



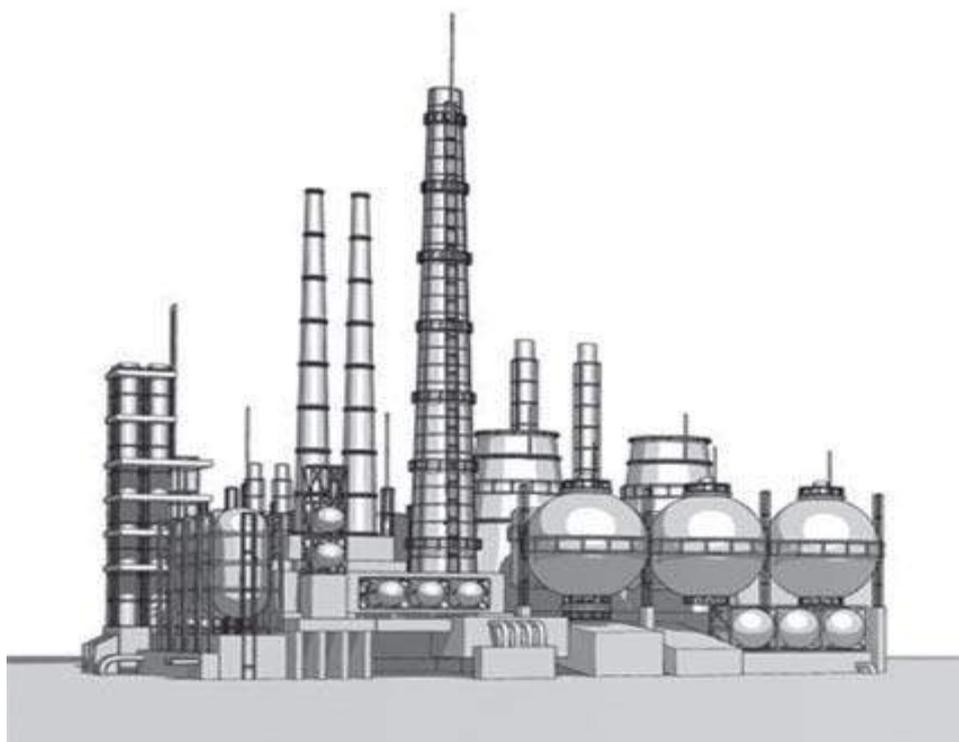
БАЛАКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СБОРНИК ТРУДОВ

III Всероссийской
научно-практической конференции

ТОМ 1

«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»



Балаково 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ

Балаковский инженерно-технологический институт

СБОРНИК ТРУДОВ

**III Всероссийской
научно-практической конференции**

ТОМ 1

**«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

25 декабря 2017 года

Балаково 2017

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные технологии в атомной энергетике» (25 декабря 2017 года); III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергоэффективность и энергосбережение» (25 декабря 2017 г.); III Международная научно-практическая конференция «Технология и переработка современных полимерных материалов» (25 декабря 2017 г.).

Сборник статей. М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. в 3-х томах.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике»; III Всероссийской научно-практической конференции «Технология и переработка современных полимерных материалов»; III Всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективность и энергосбережение», проводимых 25 декабря 2017 года в БИТИ НИЯУ МИФИ.

Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: актуальные проблемы и пути развития энергетики; надежность зданий и сооружений объектов тепловой и атомной энергетике; реконструкция, реставрация историко-архитектурного наследия; IT-технологии и автоматизация в технических системах, науке и образовании; перспективы развития машиностроительного и металлургического производства; транспортные, технологические машины и оборудование; 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, Н.С. Голоскова

Статьи сборника издаются в авторской редакции.

Материалы получены до 25.12.2017

ISBN 978-5-7262-2461-9

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

Подписано в печать 05.02.2018 Формат 60x84 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

СЕКЦИЯ 1

«ИННОВАЦИИ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

ГАЛЯУТДИНОВА Р.Р.

Современные технологии солнечной энергетики..... 6

ГРИГОРЬЕВ Д.А.

Экономия электроэнергии в жилых домах..... 9

ДУХАНИН П.И.

Повышение эффективности очистки жидких радиоактивных стоков ионным обменом..... 13

ЕВДОКИМОВ М.А., ВАНДЫШЕВА А.А.

Добыча золотого концентрата при сжигании угля..... 22

ЕЛИСТРАТОВА А.О., КРОХА А.М., УСТИНОВ Н.А.

Обзор ветроэнергетической установки..... 25

КАЛАШНИКОВ А.Е., УСТИНОВ Н.А.

Перспективы создания балконных модульных ветроэлектростанций..... 27

КАРПОВА А.В., КОПТЕВА В.С.

Инновационные подходы повышения финансовой устойчивости энергетических предприятий..... 31

КЛЕЙМЁНОВА Е.В.

Магнитная дефектоскопия проводов и грозотросов воздушных линий электропередачи..... 35

КОБЗЕВ Р.А., ШАЛКИНСКИЙ В.А.

Энергосбережение в машиностроении..... 38

КОБЗЕВА Н.В.

Токоограничивающие автоматические выключатели..... 44

КОЛОКОЛОВ Е.И., ТОМИЛИН С.А., ПОДРЕЗОВ Н.Н.

Возможности применения корпусных сталей нового поколения для реакторных уставок типа ВВЭР..... 47

КОМАРОВА С.В.

