение взаимодействие в системе стеклянный наполнитель - ненасыщенная полиэфирная смола осуществлялось методом инфракрасной спектроскопии.

Установлено, что в спектре КМ появился широкий пик средней интенсивности 472 $см^{-1}$, характерный для деформационных колебаний связи Si-O. Дуплекс пиков 1034 и 1137 $см^{-1}$ имеет более широкое основание, обусловленное наложением широкой сильной полосы

валентных колебаний связи Si-O наполнителя. Смещение пика 1060 $см^{-1}$, обусловленного валентными колебания -C-O-C- в молекуле полимера в область 1043 $см^{-1}$ подтверждает сделанные ранее предположения [1] о наличии физико-химического взаимодействия в системе полиэфирная смола – силикатный наполнитель с образованием органосиликатных соединений, обеспечивающие формирование сшитой трехмерной структуры с химически встроенным в нее силикатным наполнителем (рис. 5).

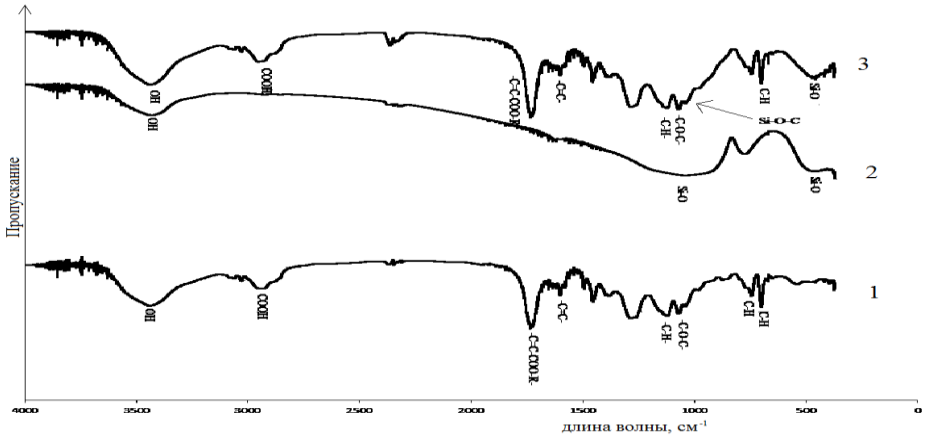


Рис.5. Результаты инфракрасной спектроскопии: 1- полиэфирная смола КАМФЭСТ 0102, 2 - стеклянный наполнитель; 3 – ПКМ на их основе

Исследование термогравиметрическим методом доказало некоторое повышение термостойкости ПКМ, однако не установлено существенных изменений температурного интервала деструкции; потери массы хорошо коррелируют с аддитивными значениями.

Таким образом, показана возможность использования боя стекла в качестве эффективного наполнителя при получении ПКМ на основе ненасыщенных полиэфирных смол.

Литература:

1. Научно-технологические принципы создания полимерматричных композитов на основе приоритетных наполнителей с заданным комплексом свойств: монография /Устинова Т.П., Панова Л.Г., Кардаш М.М., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л., Плакунова Е.В., Бурмистров И.Н. - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2014. - 111 с. (6,94 печ. л.). - ISBN 978-5-9905521-4-2

2. Артеменко, С.Е. Физико-химические основы интеркаляционной технологии базальто-,стекло-,и углепластиков / Артеменко С.Е., Кадыкова Ю.А., Васильева О.Г. : учебное пособие для студентов специальности 25.06.00 "Технология переработки пластмасс и эластомеров". - Саратов : СГТУ, 2004. - 50 с. (другие)- ISBN 5-7433-0652-4 Тираж 300 экз

УДК 691.585

Новые эффективные минеральные наполнители полиэфирной матрицы

[1]Щербаков А.С., магистрант кафедры «Химические технологии» [1]Кучеренко Е.В., аспирант, кафедры «Химические технологии» [2]Арзамасцев С.В., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»

[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Современные экономические кризисные условия требуют создания новых материалов не только с высокими характеристиками, но и низкой стоимостью. Большие возможности повышения характеристик и снижения стоимости КМ имеются в применении недорогих и эффективных наполнителей, в том числе минеральных, являющихся различного рода отходами производств [1-2].

Объектами исследования служили отечественная полиэфирная смола марки КАМФЭСТ 0102 (производитель ООО «Пермские полиэфиры»), часто использующийся в качестве наполнителя промышленный микротальк, отход производства красного керамического кирпича - кирпичная пыль, отход производства фосфорных удобрений - фосфогипс-дигидрат, бытовой отход - измельченный в шаровой мельнице бой стекла, образующиеся при сгорании мелких частиц каменного угля на ГРЭС зольные микросферы.

Установлено, что выбранные наполнители оказывают различное влияние на скорость отверждения композиции (рис. 1). Например, фосфогипс-дигидрат и кирпичная пыль уменьшают время отверждения, а остальные наполнители в меньшей (измельченное стекло) или большей степени (зольные микросферы) увеличивают его.

В полученных КМ отмечается изменение начала температуры деструкции и смещение температуры максимума пика тепловыделения (табл. 1).

Все это в совокупности показывает, что между компонентами системы «наполнитель – полимерная матрица» возможно взаимодействие. Изучение природы этого взаимодействия проводили методом ИК-спектроскопии (рис. 2)

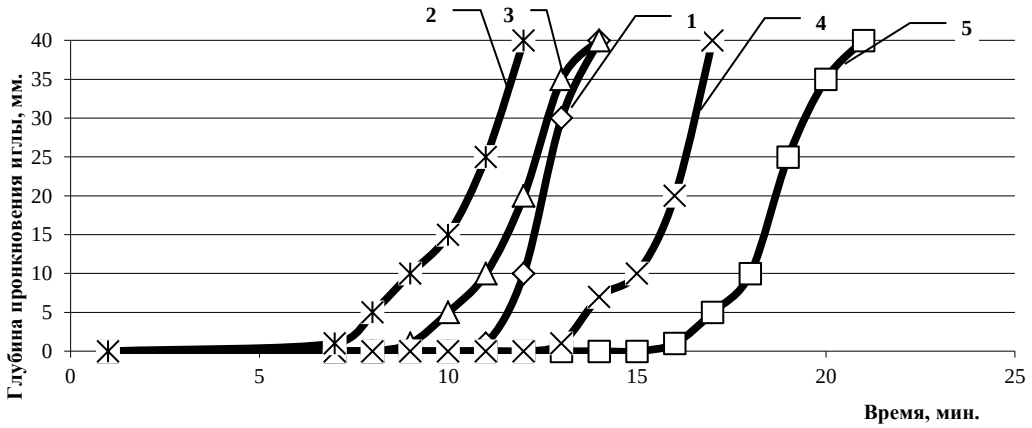


Рис. 1. Кривые отверждения исходной смолы и композиций (1:1) различного состава: 1 – смола КАМФЭСТ-0102 без наполнителя; 2 – КАМФЭСТ-0102 + фосфогипс-дигидрат; 3 – КАМФЭСТ-0102 + кирпичная пыль; 4 – КАМФЭСТ-0102 + измельченный бой стекла; 5 – КАМФЭСТ-0102 + зольные микросферы.

Таблица 1

Изменения температур начала деструкции и экзотермического пика полученных КМ

	Исходный	+ 80% микротальк	+ 80% измельченное стекло	+ 80% кирпичная пыль
Температура начала деструкции, ^{0}C	315	320	325	290
Температура экзопика, ^{0}C	380	365	360	380

Анализ ИК-спектров фосфогипса, полиэфирной смолы и КМ на их основе показывает, что характерные для сульфатов кальция интенсивная полоса поглощения при 1154,8 см$^{-1}$ и значительно более слабые дуплеты при 673,5 и 600,5 см$^{-1}$ видны и в спектре композиционного материала. Один из пиков дуплета смещен с 673,5 до 661,0 см$^{-1}$. Кроме того, в спектре КМ полоса поглощения при 3536,6 см$^{-1}$, имеющаяся в спектре фосфогипса и характерная для гидроксогрупп, сместилась в область 3551,1 см$^{-1}$. Это показывает участие сульфогрупп фосфогипса и протонизированных атомов водорода в полиэфире, а также и протонизированного водорода гидроксогрупп фосфогипса и электроотрицательного кислорода в полиэфирной смоле в образовании водородных связей, что доказывается смещением пика валентных колебаний связи С-О с 1256,2 см$^{-1}$ в исходной смоле до 1286,4 см$^{-1}$ в КМ (рис. 2).