Оценка коррозионного мониторинга материалов и оборудования АЭС..... 53

КОЧЕВАТКИНА Э.Ф., КАРАСЕВА Е.С.	
Эффективные решения по энергосбережению в многоквартирных домах.....	56
КОЧЕВАТКИНА Э.Ф., МАЦКО М.Ю.	
Формирование эффективной стратегии современного потребителя энергоуслуг....	60
МАНСУРОВА Р.Р., ДЕНИСЕНКО И.П., ПЕЧЕНЕГОВ Ю.Я.	
Исследование эффективности использования шнековой вставки для интенсификации теплообмена.....	64
ПЕЧЕНЕГОВ Ю.Я., БОГАТЕНКО Р.В., ДЕНИСЕНКО И.П., ГРАЧЕВА Ю.А.	
Энергосберегающий способ работы паровых теплообменников.....	68
САМСОНОВ А.В.	
К планетарной модели гелиоподобного атома.....	71
СЕМАКИН В.А., ВАНДЫШЕВА А.А.	
Применение подогревателей низкого давления по АЭС.....	75

СЕКЦИЯ 2

«ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

КИРЕЕВ Е.А.	
Условия работы конструкционных материалов в атомных энергетических установках в контакте с первичным контуром.....	79
КУДАШЕВА И.О., ЗАЙНИЕВ В.О.	
Основные показатели эксплуатационной надежности прецизионных деталей.....	81
МОСТОВОЙ В.Д., БИРЮКОВ В.П.	
Адаптивная система управления ступенчатым процессом врезного круглого шлифования.....	85
ПАНКРАТОВА Ю.С.	
Энергосберегающие технологии в промышленности.....	91
РАЗУВАЕВ А.В.	
Техническое предложение по повышению эффективности энергетической установки с реактором типа ВВЭР.....	94
РАЗУВАЕВ А.В., КИРЕЕВ Е.А., АКИНФИЕВА А.А.	
Анализ свойств материалов, применяемых в ядерных энергетических установках, при их эксплуатационных параметрах.....	97

РАЗУБАЕВ А.В., КОСТИН Д.А.

Точка безубыточности при определении эффективности газопоршневой мини-ТЭЦ..... 100

РАЗУБАЕВ А.В., КОСТИН Д.А., СЕМИН Д.С.

Анализ возможного способа повышения количества водорода в компенсаторах давления..... 104

СЕКЦИЯ 3

«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

МЕЛАНИЧ В.М., КОПИЛОВ В.А.

Аддитивные технологии в строительстве..... 108

МЕЛАНИЧ В.А., РЕМИЗОВА Л.А., ЧЕСНОКОВ Н.Д.

Композитные материалы для аддитивных технологий..... 112

ПАНКРАТОВА Ю.С.

Материаловедческие исследования трубного пучка парогенератора ОПГ-1 реактора БОР-60..... 116

РАЩЕПКИНА С.А., РАЩЕПКИНА А.А.

Стальные резервуары из сборных элементов для объектов атомной энергетики..... 118

РАЩЕПКИНА С.А.

Экспериментальные исследования металлического полого элемента на моделях.... 122

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

СЕКЦИЯ 1

«ИННОВАЦИИ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ
И ПРАКТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

УДК 620.92

Современные технологии солнечной энергетики

Галяутдинова Р.Р., студентка магистратуры, кафедры «Ядерной физики»
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Дмитровград

Фотоэлектрические батареи являются самой простой, надежной и экономически выгодной системой получения солнечной электроэнергии. Фотоэлектрические панели являются основой для создания фотоэлектрических энергосистем. Панели собираются из отдельных элементов, чаще всего из кремния – монокристаллического, поликристаллического или аморфного. Толщина полупроводниковых слоев составляет не более двух или трех десятых миллиметра.

Произведенный электрический ток проходит через инвертор, после чего может использоваться для питания чего угодно, от тостера до ТВ или электромобиля.

Использование фотоэлектрических панелей – проверенная годами, надежная технология, отсутствие в их конструкции подвижных частей обеспечивает безаварийность и долгий срок службы. Фотоэлектрические панели не требуют затратного обслуживания, достаточно периодически очищать поверхность батарей.

В жилых районах панели обычно устанавливаются на крышах, но вполне возможна и их установка на земле, при условии ее доступности, например, в сельских, пустынных или любых удаленных районах большая часть приборов различных служб работает именно от фотоэлектрических батарей при условии подходящих климатических условий.

Эффективность лучших фотоэлектрических панелей при использовании в жилом секторе составляет до 18-19%, что является лучшим показателем в пересчете на единицу доступной для использования площади. С учетом этого, вполне могут образоваться излишки электроэнергии и можно подключить систему к общей сети для продажи

электричества коммунальной компании при условии, что такая услуга поддерживается местными операторами. Таким образом, вложения в солнечную энергетику не только оправдаются, но и вполне могут принести значимую прибыль в долгосрочной перспективе.

Будучи наиболее эффективной из всех, система на фотоэлектрических панелях с применением традиционных кремниевых элементов является самым популярным решением, особенно в городских жилых районах, где площадь крыш, пригодная для установки панелей, обычно ограничена. Кроме того, большинство государств стараются поддерживать развитие гелиоэнергетики, снижая нагрузку на общую сеть и экономя ископаемые ресурсы.

Технология преобразования солнечного света в электроэнергию у тонкопленочных и обычных фотоэлектрических панелей одинакова, однако первые значительно тоньше и гибче обычных за счет полимерной, а не стеклянной подложки. Толщина полупроводниковых слоев данного типа батарей составляет лишь несколько миллионных долей метра, хотя название «тонкопленочные» обусловлено технологией производства и не связано с толщиной элементов.

Тонкость и гибкость тонкопленочных панелей оборачивается их меньшей эффективностью по сравнению с обычными. Полимерная подложка не выносит высоких температур и это оказывает решающее влияние на технологию производства и конечный результат – КПД тонкопленочных панелей составляет всего от 6 до 11%.

По большей части система на тонкопленочных панелях – это решение для больших коммерческих зданий, где имеется значительная поверхность для установки панелей.

Главным преимуществом гибких панелей является их мобильность, по большому счету их можно монтировать в любом месте. Сейчас довольно модно устанавливать тонкопленочные панели на чемоданы, сумки для ноутбуков и другой техники и даже дамские сумочки.

Установка тонкопленочных панелей обойдется дешевле, чем монтаж фотоэлектрических при той же рабочей площади. Однако затраты на получение эквивалентного количества электроэнергии в случае тонкопленочных солнечных панелей выше обычных фотоэлектрических – так как для получения одинакового количества энергии необходима большая рабочая площадь и, соответственно, больше материала и квалифицированного труда монтажников. Таким образом, выбор между этими двумя технологиями зачастую неочевиден, и обуславливается особенностями долгосрочного использования системы.

Массовое производство таких панелей - дело будущего, но их перспективность сложно переоценить.

Ещё один представитель ведущей тройки солнечных энергосистем - термические солнечные панели. Большинство людей при упоминании о солнечной энергетике сразу же представляют себе поля солнечных батарей. Существуют, однако, и другие особи этого весьма ценного семейства устройств, которые, хоть и держатся особняком, но работу свою по преобразованию солнечной энергии выполняют ничуть не хуже других и имеют целый ряд преимуществ.

Термические солнечные панели не вырабатывают электрический ток, но преобразуют солнечную энергию в тепло, которое в дальнейшем может быть израсходовано, в том числе и на производство электроэнергии. Однако самыми популярными сферами применения этих панелей являются нагрев воды и отопление или охлаждение дома. Поскольку в жилых домах для этих целей обычно используются газ, уголь или жидкое топливо в котельных, данная технология позволяет в значительной степени сократить расход ископаемых энергоносителей, стоимость которых, к тому же, сильно возросла за последнее время.

Наиболее популярный вид таких устройств состоит из трубок заполненных водой и термических солнечных панелей. Солнечный свет, проходя через термопанель, нагревает воду в трубках. Существует два основных типа подобных систем: активные и пассивные. В активных используются насосы и контрольные элементы для регулирования нагрева воды.

В пассивных системах температура воды не контролируется, поэтому они могут применяться только в условиях мягкого климата, где отсутствуют риски связанные с экстремальными температурами, то есть замерзание или перегрев. Существуют также солнечные отопительные системы, в которых тепло нагретой воды используется для отопления помещений.

Термические солнечные панели могут стать прекрасным дополнением к фотоэлектрическим солнечным системам. Особенно если в доме расходуется много газа на отопление и нагрев воды. Услуги центральной котельной стоят также недешево, вне зависимости от того, на каком топливе она работает. Газ, уголь, мазут – все они сейчас достаточно дороги. Таким образом, при комплексном использовании, фотоэлектрические системы позволят снизить расход электричества, а термическая система – уменьшить счета за горячую воду и отопление. В сумме это уже почти энергетическая независимость. В зависимости от конкретных условий и нужд, можно подобрать оптимальное сочетание солнечных энергосистем для вашего дома, что позволит сэкономить в перспективе весьма приличные суммы, а может и неплохо заработать на своих вложениях.

Следует также сказать о таких преимуществах термических панелей, как возможность создания на их основе недорогих промышленных установок большой

мощности. В таких установках турбины преобразуют тепло, полученное от термических батарей в электрический ток, а установка водогрейных котлов и аккумулирование получаемого тепла позволяют снизить зависимость системы от погодных условий. Уже двадцать лет назад комбинированные электростанции, работавшие как на термических батареях, так и на ископаемом топливе, вырабатывали больше 80% энергии, получаемой от солнца [2].

И хотя впоследствии отрасль испытала некоторый спад, в последние годы за счет появления новых материалов и технологий, термические системы обрели второе дыхание. Калифорнийская Bright Source Energy уже создала несколько действующих установок и планирует ввести в строй еще 14 крупных гелиоэнергостанций, суммарная мощность которых составит 2,6 ГВт.

Литература:

1. Галяутдинова Р.Р. Использование возобновляемых источников энергии как направление в области защиты окружающей среды // Экология энергетики – 2017: труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов. Москва. 2017. С. 104.
2. Ключков В.В. Управление развитием «зеленых» технологий: экономические аспекты: моногр. М.: ИПУ РАН, 2013. 292 с.

Экономия электроэнергии в жилых домах

Григорьев Даниил Александрович, студент КЭМТ НИЯУ МИФИ

Красноярский электромеханический техникум – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Зеленогорск

Электроэнергия стала неотъемлемой частью нашей жизни. Мы не представляем своего существования без этого блага цивилизации. Что происходит, когда отключают электроэнергию? Жизнь как будто останавливается, отсутствие электричества вызывает чуть ли не панику. Всё, что окружает людей в повседневной жизни и быту так или иначе связано с электричеством, всевозможные приборы и техника работают с применением энергии. Если человек живет в достатке, возникает ли у него вопрос экономии электричества? Скорее всего не у всех. Зачем же экономить электроэнергию? Ограничение использованием электроэнергии существенно отразится на уровне благосостояния людей, отразится на комфорте, а в

отдельных случаях и на здоровье человека.