В ИК-спектре КМ появилась новая узкая, средней интенсивности, полоса поглощения при 964,4 см$^{-1}$, обусловленная валентными колебаниями углеводородного скелета в длинных полимерных цепях сшитого полиэфирного композита.

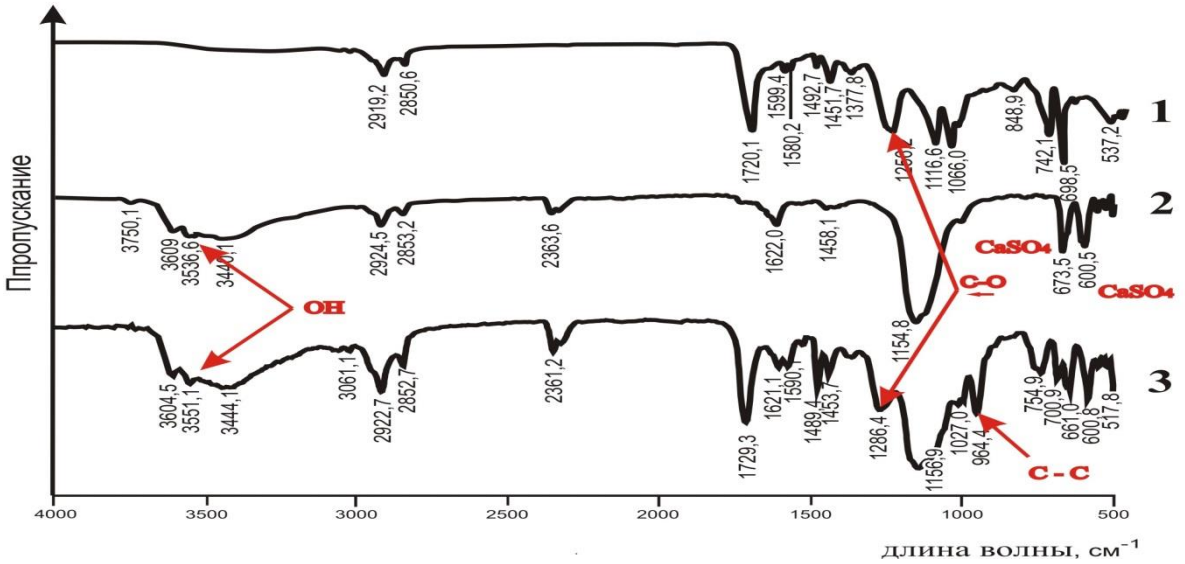


Рис.2. Результаты ИКС: 1 – полиэфирная смола; 2- ФГД;

3 – композиционный материал на их основе

С экономической и экологической точек зрения интерес представляет создание высоконаполненных фосфогипсопластиков. Для получения не склонного к агломерации мелкодисперсного наполнителя, фосфогипс обрабатывали стеаратом кальция, что позволяет добиться максимальной степени наполнения и существенно снизить стоимость композита.

Для получения КМ с повышенными прочностными характеристиками возможно использование методов математического моделирования и оптимизации состава. В данной работе использовался градиентный метод оптимизации состава. Был проведен полный факторный эксперимент, в котором в качестве параметров оптимизации были выбраны ударная вязкость (Y_1), разрушающее напряжение при растяжении и изгибе (соответственно Y_2 и Y_3) и модуль упругости (Y_4), а в качестве факторов - содержание фосфогипса в композиции (X_1), содержание стеарата кальция (X_2) и размер частиц наполнителя (X_3)

В результате проведенных расчетов были получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 1{,}44 + 0{,}09X_1 + 0{,}16X_2 + 0{,}19X_3 - 0{,}04X_1X_2 + 0{,}09X_1X_3 + 0{,}06X_2X_3$$

$$Y_2 = 12{,}88 - 4{,}78X_1 + 1{,}18X_2 - 0{,}93X_3 - 0{,}63X_1X_2 + 1{,}63X_1X_3 + 0{,}93X_2X_3$$

$$Y_3 = 27{,}78 - 4{,}75X_1 + 0{,}13X_2 - 0{,}25X_3 - 1{,}90X_1X_2 + 0{,}18X_1X_3 - 3{,}10X_2X_3$$

$$Y_4 = 41083 - 1523X_1 + 2{,}8X_2 + 244{,}3X_3 - 262{,}3X_1X_2 - 83{,}8X_1X_3 - 243{,}3X_2X_3$$

Анализ полученных уравнений регрессии показывает значительное влияние размера частиц фосфогипса и содержания стеарата кальция на физико-механические характеристики фосфогипсопластика. В связи со сложностью пошагового регулирования размеров частиц фосфогипсового наполнителя при оптимизации, в качестве базового фактора было выбрано содержание стеарата кальция в составе композиции (X_2), а в качестве критерия оптимальности выбрали ударную вязкость (Y_1) (табл.2).

Таблица 2

Результаты градиентного метода оптимизации состава

№ опыта	X_1, %	X_2, %	Y_1, кДж/м^2	Y_2, МПа	Y_3, МПа	Y_4, МПа
1	58	3,0	1,0	7,6	20,0	3265
2	60	3,5	1,2	8,3	22,9	3425
3	62	4,0	1,4	9,1	23,0	3580
4	64	4,5	1,4	9,3	23,9	3620
5	66	5,0	1,5	9,5	24,2	3780
6	68	5,5	1,5	9,6	24,7	4065
7	**70**	**6,0**	**1,6**	**10,1**	**25,3**	**4060**
8	72	6,5	1,4	9,2	23,1	3750

Оптимальной является композиция №7, которая имеет самые высокие показатели ударной вязкости (Y_1), разрушающего напряжения при растяжении (Y_2) и изгибе (Y_3). Дальнейшее увеличение содержания фосфогипса и стеарата кальция нецелесообразно, поскольку происходит снижение прочностных характеристик материала.

Таким образом, использование фосфогипса в качестве эффективного наполнителя при получении ПКМ на основе ненасыщенной полиэфирной матрицы представляется достаточно перспективным и экономически обоснованным.

Литература:

1. Научно-технологические принципы создания полимерматричных композитов на основе приоритетных наполнителей с заданным комплексом свойств: монография /Устинова Т.П., Панова Л.Г., Кардаш М.М., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л., Плакунова Е.В., Бурмистров И.Н. - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2014. - 111 с. (6,94 печ. л.). - ISBN 978-5-9905521-4-2

2. Артеменко, С.Е. Физико-химические основы интеркаляционной технологии базальто-,стекло-,и углепластиков / Артеменко С.Е., Кадыкова Ю.А., Васильева О.Г. : учебное пособие для студентов специальности 25.06.00 "Технология переработки пластмасс и эластомеров". - Саратов : СГТУ, 2004. - 50 с. (другие)- ISBN 5-7433-0652-4 Тираж 300 экз

УДК 691.585

Минералонаполненные перспективные материалы для кузовного ремонта автомобилей на основе полиэфирной матрицы

[1]Щербаков А.С., магистрант кафедры «Химические технологии», [1]Кучеренко Е.В., аспирант, кафедры «Химические технологии», [2]Арзамасцев С.В., доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»
[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс
[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Российский автомобильный рынок, несмотря на кризисные явления в экономике страны, эксперты оценивают как один из самых перспективных и быстроразвивающихся во всем мире [1]. Увеличивающееся количество автомобилей привело к резкому росту числа дорожно-транспортных происшествий, после которых значительная часть автомобилей требует проведения кузовного ремонта. Залогом проведения качественного кузовного ремонта является использование качественного шпаклевочного материала, технологичного при проведении работ, имеющего высокие физико-механические характеристики, обладающего хорошей адгезией к ремонтируемым кузовным элементам, устойчивого к перепаду температур и т.д. Специалистами сформулированы три главных требования, которым должен отвечать шпаклевочный материал:

- они должны обладать хорошей адгезией к поверхности, на которую наносятся;
- равномерно по ней распределяться;
- обеспечивать минимальную усадку после отверждения.

Основной объем применяемых сегодня шпатлевок, исходя из химической основы связующего вещества, составляют полиэфирные (ПЭ) шпатлевки различного назначения. Эти материалы обладают наименьшей усадкой (при относительно большой толщине наносимого слоя) и наибольшей скоростью полимеризации, по сравнению со шпатлевками на акриловой или нитроосновах.

В промышленно выпускаемых шпатлевках используются традиционные минеральные наполнители – тальк, мел, гипс, каолинит и пр. Однако по ряду характеристик они уступают зарубежным аналогам. Попытка использования фенольных микрошариков и кварцевых микросфер приводит к существенному удорожанию продукта и не нашла широкого применения. Для продвижения на рынке требуется использование в шпатлевках дешевых и

эффективных наполнителей, обеспечивающих высокий комплекс свойств готовой продукции. Поэтому поиск эффективных наполнителей для создания высококачественных полиэфирных шпатлевочных материалов, не уступающих по характеристикам зарубежным аналогам, является актуальной задачей**.**

Перспективным является использование для производства автомобильной шпатлевки ненасыщенной полиэфирной смолы марки КАМФЭСТ 0102 производства ОАО «Пермские полиэфиры», а в качестве наполнителя – измельченные природный базальт и (или) отработавший срок теплоизоляционный материал – базальтовую вату. Выбор данных наполнителей обусловлен тем, что на территории России известно более 200 месторождений базальтовых пород, из них более 50 месторождений эксплуатируются. Например, запасы только двух разведанных и изученных месторождений базальтов на территории Плесецкого и Онежского районов Архангельской области составляют более 600 млн. $м^3$ (около 2 млрд. т.).

Базальтовый наполнитель оказывает значительное влияние на скорость отверждения полиэфирной смолы. Измельченная отработавшая срок базальтовая вата (ОБВ) уменьшает время начала отверждения с 22 до 5 мин, а продолжительность отверждения - с 8-9 до 1-2 мин (рис. 1).

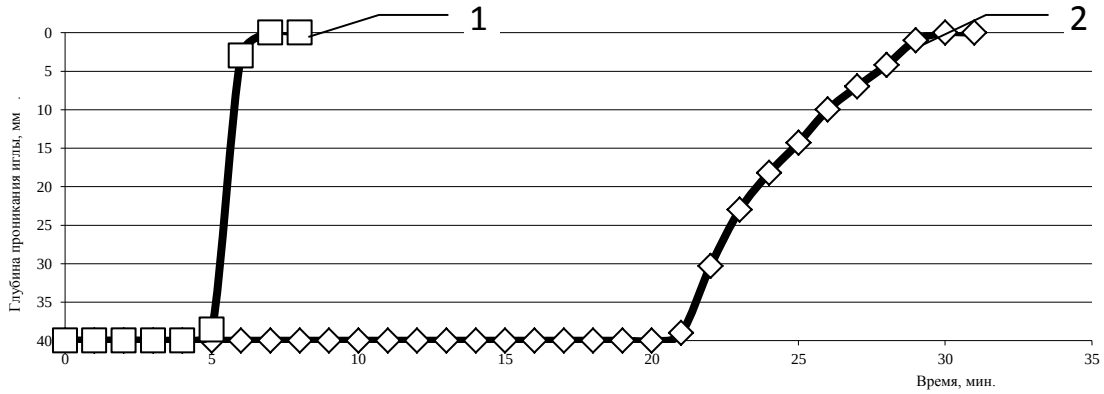


Рис. 1. Кривые отверждения композиций состава: 1 - смола КАМФЭСТ-0102 + 10% измельченной ОБВ; 2 – ненаполненная полиэфирная смола КАМФЭСТ-0102

Установлено, что введение в состав полиэфирной смолы КАМФЭСТ-0102 измельченной ОБВ с размером частиц до 125 мкм в количестве до 66% масс. приводит к повышению разрушающего напряжения при изгибе на 70-80%, в то же время разрушающее напряжение при растяжении остается на исходном уровне (рис.2).

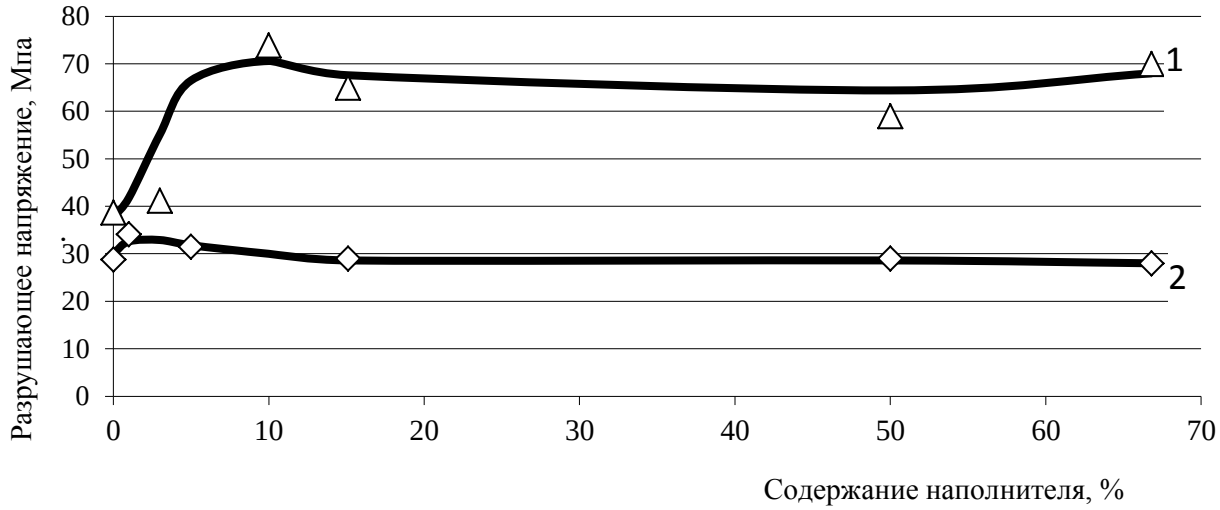


Рис. 2. Влияние содержания измельченной ОБВ на разрушающее напряжение при изгибе (1) и растяжении (2)

Установлена также зависимость разрушающего напряжения при изгибе и растяжении от размера частиц базальтового наполнителя. Уменьшение размера частиц измельченной ОБВ с 125 до 40 мкм не оказывает влияния на разрушающее напряжение при изгибе, приводя к двукратному увеличению разрушающего напряжения при растяжении (рис. 3).