Экономить электричество нужно для того, чтобы уменьшить вредное воздействие на окружающую среду. Если у вас нет собственной солнечной панели на балконе, значит, вы пользуетесь электричеством от тепловых, атомных или гидроэлектростанций.

Все три варианта наносят вред экологии нашей планеты. Теплоэлектростанции используют уголь, газ или нефть, то есть невозобновляемые запасы полезных ископаемых, и выбрасывают углекислый газ в атмосферу. В случае с атомной электростанцией проблема заключается в тех радиоактивных отходах, которые еще не научились перерабатывать так, чтобы сделать их абсолютно безопасными для окружающей среды. Даже гидроэлектростанции, которые получают электричество за счет энергии падающей воды, вредят экологии: их строительство приводит к затоплению ценных сельскохозяйственных земель, разрушению существующих экосистем, изменению климата. Экономить электроэнергию в квартирах можно различными способами. Сегодня ни одна квартира не обходится без электрических лампочек, которые имеются в каждой комнате. Можно ли на них что-то сэкономить? Конечно, можно, и даже нужно. Выполним расчет затрат на электроэнергию при использовании разных типов ламп. При расчете будем исходить из того, что лампы включены 6 часов в день. Также учтем, что одна компактная люминесцентная лампа в 23 Вт примерно соответствует по светоотдаче лампе накаливания в 100 Вт, а светодиодная в этом случае должна быть мощностью 13 Вт. В приведенной ниже таблице 1 приведен расчет и сравнение различных типов ламп.

Таблица 1

Расчет энергоэффективности различных типов ламп

Наименование	Срок службы	Затраты на электроэнергию из расчета 1 кВт час = 3 руб. (для домов с газовыми плитами). Работа в течение 8 000 часов	Затраты на электроэнергию из расчета 1 кВт час = 2 руб. (для домов с электроплитами). Работа в течение 8 000 часов
Лампа накаливания (100 Вт), цена 30 руб.	1000 часов (1000/6 = 166 дней, т. е. около полугода)	100 Вт = 0,1 кВт; 0,1 кВт × 8000 часов × 3 руб./кВтч = 2400 руб.	100 Вт = 0,1 кВт; 0,1 кВт × 8000 часов × 2 руб./кВтч. = 1600 руб.
Лампа компактная люминесцентная (23 Вт), цена 200 руб.	8000 часов (8000/6 = 1333 дней, т. е. 3,5 года)	23 Вт = 0,023 кВт; 0,023 кВт × 8000 часов × 3 руб./кВтч = 552 руб.	23 Вт = 0,023 кВт; 0,023 кВт × 8000 часов × 2 руб./кВтч = 368 руб.
Лампа светодиодная (13 Вт), цена 400 руб.	30000 часов (30000/6 = 5000 дней, т.е. 13,5 лет)	13 Вт = 0,013 кВт; 0,013 кВт × 8000 часов × 3 руб./кВтч = 312 руб.	13 Вт = 0,013 кВт; 0,013 кВт × 8000 часов × 2 руб./кВтч = 208 руб.

Денежная экономия на работу компактной люминесцентной лампы по сравнению с лампой накаливания – более 4 раз, а на работу светодиодной лампы – более 8 раз. Лампы

накаливания стоят значительно дешевле, но и срок их службы по сравнению с другими типами ламп невелик. За 3,5 года, пока работает одна люминесцентная лампа, ламп накаливания придется купить 7 штук, затратив при этом 210 руб. (т.е. столько же, сколько стоит одна КЛЛ). А за 13,5 лет (срок службы светодиодной лампы) лампы накаливания придется менять 27 раз, затратив на их покупку 810 руб. Таким образом, мнение некоторых людей о том, что энергосберегающие лампы стоят дорого, верно только на первый взгляд. На самом деле экономия электроэнергии, а соответственно, денежных средств, при переходе от традиционных ламп накаливания к современным энергосберегающим лампам – очень существенна.

Не обязательно ставить цель – сразу заменить все лампы в квартире, это можно делать постепенно. В качестве примера можно привести квартиру, в которой проживают 2 человека (дом оборудован электроплитами). Заменять лампы начали 4 года назад. Вот как изменялся расход электроэнергии:

февраль 2014 год – 255 кВтч;

февраль 2015 год – 239 кВтч;

февраль 2016 год – 221 кВтч;

февраль 2017 год – 210 кВтч, т.е. -18% по сравнению с 2014 годом.

Электричество можно экономить не только путем рационального использования источников освещения. Ниже приведены основные рекомендации по экономии электроэнергии:

1. Установка двухтарифного счетчика.

Не всем известно, что у нас в стране (как и во многих государствах мира) принята двухтарифная система учета электроэнергии. Она предоставляет жильцам возможность платить за электричество в ночные часы (с 23:00 до 7:00) по тарифу, который в четыре раза дешевле дневного. Если вы – «сова» и ложитесь спать очень поздно, то такое решение позволит вам увеличить экономию средств на электроэнергию.

2. Уходя – гасите свет!

3. Протрите электрическую лампочку от пыли.

Хорошо протертая лампочка светит на 10-15% ярче запыленной.

4. Не оставляйте электроприборы в режиме ожидания

Даже в режиме ожидания бытовые приборы поглощают энергию. Если телевизор постоянно включен в розетку – вы платите 228 рублей в год.