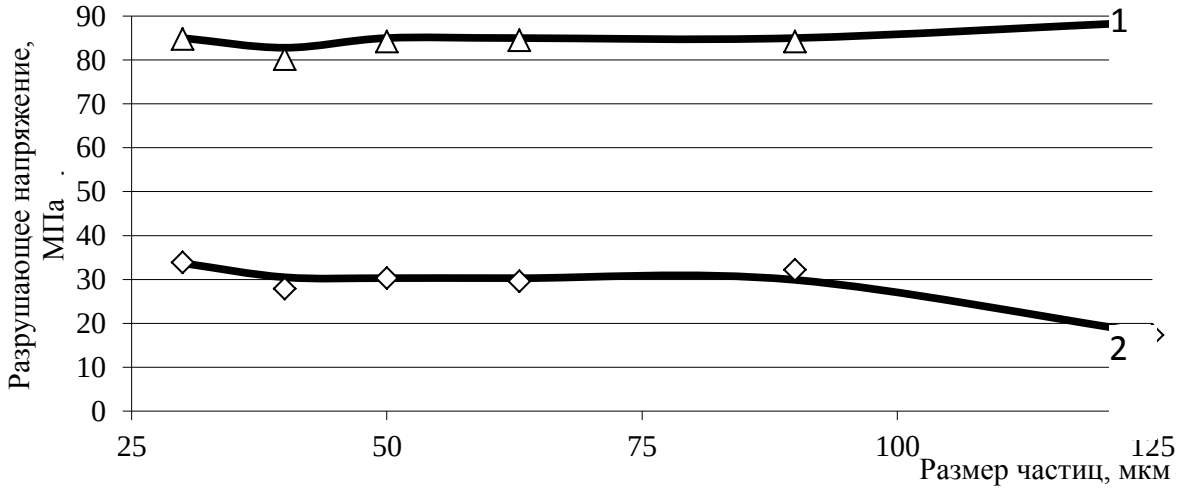


Рис. 3. Влияние размера частиц измельченной ОБВ на разрушающее напряжение при изгибе (1) и растяжении (2)

При применении шпаклевок важной характеристикой являются как физико-механические показатели, так и возможность регулирования времени отверждения. Установлено (рис. 4), что на скорость отверждения высоконаполненной композиции сильное влияние оказывает концентрация инициатора - пероксида циклогексанона в трихлорэтилфосфате (ПЦГ), увеличение которой с 2 до 3% масс. от содержания смолы, сдвигает начало стадии отверждения с 12-15 до 2-4 мин. Количество предварительно введенного в состав смолы ускорителя – нафтената кобальта (УНК), представляющего собой

стирольный раствор кобальтовых солей 2-этилгексановой кислоты или синтетических жирных кислот C_7-C_9 существенно влияет на характер кривых отверждения. Если при введенном ускорителе в количестве 3,5% масс. отверждение протекает интенсивно (кривые 1 и 3), то при содержании 2% полимеризация протекает сначала энергично, а затем замедляется, переходя в более плавный процесс (кривые 2 и 4).

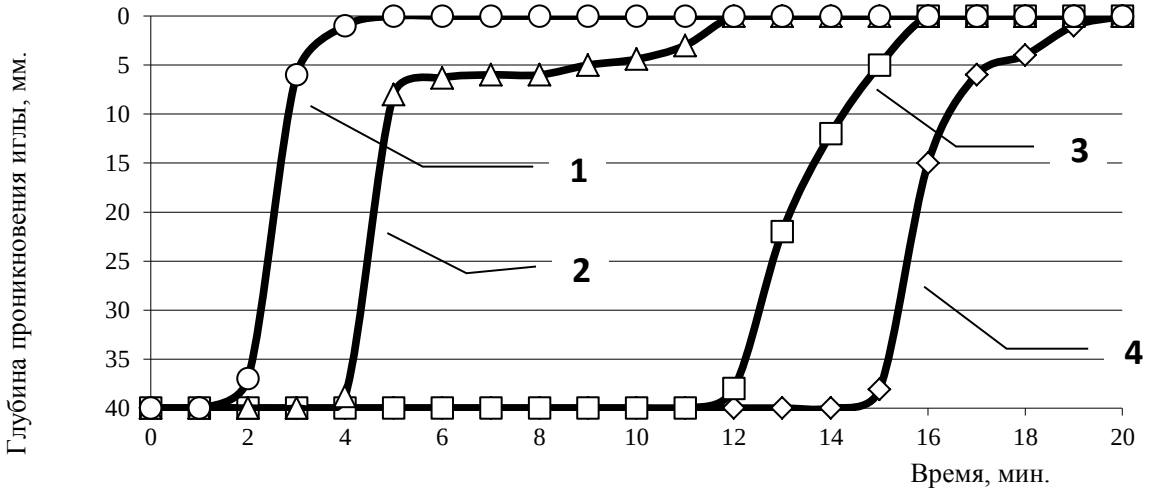


Рис. 4. Кривые отверждения высоконаполненной композиции (35% КАМФЭСТ 0102, 65% измельченная ОБВ) при различном содержании ускорителя и инициатора: 1 – 3,5% УНК, 3% ПЦГ; 2 – 2,5% УНК, 3% ПЦГ; 3 – 3,5% УНК, 2% ПЦГ; 4 – 2,5% УНК, 2% ПЦГ.

Полученные данные хорошо согласуются с теорией, поскольку при увеличении содержания ускорителя и инициатора процесс отверждения протекает быстрее, в результате чего образуется композит с напряженной структурой, что отрицательно сказывается на его прочностных характеристиках [2].

Разработанные составы базальтонаполненного материала по разрушающему напряжению при изгибе превышают выпускаемую промышленностью шпатлевку в 3,4 раза, по ударной вязкости – в 1,4 раза, модулю упругости – в 5,8 раза.

Литература:

1. Автомобильный рынок России 2016 // Аналитическое агентство «Автостат» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.autostat.ru/catalog/product/236/

2. Научно-технологические принципы создания полимерматричных композитов на основе приоритетных наполнителей с заданным комплексом свойств : монография /Устинова Т.П., Панова Л.Г., Кардаш М.М., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л., Плакунова Е.В., Бурмистров И.Н. - Энгельс : Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2014. - 111 с. (6,94 печ. л.). - ISBN 978-5-9905521-4-2

УДК: 691.175.5/.8

Инновационный продукт для применения в строительных конструкциях - армирующие полимерные сетки СТРЭН

[1]Щербаков А.С., магистрант кафедры «Химические технологии», [1]Кучеренко Е.В., аспирант, кафедры «Химические технологии», [2]Арзамасцев Сергей Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины и оборудование»

[1]Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс

[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Растрескивание штукатурных и шпаклёвочных слоев на различных поверхностях является одним из распространённых видов брака, который негативно сказывается на прочности, долговечности и внешнем виде отделки. Трещины возникают в сопряжениях разнородных материалов: в узлах примыкания оконных и дверных коробок и перегородок к стенам и связаны с усадкой отделочных материалов, с температурными и другими деформациями. Причинами растрескивания могут быть как неправильное соблюдение пропорций или технологии приготовления раствора для шпаклевания, так и недостаточно тщательная подготовка поверхности стен перед нанесением раствора. Предотвращение трещин на раннем этапе осуществляется за счёт армирования штукатурной или шпаклёвочной матрицы. Сегодня на рынке представлено достаточно большое количество армирующих сеток, матов и волокон. Функции, которые они выполняют, (в основном механические свойства) практически одинаковы:

- уменьшение образования трещин, вследствие изменений температуры и влажности, механических напряжений, нарушений технологии приготовления смесей;
- увеличения механической прочности поверхности [2-4].

Армирующие полимерные сетки марки СТРЭН, производимые ООО «ТД НОВОПОЛИМЕР», представляют собой полотно с прямоугольной ячейкой заданных размеров, изготавливаемые из первичного или вторичного полипропилена методом экструзии с последующим двухосным ориентированием. Основное назначение сеток указано в табл. 1

Сетки изготавливаются согласно технической документации ТУ 2291-002-88882290-09 с изм. №3 от 18.02.2015 (старая редакция ТУ 2247-00296266783-2007). Удельный вес сеток 15-100 г/м², размером ячеек от 7х7 до 45х45мм. Доступность в ценовом сегменте по сравнению с другими материалам, применяемыми в отделке (стекло- и базальтовыми

сетками) делают полипропиленовую сетку конкурентоспособной на рынке. Главным достоинством полипропиленовых сеток, используемых в качестве макроармирующего элемента в строительных конструкциях, является их химическая стойкость и высокие адгезионные свойства.

Таблица 1

Назначение армирующих сеток СТРЭН

Марка сетки	Основное назначение
СТРЭН С2-1 СТРЭН С2-2 СТРЭН С7	Армирование штукатурных покрытий на внутренних поверхностей ограждающих конструкций.
СТРЭН С3-1 СТРЭН С3-2 СТРЭН С3-3	Армирование штукатурных покрытий и шпаклевочных покрытий на внутренних и наружных поверхностей ограждающих конструкций.
СТРЭН С4	Армирование бетонных, цементных и балластных слоев в различных сооружениях
СТРЭН С5 СТРЭН С6	Армирование цементных стяжек, кладки из кирпича и других искусственных камней, наливных полов, подготовка поверхностей к облицовкой плиткой, под укладку тротуарной плитки и других покрытий, при ремонтных работах на мостовых сооружениях, коллекторах и т.д.

Именно адгезионная прочность уже в течение нескольких десятков лет служит предметом постоянного изучения армирующей основы [1]. Смачивание и адгезия играет существенную роль не только при армировании, но и при ведении в матрицу дисперсных наполнителей любой природы. Отличием сеток СТРЭН от аналогов является двухстадийное ориентирование при формовании и наличие на поверхности сеток адгезивного слоя, который создается за счет нанесения на поверхности сеток аппретирующих веществ (замасливателей) при их вытяжке. Раствор замасливателя подаются через станцию водоподготовки в вытяжную ванну поперечного ориентирования. Применяемые в процессе формования сетки СТРЭН аппретирующие растворы не просто технологические жидкости, а целый комплекс веществ по приданию необходимых свойств конечному продукту. Для улучшения сил взаимодействия проводится модификация поверхности сетки СТРЕН различными веществами, которые водятся в расплав основного полимера и содержат активные функциональные группы на основе виниловых радикалов, в результате чего изменяется структура основного полимера и улучшаются характеристики сетки. Высокая адгезия поверхностного слоя сетки к строительным смесям обеспечивается сцеплением молекул жидкого клеящего аппрета, находящиеся на поверхности, молекулы которого взаимодействуют с силикатами водящих в состав вяжущих штукатурных и шпаклёвочных материалов с образованием устойчивых гидратов.

В результате комплексных испытаний строительных сеток марок СТРЭН, были определена сроки эксплуатации по таким показателям как адгезия армированного слоя по силе отрыва, стойкость к воздействию климатических факторов (долговечность). Проведено сравнение сеток СТРЭН с стеклосетками российского и иностранного производства. При воздействии ультрафиолетом на сетки СТРЭН потеря прочности при разрыве не превышает 3,1% вдоль рулона и 5,0% поперек рулона. Потеря прочности при разрыве после "быстрого теста" и «длинного теста» на щелочестойкость (28 суток) не превышает 3,8% вдоль рулона и 5,0% поперек рулона. Среднестатистические значения этого показателя для стеклосеток составляют 25-38%. Полипропиленовые сетки марки СТРЭН по показателям щелостойкости и стойкости к воздействию ультрафиолета значительно превосходят стеклосетки и срок их эксплуатации составляет не менее 10 лет. Однако они уступают стеклосеткам по величине разрывной нагрузки, а также имеют высокое значение относительного удлинения при растяжении (более 10%, у сетеклосеток - не более 4%), что может проводить к деформации ячеек.

В результате проведения сравнительных испытаний по устройству армирующего слоя сухого клеевой смесью «Кератекс К-19» выявлено, что сетка СТРЭН С3-1и С3-2 (адгезия 600-610 кПа) по показанию адгезии армированного клеевого слоя соответствует образцам, армированым стеклосеткой марки SSA-1363-4SM(100) производства Valmieras stikla skeildra (Латвия). В среднем значение адгезии по силе отрыва для образцов, армированных с полимерными сетками СТРЭН на 30 кПа выше, чем образцов, армированных стеклосетками. В результате проведения испытаний на морозостойкость контактной зоны по ГОСТ 301356-2007 значения показателя адгезии покрытия по силе отрыва сеток СТРЭН было выше в среднем на 20 кПа, чем у тех же стеклосеток. В результате сравнения фрагментов фасадной системы «Терррако-ТМ» с применением в качестве армированной основы строительные сетки марки СТРЭН С3-1 и стеклосетки с полимерной пропиткой марки R131 компании Saint-Gobain Vertex f.s (Чехия) было установлено, что замена стеклосетки R131 на сетку СТРЭН С3-1 не оказывает существенного влияния на значения показателя «адгезия армированного слоя фрагментов фасадных систем по силе отрыва» как для контрольных образцов, так и образцов прошедших климатические испытания.

Технологические и эксплутационные показатели полипропиленовых армирующих сеток СТРЭН находятся в интервале значений, соответствующих технических характеристикам строительных стеклосеток со щелочестойкой пропиткой, причем полипропиленовые армирующие сетки значительно превосходят стеклосетки по показателям «щелочестойкость» и «стойкость к воздействию ультрафиолета». Однако строительные полипропиленовые сетки СТРЭН не подпадают под ГОСТ Р 55225-2012 (Сетки из

стекловолокна фасадные армирующие щелочестойкие), но их пригодность для применения в строительстве подтверждены техническим свидетельством ГОССТРОЯ РФ №ТС 4032-13. Таким образом, строительные сетки СТРЕН по своим характеристикам могут конкурировать со стеклосетками.

Литература:

1. Научно-технологические принципы создания полимерматричных композитов на основе приоритетных наполнителей с заданным комплексом свойств: монография /Устинова Т.П., Панова Л.Г., Кардаш М.М., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л., Плакунова Е.В., Бурмистров И.Н. - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2014. - 111 с. (6,94 печ. л.). - ISBN 978-5-9905521-4-2

2. Приложение к техническому свидетельству №4032-13, "Техническая оценка пригодности для применения в строительстве новой продукции"., ФАУ "ФЦС".[Электронный ресурс] . – Режим доступа: http://www.tehocenka.ru/registry/view/obschestroitelnaya-setka-stren-stren-stren-s4

3. Сайт компании ООО «ТД Новополимер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stren.ru

4. Устинова, Т.П. Направленное регулирование структуры и свойств полимерматричных композиционных материалов /Устинова Т.П., Кадыкова Ю.А. // Вестник Тамбовского государственного технического университета . - 2015. - Т. 21, № 4. - С. 644-652.

УДК 66.0

Изучение эффективности взаимодействия замедлителей горения с полиакрилонитрильным волокном

Щербина Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»,
Сошкина Е.А., студент направления Химическая технология
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Балаково

Широкое применение в текстильной промышленности, а так же в производстве углеродных волокон (УВ) находят полиакрилонитрильные (ПАН) волокна. Критерием, который позволяет применять полимеры во многих отраслях промышленности, является

горючесть. Горючесть включает в себя следующие величины, такие как температуру самовоспламенения, скорость распространения пламени по поверхности, кислородный индекс (состав атмосферы), дымообразование при горении и воздействии пламени, токсичность продуктов горения и пиролиза [1].

Свойства ПАН волокна обширны, это заменитель шерсти, однако превосходит ее по теплоизоляционным свойствам, обладает высокой прочностью. Ценным качеством ПАН волокна является высокая устойчивость к действию минеральных кислот и разбавленных щелочей. ПАН волокна устойчивы к нагреванию до 160°С.

ПАН волокна относятся к легковоспламеняемым, горючим полимерам, температура воспламенения волокон составляет 250°С, кислородный индекс равен 18 % об. [2]. Важной стадией процесса горения является термическая деструкция, которая определяет состав и количество горючих летучих соединений, легкость их воспламенений, токсичность продуктов горения. Каждый материал характеризуется критической температурой термостойкости.

При горении ПАН волокна происходит отделения атомов (групп) основной цепи макромолекул, осуществляется внутримолекулярная перестройка и формируются структуры циклического строения, формирующие карбонизованный остаток (КО). Для уменьшения выхода горючих летучих продуктов деструкции полимера необходимо осуществлять инициирование процессов циклизации, что значительно повышает выход КО.