Часы на DVD-проигрывателе обойдутся в 96 рублей, а на музыкальном центре – в 204 рубля. Маленькая «безобидная» зарядка для сотового телефона, оставленная в розетке после того, как телефон зарядился, съедает 144 рубля в год. Прибавьте к этому компьютер и

микроволновку – получится еще 720 рублей. Таким образом, жизнь ваших электроприборов в режиме stand by обойдется вам минимум в 1390 рублей в год.

5. Пользуйтесь бытовой техникой класса А.

Бытовая техника класса А по энергозатратности – самая экономичная. Например, в энергосберегающих моделях стиральных машин автоматически определяется вес загруженной одежды и в соответствии с этим регулируется поступление воды. Благодаря этому воды расходуется меньше и соответственно на нагрев экономия электроэнергии составляет до 40%. При полной загрузке такая машина экономит 0,4 кВт в час. В зависимости от объемов стирки можно сберечь от 500 до 750 рублей в год.

В ходе работы автор убедился, что возможность и целесообразность экономии электроэнергии есть в каждом доме, в каждой квартире, в каждой семье, что и было подтверждено в исследовании, оценив эффективность внедрения энергосберегающих мероприятий, определив способы рационального использования электроэнергии в домашних условиях.

Энергосберегающие мероприятия действительно позволяют экономить энергию, энергетические ресурсы, являются ключом к повышению уровня жизни, сохранению окружающей среды. Эти мероприятия не требуют материальных затрат и зависят только от личной осведомленности и заинтересованности людей.

Экономия электричества – польза не только для кошелька, но и для всей планеты. Чем меньше мы потребляем энергии, тем чище воздух в наших городах.

Литература:

1. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов. – М: Форум, 2009.
2. Стафиевская В.В. и др. Методы и средства энерго- и ресурсосбережения: электронное учебное пособие. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
3. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"
4. Ю.Н. Савенко Экономия энергии - новый энергетический виток // Москва. Изд. Дом Прогресс 2012 г.
5. Афанасьева Е. И., Тульчин И. К. Снижение расхода электроэнергии в электроустановках зданий. – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 224 с.
6. Воробьев Л. А., Стриха И. И. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве БССР. – Мн.: 2013. – 74 с.
7. Цигельман И. Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. М.: Высш. шк., 2012. – 320 с.

Повышение эффективности очистки жидких радиоактивных стоков ионным обменом

Духанин Павел Игоревич, Студент 3го курса НВПК НИЯУ МИФИ;

Нововоронежский политехнический колледж – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Нововоронеж

Переработка жидких радиоактивных сточных вод направлена на решение двух главных задач: очистки основной массы стоков от радионуклидов и концентрирования последних в минимальном объеме.

В настоящее время в атомной промышленности для очистки жидких радиоактивных сточных вод используются ионообменные фильтры с прямоточной регенерацией. Они характеризуются низкими показателями по производительности, эффективности, расходу реагентов (150-300% от стехиометрического) и, самое главное, низким коэффициентом концентрирования. Только на МСП применяются фильтры с условно противоточной регенерацией и фракционированием регенерата. Это позволяет уже почти 5 десятилетий иметь объем отходов от установки ионообменного обессоливания жидких радиоактивных сточных вод на катионите и анионите около 3%.

За последние годы разработано большое число вариантов противоточной регенерации ионообменных смол и созданы специализированные типы ионитов, оптимизированные для такого процесса.

При прямоточной регенерации очищаемый и регенерационный растворы поочередно пропускаются через ионообменную смолу в одном направлении, а при противоточной – в противоположных. При этом очищенный раствор контактирует с наиболее регенерированным ионитом, что обеспечивает максимальное качество очистки, которое незначительно зависит от степени регенерации остальных слоев. Последнее позволяет, при прочих равных условиях, сократить расход регенерирующего агента и объем регенератов.

Основной задачей при создании противоточных фильтров является необходимость обеспечения сплошности слоя и отсутствия его перемешивания при сорбции и регенерации. Это достигается различными методами, которые, как правило, усложняют конструкцию и эксплуатацию оборудования. Поэтому из десятков предлагаемых конструкций в настоящее время крупное промышленное применение нашли только 3 самых отработанных и надежных варианта [1-7]:

1. Фильтры с очисткой воды сверху вниз, а регенерацией снизу вверх и блокировкой слоя ионообменной смолы от расширения подачей сверху воды или воздуха. Такой фильтр состоит из корпуса, верхнего распределительного, среднего сборно-распределительного и

нижнего дренажного устройств. Внутри корпуса находится слой ионообменной смолы высотой 0,5-0,6 от высоты фильтра.

При очистке воды она подается так же, как и в прямоточном фильтре - сверху вниз, распределяется по сечению фильтра верхним распределителем, проходит через слой ионита и через нижнее дренажное устройство выводится из аппарата.

При регенерации, для предотвращения псевдооживления и перемешивания слоев ионита, сверху, противотоком к регенерирующему раствору, подают воздух или блокирующую воду, или регенерат с таким расходом, что бы предотвратить расширение рабочего слоя.

Такие фильтры обеспечивают сокращение до 1,5 раз объема регенератов и расхода реагентов. В них обеспечивается возможность отмывки слоя ионообменной смолы от задержанных взвешенных частиц и измельченных ионитов обычным взрыхлением, что обеспечивает возможность переработки мутных растворов.

Вследствие проблем с прочностью среднего дренажа эти фильтры не получили широкого распространения.