Многие способы ингибирования процессов горения основаны на введение в материал огнезамедлительных добавок – антипиренов [3].

Цель данной работы заключается в изучении влияния модификации антипиреновыми системами на пиролиз ПАН волокон. Объектами исследования выбраны кондиционное ПАН волокно и две различные по составу антипиреновые системы (АС), содержащие фосфор-азот-соединения и силан. Процесс модификации волокна осуществляли по стадиям: пропитка волокна водными растворами антипиреновых систем при температуре 20-25°С; термообработка в течении 10 мин, при температуре 150°С; сушка при 35°С в термостате. Влияние состава антипиреновых систем на процессы при пиролизе ПАН волокна приведены в табл.1.

Таблица 1

Влияние состава антипиреновых систем на процессы пиролиза ПАН волокна

Состав образца	Температуры деструкции, ℃			Температурный интервал деструкции, ℃	Выход коксового остатка, %
	Начальная, ℃	Максимальная, ℃	Конечная, ℃		
ПАНволокно	250	270	295	45	5
ПАН+АС1	265	278	337	72	15
ПАН+АС2	269	275	337	68	20

Оценку модификации проводили также по определению эффективности взаимодействия (ЭВ,%) антипиреновых систем с ПАН волокном (табл. 2), выраженную через отношение количества антипирена, удержанного после промывки % масс (1). (m_1), к количеству антипирена, (m_2) удержанному после пропитки % масс. Влияние состава АС на эффективность взаимодействия с ПАН волокном приведены в табл.2.

$$ЭВ = (m_1 / m_2) * 100 \quad (1)$$

Методом термогравиметрического анализа ТГА выявлено влияние состава антипиреновых систем на процессы пиролиза, модифицируемого ПАН волокна. Для исходного ПАН волокна в процессе деструкции наблюдаются более высокие значения экзотермического эффекта. В интервале температур 250-295 начинаются процессы циклизации.

Таблица 2

Влияние состава АС на эффективность взаимодействия с ПАН волокном

Состав антипиреновой системы, % масс.	Масса антипирена на волокне после пропитки, % масс.	Масса антипирена на волокне после промывки, % масс.	Коэффициент эффективности взаимодействия с волокном, %
АС - 1	1,2165	0,1429	12
АС - 2	1,1182	0,1680	15

Выявлено влияние на циклизацию антипиреновых добавок, это проявляется в уменьшении интенсивности экзотермической реакции и меньшими потерями массы в процессе пиролиза, большим выходом КО у модифицированного волокна. Проанализировав данную работу можно сделать следующие выводы:

1). На основании исследования выявлена большая эффективность взаимодействия с АС – 2.

2). Методом термографического анализа установлено влияние антипиреновых систем на процессы пиролиза ПАН волокна.

3). Анализ горения на воздухе не позволяет отнести модифицированные волокна к трудносгораемым материалам; затухающим эффектом обладают образцы только после пропитки.

Литература:

1. Копылов В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью / В.В. Копылов, С.Н. Новиков, Л.А. Оксентьевич; Под ред. А.Н. Праведникова.- М.: Химия, 1986.- 224с.

2. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин // Российский химический журнал.- 2002.- Т.XLVI, № 1. – С. 31-48.

3. Пат. 2565185 Российская Федерация, МПК С 09 К 21/12, Д 06 М 15/673, Д 06М 101/28. Состав для огнезащитной отделки полиакрилонитрильного волокна / Н.А. Щербина, Е.В. Бычкова, Л.Г. Панова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО СГТУ (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) (RU). -№ 2014106717/05; заявл. 21.02.2014; опубл. 20.10.2015, Бюл. № 29.

УДК 66.0

Особенности структуры термопластичного полисахарида

[1]Щербина Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины»,

[2]Бычкова Елена Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии»

[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

[2] Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университет имени Гагарина Ю.А., г. Энгельс

Возможность создания на основе полисахаридов новых полимерных материалов с ценными прикладными свойствами обусловливает растущий к ним интерес, как в области создания биоразлагаемых полимерных упаковочных материалов, полимеров биомедицинского назначения, так и необходимостью рационального использования биовозобновляемого сырья.

Высокие требования экологической безопасности, предъявляемые к упаковочным материалам, их ценообразование вызывают активные поиски в методах модифицирования сырьевого материала. К недостаткам производств традиционных полимеров относится истощение запасов нефти и газа, увеличение цен на них, долгий срок разложения материалов.

Наиболее распространенным полисахаридом обладающим огромным потребительским потенциалом является крахмал, который имеет преимущества в том, что он является возобновляемым, биоразлагаемым. доступным в больших количествах, по

экономически не дорогой цене по сравнению с нефтью и газом, используемыми в качестве сырья современных пластмасс. Полисахариды можно использовать в форме смесей с синтетическими полимерами, перспективно использование крахмала в аморфном и термопластическом состоянии.

Способность полимеров разлагаться и усваиваться микроорганизмами зависит от ряда их структурных характеристик. Наиболее важными являются химическая природа полимера, молекулярная масса, разветвленность макроцепи (наличие и природа боковых групп). Полисахариды имеют большую молекулярную массу, высокий уровень структурной организации макромолекулы. Первичная структура полисахарида - это определенная последовательность мономерных остатков, однако важную роль играет вторичная структура, определяемая пространственным расположением макромолекулярной цепи. Биоразлагаемость зависит также от степени замещения цепи и длины ее участков между функциональными группами, гибкости макромолекул. Надмолекулярная структура может быть охарактеризована кристаллографическими параметрами, степенью кристалличности, размерами кристаллитов и их дефектностью, структурными характеристиками аморфных областей, размерами фибриллярных образований и другими параметрами.

Крахмал - сложный полимер, включающий смесь полисахаридов амилопектина и амилозы, поэтому свойства крахмала изменяются в зависимости от их содержания. Полисахаридам свойственна нетоксичность. Это - гидрофильный полимер. Целые крахмальные зерна нерастворимы в воде при обычной температуре, спирте, эфире, сероуглероде, хлороформе, бензоле. Крахмал, высушенный при температуре 100-110°С, очень гигроскопичен.

Крахмал является аморфно-кристалическим полимером. Амилоза и разветвленные участки амилопектина образуют аморфные области, а участки амилопектина менее разветвлены и образуют кристаллические области в гранулах крахмала. Аморфная часть гранул образует непрерывную фазу – «аморфное гало» в которое включены кристаллические образования типа ламелей. Таким образом, степень кристалличности напрямую зависит от содержания амилопектина в природном крахмале.

Соотношение амилозы и амилопектина неодинаково в крахмалах, полученных из различных видов сырья (кукуруза, картофель, рис и т.д.). Так, в кукурузном крахмале амилозы содержится 22-28%, а в картофельном - 23%, пшеничном – 17-27%, рисовом – 16-17%. Таким образом, использованием смеси крахмалов можно регулировать структуру и свойства получаемых из крахмала материалов.

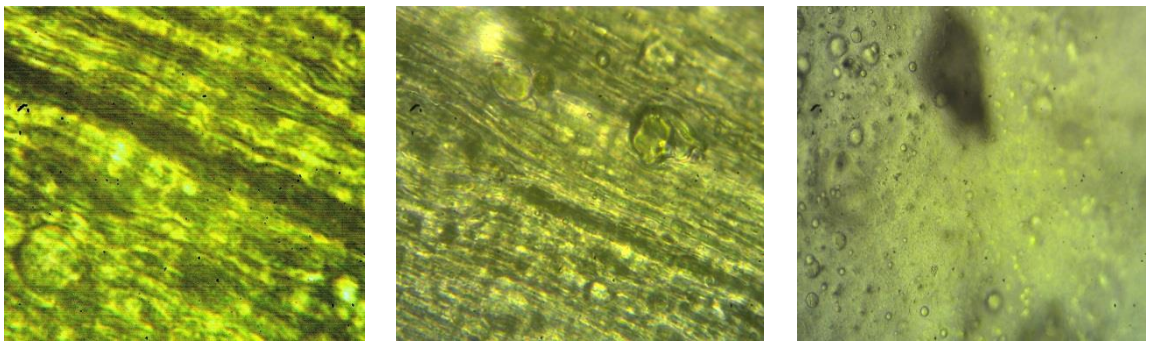
Цель данной работы заключается в исследовании структуры и свойств полисахаридов и биополимерных материалов на их основе. Объектами исследования выбраны крахмал картофельный и крахмал кукурузный.

Крахмал в чистом виде не термопластичен, но может быть переведен в термопласт путем введения пластификатора, который деструктурирует сложную молекулярную структуру крахмала.

Для исследования были сформованы пленки 4, 8% растворы как отдельных крахмалов – кукурузного и картофельного, так и 50% бикомпонентная смесь этих источников. В получаемые составы вводился пластификатор. Пластификации осуществлялась путем увеличения температуры до 90-120°С. В процессе нагревания изменялась структура суспензированных в воде крахмальных зерен. Стадии получения термопластичного крахмала включают: диспергирование полимера в воде; пластицирование при постоянном помешивании; желатинирование в течении 25 мин. при температуре 90°С. Далее формовались пленки из растворов методом полива на стеклянную поверхность. Свежесформованная пленка дозревала в сушильном шкафу, охлаждали до комнатной температуры и снимали с подложки.

Можно выделить следующие стадии образования коллоидного раствора при диспергировании зерен: 1 - ограниченное набухание зерен, при этом вязкость суспензии не повышается; 2 - дальнейшее повышение температуры вызывает вторую стадию набухания с увеличением зерен в объеме в несколько раз, при этом поглощается большое количество воды, теряется структура и способность к двойному лучеприломлению, резко увеличивается вязкость суспензии; 3 – дальнейшее повышение температуры вызывает разрыв набухших крахмальных зерен, которые прекращают увеличение в объеме и принимают вид бесформенных мешочков.

Изучение поверхностной структуры термопластифицированных пленок крахмала осуществлялось с помощью метода оптической микроскопии. При этом исследованы составы пленок, полученных из отдельных видов крахмала (4%-ных растворов кукурузного (КУ), картофельного (КР) крахмалов), а также 4%-ного бикомпонентного раствора (50 КУ/50 КР) (рис.1).



а) б) в)

Рис.1. Микроснимки термопластифицированных пленок крахмала: а) 4% КР; б) 4% КУ ; в) бикомпонентный состав пленки КУ/КР.

Использование смеси крахмалов для получения термопластичных пленок существенно изменяет морфологию поверхности образцов: отсутствует однонаправленность поверхностных слоев пленки, характерная для морфологии пленок, полученных из отдельных видов крахмала (рис.1). Это, очевидно, связано с различным содержанием в исходных крахмалах амилозы и амилопектина.

Определили растворимость полученных пленок в холодной и горячей воде. Выявлено, что значительно ниже растворимость даже в горячей воде у пленки сформированной из раствора кукурузного крахмала. Качественная реакция с раствором йода на крахмальный компонент пленок отрицательна в холодной воде.

Введение пластификатора разрыхляет структуру системы, это позволяет более полное разрушение структур зерен, а на стадии сушки формируется более плотная взаимная упаковка макромолекул амилозы и амилопектина, что приводит к нерастворимости термопластифицированного крахмала.

Литература:

1. Тертышная Ю.В. Биоразлагаемые полимеры: перспективы их масштабного применения в промышленности России./ Тертышная Ю.В., Шибряева Л.С. // Экология и промышленность России, 2015. Т. 19. №8. С.20-25.

2. Скоротецкий М.С. Рентабильность использования биоразлагаемых полимеров./ М.С. Скоротецкий // Успехи в химии и химической технологии, 2011. Т 25. №9. С.44-47.

3. Фомин В.А. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования. / В.А. Фомин, В.В. Гузеев // Пластические массы, 2001. №2. С. 42-46.

УДК 66.0

Полимерные композиционные биоразлагаемые материалы

[1]Щербина Н.А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины», [2]Бычкова Е.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии», [2]Панова Л.Г., доктор химических наук, профессор кафедры «Химические технологии»

[1]Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

[2]Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университет имени Гагарина Ю.А., г. Энгельс

Постоянно возрастающие объемы производства хорошо освоенных многотоннажных промышленных полимеров, приводящие к загрязнению окружающей среды, вызывают всё более актуальные вопросы их утилизации. К недостаткам производств традиционных полимеров так же относится истощение запасов нефти и газа, увеличение цен на них, долгий срок разложения материалов.

Разложение таких полимеров как полиэтилен или полистирол занимает сотни лет, а сжигание полимеров приводит к образованию высокотоксичных веществ. Уже давно Европа обеспокоена дрейфующими «плавучими островами» из пластика и резины. Один такой «остров» в Тихом океане занимает площадь, в 34 раза превышающую территорию Голландии [1-3].

В последние десятилетия очень интенсивно ведутся разработки в области синтеза экологически безопасных полимерных материалов (ПМ) - биополимеров, обладающих способностью к биоразложению [4-5]. Разработка экологически безопасных ПМ ведётся по двум основным направлениям: создание материалов на основе биоразлагаемых полимеров и модификация промышленных синтетических полимеров биодобавками. Высокая экологичность и способность разлагаться в компосте при 30°С с образованием благоприятных для растений продуктов распада делает перспективным применение таких материалов в быту [4-6].

В основе процесса биоразложения лежат химические реакции, которые условно можно разделить на следующие группы: реакции, основывающиеся на окислении и реакции, основывающиеся на гидролизе. Разложение полимера обнаруживается по изменению и

ухудшению основных свойств материала. Эти изменения в основном являются следствием уменьшения длины полимерных цепочек, которые и определяют свойства полимера.

Биоразлагаемые полимеры подразделяются на три категории. Биополимеры, входящие в категорию I — целлюлоза, углеводороды, хитин-хитозан, давно используются самостоятельно и для модификации синтетических полимеров. В категорию II и III входят линейные полиэфиры полилактид и поли-3-гидроксибутират, которые получается из возобновляемого сырья. Наиболее перспективными биоразлагаемыми полимерами считаются полимеры из категории II полилактид $(C_3H_4O_2)_n$, поли (3,6-диметил-1,4-диоксан-2,5-дион), продукт конденсации молочной кислоты.

В категорию III входит поли-3-гидроксибутират. Он относится к группе полигидроксиалканов, гидроксипроизводных жирных кислот микробиологического происхождения, включает различный набор мономеров, что обуславливает широкий спектр их физико-химических свойств – от высококристалличных термопластов до резиноподобных эластомеров [1].

Полимерный композиционный биоразлагаемый материал представляет собой смешанную многокомпонентную систему, обеспечивающую биоразлагаемость всей системы, высокие физико-механические свойства и приемлемую цену.

Возможны несколько вариантов формирования смешанной многокомпонентной системы. Это формование гомогенной смеси, которая представляет собой однородную структуру с усредненными характеристиками по отношению к исходным чистым компонентам. При невозможности смешения компонентов по термодинамическим причинам может формироваться двухфазная смесь, отличающаяся качественным изменением структуры материала при изменении концентрации компонентов. Композитная система может состоять из матрицы, включающей в себя армирующие элементы.

Основными методами получения полимерных смесей биоразлагаемых композитов являются: экструдирование механической смеси полимеров; получение смешанного раствора компонентов в общем для них растворителе и формирование пленочных изделий методом испарения из раствора; приготовление суспензии нерастворимого компонента в растворе полимера и приготовление готовой формы, а также методом испарения из раствора [7].

Таким образом, производство биоразлагаемых полимеров осуществляется из доступного возобновляемого сырья по основным методам получения полимерных композиционных материалов.