2. Фильтры с очисткой воды снизу вверх, а регенерацией сверху вниз. Разработаны в 60 гг. и предлагается в настоящее время под названиями «Амберпак» и «Пьюропак» [1-3, 7]

Такой фильтр состоит из корпуса (Рис.1), верхнего и нижнего дренажных устройств. Внутри корпуса находится слой ионообменной смолы и специального плавающего инертного материала. Высота слоя ионита составляет около 0,9 от высоты рабочей зоны.

Очистку воды производят при ее подаче снизу вверх (Рис.1а). При этом слой ионообменной смолы поднимается вверх и вместе со слоем инерта прижимается к верхнему дренажу. В нижней части фильтра образуется слой псевдооживленного ионита, который является дополнительным распределителем для воды по сечению фильтра. Этот слой работает с раствором максимальной концентрации и полностью насыщается.

Для стабильной эффективной работы скорость раствора может колебаться от 10-20 до максимальной – 40-50 м/ч. При меньшей скорости слой может оседать и перемешиваться. При эксплуатации этих фильтров нежелательны перерывы в подаче очищаемого раствора.

Регенерация такого фильтра (Рис.1б) отличается от прямоточной отсутствием операции взрыхляющей отмывки от взвесей.

При загрязнении слоя взвесями, обычно нижнего, этот слой выводится из аппарата в специальную безнапорную колонну (Рис. 1в), где и отмывается. После отмывки он возвращается в аппарат.

Наряду с большей эффективностью регенерации ионитов в противотоке, преимуществом такой конструкции является существенно большее количество ионита в

одном корпусе, что позволяет либо увеличить продолжительность фильтроцикла, либо применять фильтры меньших габаритов.

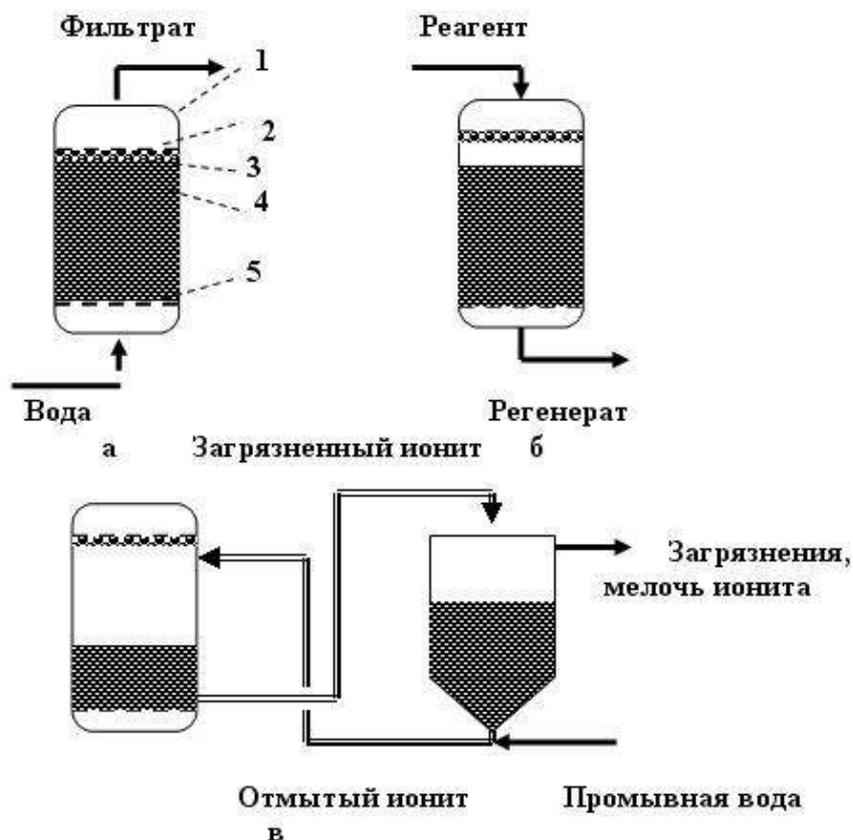


Рис. 1. Принцип работы системы Амберпак и Пьюропак. а- очистка; б- регенерация; в- отмывка ионита от взвесей и измельченных частиц. 1- корпус; 2- верхний дренаж; 3-слой инерта; 4- ионит; 5- нижний дренаж.

3. Фильтры с очисткой воды сверху вниз, а регенерацией снизу вверх, т.н. АПКОРЕ [3-7]. В нем сочетаются удобство фильтрации сверху вниз, большая загрузка корпуса аппарата ионитом с противоточной регенерацией.

Конструктивно (Рис.2) фильтр близок к предыдущему, однако режимы работы различаются принципиально.

Очистка воды производится сверху вниз (Рис.2а) и не вызывает трудностей. При наличии в воде взвесей они задерживаются в верхнем слое сорбента.

Первой стадией регенерации является подъем слоя ионообменной смолы (Рис.2б). Для этого в течение 3-5 минут снизу со скоростью 40-50 м/ч подается очищенная вода. Слой ионита поршнем, без перемешивания, поднимается вверх, вместе с инертном прижимается к верхнему дренажу и уплотняется. При этом из верхнего слоя удаляются задержанные ранее загрязнения и мелкие частицы смолы. Затем скорость уменьшается до 5-10 м/ч и начинается последовательно подача регенерирующего раствора и промывочной воды (Рис.2в). По окончании промывки подача растворов прекращается, и слою дают свободно осесть (Рис.2г). При этом происходит его послойное движение вниз, при котором измельченные фракции

оказываются в верхней части слоя и при следующей регенерации удаляются из него.