Литература:

1. Тертышная Ю.В. Биоразлагаемые полимеры: перспективы их масштабного применения в промышленности России./ Тертышная Ю.В., Шибряева Л.С. // Экология и промышленность России, 2015. Т. 19. №8. С.20-25.

2. Скоротецкий М.С. Рентабильность использования биоразлагаемых полимеров./ М.С. Скоротецкий // Успехи в химии и химической технологии, 2011. Т 25. №9. С.44-47.

3. Фомин В.А. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования. / В.А. Фомин, В.В. Гузеев // Пластические массы, 2001. №2. С. 42-46.

4. Лешина А.А. Пластики биологического происхождения // Химия и жизнь, 2012. №9

5. Podzorova M.V., Tertyshnaya Yu.V. Perspektivy primeneniya polimemykh materialov v sel'skom khozyaistve / / Sel'skokhozyaistvennye mashiny I tekhnika. 2014. № 5. S.43.

6. Бояндин А.Н., Николаева Е.Д., Шабанов А.В., Васильев А.Д Получение и исследование полимерных смесей на основе поли-3-гидроксибутирата // Journal of Siberian Federal University. Biology 2, 2014, Т.7 С.174-185.

7. Геллер Б.Э. Биоразлагаемые полиэфиры и некоторые проблемы формования волокон и пленок на их основе / Б.Э. Геллер, Т.В. Горновская, Л.А. Щербина // Сборник материалов третьей Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Белоруссии».- Могилев, 2007.- С. 42-76.

УДК 66.0

Технология переработки ионообменных смол

Щербина Н. А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины», Курсакова А. И., студентка направления ХМТН-31

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Переработка высокомолекулярных ионообменных смол (ИОС) – сложная и дорогостоящая операция по сравнению с другими видами переработки полимеров. Проблемы переработки отработанных ионообменных смол (ОИОС) в атомной энергетике является острым и неэффективно решаемым.

В ядерных реакторах с водой под давлением применяются крупнозернистые ионообменные смолы в виде шариков, могут использоваться и порошковые ионообменные

смолы. Ежегодно на энергоблоке может образовываться до 3-10 м³ отработавших ионообменных смол. Шарики смолы, способны улавливать из воды ионы различных веществ и "впитывать" их в себя, отдавая в замен "запасенные" ранее ионы. Таким образом осуществляется ионный обмен - отсюда и обобщающее название этих смол - "ионообменные" или по научному — "иониты" [1].

Особый интерес использование синтетических ионитов представляет для предприятий, где необходимо очищать технологические среды от радионуклидов. Ионообменные смолы постепенно приходят в негодность. Отработанные ионообменных смолы предварительно сокращают до минимального объема и объема, в дальнейшем методом включения в различные матрицы утилизируют.

Утилизации отработанных ИОС связана со следующими проблемами такими как количество воды и органические примеси. Если смолы содержат свыше 50% воды, то не подходят для непосредственной утилизации. Содержание органических веществ усложняет оценку технологий на возгораемость, огнестойкость и газообразование. Масла огранивают доступ дезактивирующих реагентов к функциональным группам смол, что также затрудняет их в переработку [2].

Актуальными задачами в области переработки ИОС являются: использование в одном аппарате всего цикла переработки; максимальное уменьшение объемов и массы сухого остатка конечного продукта; снижение металлоемкости оборудования; снижение энергетических затрат технологического процесса; снижение расходов реагентов и уменьшения токсичности выбросов; повышение пожарной безопасности; надежное хранения конечного продукта.

В настоящее время существуют следующие возможные решения переработки ОИОС: включение в матрицу; термические методы; окисление; дезактивация.

Для отверждения смол могут использоваться термопластичные, термореактивные и неорганические матрицы. К термопластичным связующим относятся битум, высокомолекулярные смеси углеводородов; к термореактивным – полимерные связующие (эпоксидные смолы); к неорганическим связующим относятся цемент, гипс, жидкое стекло, глина.

Каждая технологию переработки имеет свои преимущества и недостатки. Технология цементирования имеет следующие преимущества: низкие эксплуатационные и капитальные затраты, возможность совместного цементирования твердых, жидких отходов и ОИОС; к недостаткам относится увеличение объема отходов для захоронения.

В термопластичные (полистирол, полиэтилен) или термореактивные (эпоксидные, полиэфирные смолы) матрицы осуществляется пропитка или перемешивание ИОС с

полимеризующим составом. Среди преимуществ метода это простота процесса, а недостатками являются высокая стоимость матричного материала, низкая радиационная стойкость, горючесть, склонность матрицы к старению.

Высокотемпературная обработка приводит к термолизу и окислению составляющих ИОС. В результате образуется твердый концентр радиоактивных загрязнителей и газов, которые устраняют газоочисткой перед сбросом в атмосферу. За счет термического процесса тепло передается отработанным ИОС в свободном от кислорода вакууме, достигается максимальный переход материала ОИОС в форму углерода. Преимущества: инертный и химически нейтральный продукт переработки, существенное снижение объема отработанных ИОС (до 50 раз). Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, низкая производительность, значительные объемы вторичных отходов, сложная система газоочистки.

Для удаления межзерновой и основной части внутризерновой воды и последующая термическая обработка для еще более глубокого обезвоживания ионообменной смолы и уменьшения ее объема используется центрифугирование. Высушенная смола может храниться в контейнерах без дополнительной обработки. При этом объем высушенного ионита уменьшается почти в 2 раза. Среди преимуществ можно отметить низкие капитальные затраты, снижение объема радиоактивных отходов (число контейнеров для длительного хранения и последующего захоронения ионитов уменьшается в 15 раз), к недостаткам относится способность конечного продукта впитывать влагу.

При температуре 80-100ºС и вакуумировании при 4-6 кПа. осуществляется термовакуумная сушка ОИОС, среди преимуществ которой низкий уровень остаточной влажности получаемого продукта в т. ч. при загрязнении ОИОС продуктами коррозии и нефтепродуктами, недостатки это так же способность конечного продукта впитывать влагу.

Сверхкритическое водное окисление и дезактивация – это регенерация ионообменных смол специально подобранными растворами. Регенераты после очищения от извлеченных радионуклидов на селективных неорганических сорбентах используются повторно. Преимущества: высокие коэффициенты уменьшения объема от 300 до 500 раз, недостатки это сложность и повышенная опасность процесса, высокие требования к качеству исполнения оборудования, большой объем образующихся вторичных жидких отходов (могут быть переработаны с применением методов ионоселективной очистки), низкая проработанность метода [3-5].

Анализ достоинств и недостатков применяемых на сегодняшний момент технологий переработки отработанных ионообменных смол показывает, что оптимальным вариантом с позиций принципа минимизации отходов являются технологии термической обработки и

глубокой дезактивации, среди которых преимущество имеет технология глубокой дезактивации. Таким образом, в России для решения задачи утилизации ионообменных смол необходимо развивать и внедрять технологию дезактивации.

Литература:

1. Дмитриев С. А. Технологические основы системы управления радиоактивными отходами / Дмитриев С. А., Баринов А. С., Батюхнова О. Г. и др. — М.: ГУП Мос НПО Радон, 2007. — 376 с.

2. Мирошниченко С. Т. Подходы к разработке методики для сравнения специальных дезактивирующих средств / Мирошниченко С. Т., Гавриш В. М., Иванец В. Г. // Науч.-техн. сборник СНУЯЭиП. — 2009. — № 15. — 126 с.

3. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: Уч. пособие для вузов/ М. А. Скачек. — М.: Изд. дом МЭИ, 2007. — 448 с.

4. Корчагин Ю. П., Хамьянов Л. П. Кондиционирование отработанных ионообменных смол АЭС методом их глубокой дезактивации// Обращение с радиоактивными отходами: Сб. тезисов 4 (Москва, 26-28 июня 2001 г.). — М.: ЭНИЦ ВНИИАЭС, 2002. — С. 89-93.

5. Иониты в химической технологии / Под ред. Б.П. Никольского, П.Г. Романова. Л.: Химия, 1982. 416 с.