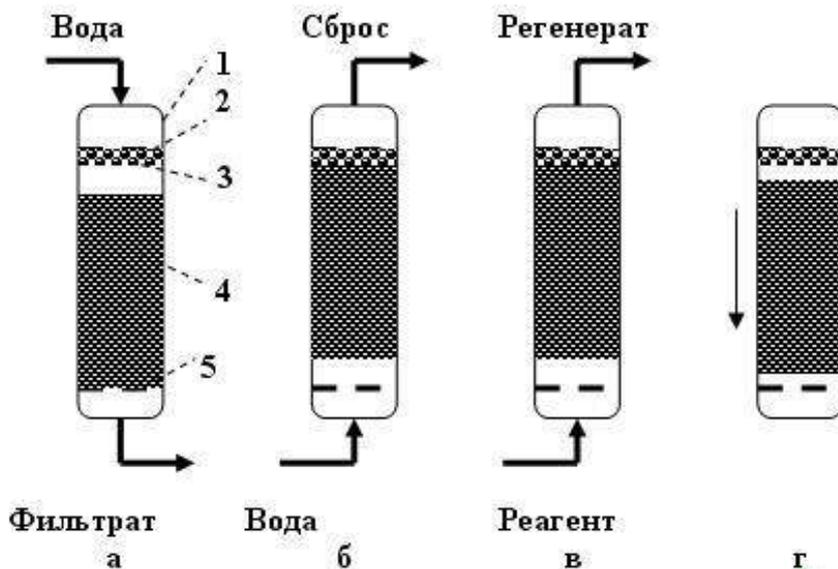


Рис. 2. Принцип работы системы АПКОРЕ. а- режим сорбции; б- подъем слоя и его отмывка от взвесей; в- регенерация; г- осаждение слоя ионита. 1- корпус; 2- верхний дренаж; 3-слой инерта; 4- ионит; 5- нижний дренаж.

Для проведения сравнительных технологических испытаний вариантов противоточной и прямоточной регенерации ионообменных смол «Амберпак» и АПКОРЕ в процессе ионообменного умягчения для удаления из радиоактивных стоков Sr 90 создана опытная установка (Рис. 3).

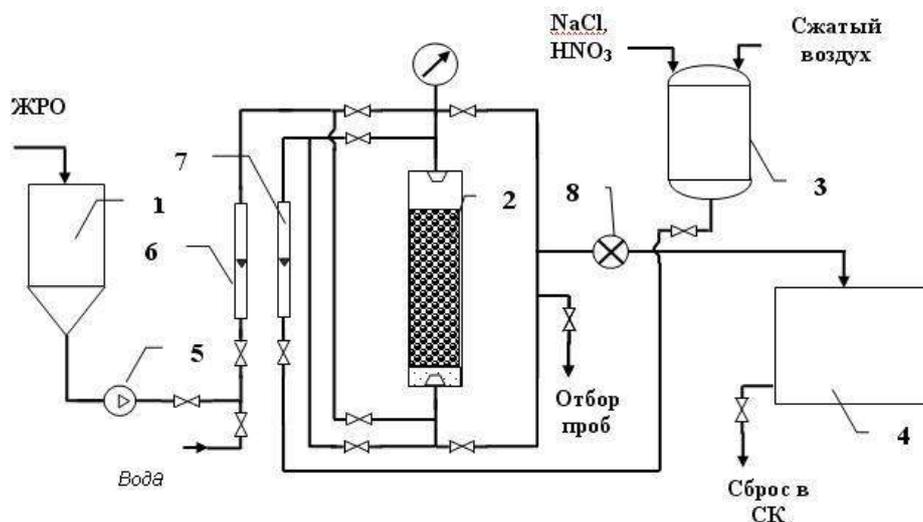


Рис. 3. Установка для исследования и сравнения гидродинамических и технологических характеристик прямоточной и вариантов противоточных регенераций ионообменных смол. 1- емкость для жидких радиоактивных стоков; 2- фильтр диаметром 200 мм; 3- монжюс; 4- сборная емкость объемом 1000 л; 5- насос; 6, 7- ротаметры; 8- водосчетчик.

Вода или радиоактивные сточные воды подаются насосом через ротаметр на фильтр диаметром 200 мм и высотой 900 мм. Для наблюдения за работой фильтра он выполнен из оргстекла. Подача воды, радиоактивных стоков и регенерирующего раствора может производиться как сверху, так и снизу. Этим обеспечивается возможность проведения сорбции и регенерации в прямотоке и в любых известных вариантах противотока. Объем

пропущенных радиоактивных сточных вод контролируется по водосчетчику. Подача регенерирующего раствора производится из монжюса давлением воздуха. Проведенные длительные сравнительные технологические испытания показали, что при производительности фильтра 500 л/ч все они имеют близкие технологические показатели по очистке от солей жесткости. Остаточная жесткость не превышала 0,05 мг-экв/л. При прямоточной регенерации такая жесткость обеспечивалась при расходе соли на регенерацию 120 г/л катионита. В режиме противотока она достигалась при расходе соли 90 г/л катионита.

Наибольшее различие состоит в возможности получения минимального объема регенерата. На рисунке 4 показан вид выходных кривых по солям жесткости для прямоточного (1) и противоточного (2) режимов. Видно, что из-за наличия большой водяной подушки над слоем ионита в прямоточном фильтре происходит существенное разбавление и увеличение объема регенерата. Реальная разница может составить 1,5-2,0 раза. Другим важным преимуществом исследованных вариантов противоточной регенерации является то, что фильтр почти полностью заполнен сорбентом и продолжительность фильтроцикла у них почти вдвое больше.

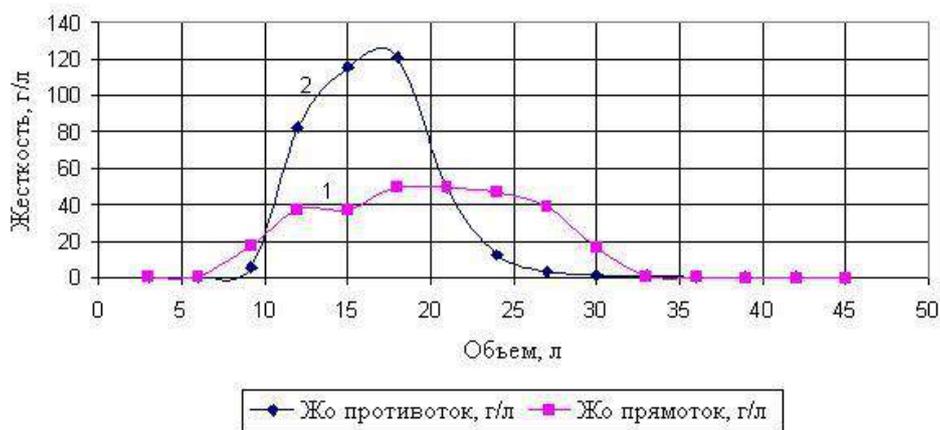


Рис. 4. Выходные кривые жесткости при регенерации в прямоточном (1) и противоточном (2) режимах.

Выбор способа регенерации определяется режимом работы установки. При частых остановках подачи раствора и при наличии в питающей воде взвесей, что характерно для установок очистки радиоактивных сточных вод, предпочтительнее «АПКОРЕ». Этот способ регенерации обеспечивает максимальное заполнение сорбентом объема фильтра (примерно 90%), т.е. его высокую емкость, высокое насыщение ионита, минимальный проскок радионуклидов в фильтрат при высокой степени регенерации минимальным количеством регенерирующего агента (120-150% от стехиометрического), и при минимальном объеме регенерата. При фракционировании регенерата удастся получить существенно больший коэффициент концентрирования, чем при прямоточной регенерации.

Исследования экспериментального фильтра диаметром 700 мм в процессе умягчения

ЖРО с производительностью до 10-12 м³/ч показало, что при степени умягчения более 100 и соответствующего коэффициента очистки по Sr 90, объем регенератов составил не более 0,5%.

В тех случаях, когда в воде содержится набор разных радионуклидов, они могут быть удалены обессоливанием воды ионным обменом на катионите в Н-форме и анионите в ОН-форме. Степень очистки от радионуклидов близка к степени удаления макрокомпонентов раствора.

Традиционное применение сильнокислотных катионитов для извлечения радионуклидов требует использования большого избытка кислоты на стадии регенерации (200 – 300% по сравнению с теоретическим значением). Вследствие этого образуется значительное количество кислых регенератов, требующих нейтрализации. Это существенно увеличивает объем отходов.

Перспективным способом решения этой проблемы представляется использование послойного размещения в фильтрах сильнокислотных и слабокислотных катионитов нового поколения [8].

Слабокислотные катиониты (СлКК) – это иониты, в роли функциональных групп которых выступают слабодиссоциирующие, например карбоксильные COO - группы. Они имеют следующие преимущества: повышенную обменную емкость - порядка 2000 мг-экв/л, высокую селективность по отношению к ионам поливалентных металлов, легкость десорбции поглощенных ионов кислотами, а следовательно и регенерации практически в стехиометрии, без избытка кислоты. Вследствие этого отработанные регенерационные растворы нейтральны, а их объем может быть минимален [9].

Однако слабокислотные катиониты в Н-форме не извлекают из раствора ионы Na⁺ и K⁺, а удаляют только ионы жесткости, причем не полностью, а в количестве, эквивалентном бикарбонатной щелочности воды (Рис. 5б).

На рисунке 5 показано, как изменяется состав воды при последовательном прохождении через слабокислотный и сильнокислотный катиониты.

Поэтому для обеспечения заданной степени очистки ЖРО, раствор после очистки на слабокислотном катионите необходимо дочистить от ионов Na⁺ и K⁺, а также остаточного количества солей жесткости на сильнокислотном катионите. Так как в реальных водах количество ионов жесткости сильно превышает количество ионов натрия, то частично умягчая воду на СлКК, можно резко (в 2-5 раз) сократить нагрузку на СиКК, и следовательно, снизить количество реагентов и объем вторичных отходов.

Для очистки жидких радиоактивных сточных вод целесообразно использовать послойное размещение слабокислотного и сильнокислотного катионитов в одном фильтре с

противоточной регенерацией типа АПКОРЕ. Это упрощает аппаратурно-технологическую схему и позволяет минимизировать объем отходов.

Для разработки технологии очистки ЖРО посредством комбинации слабо- и сильнокислотных катионитов необходимо решить следующие задачи: отработать методики выбора характеристик ионитов, обеспечивающих их стабильное послойное размещение в фильтре, отработать методы расчета и оптимизации количества каждого из них, выбрать оптимальные условия реализации процесса, разработать аппаратурное оформление.

Нами была проведена серия экспериментов по снятию динамических кривых сорбции и регенерации на слабокислотном катионите PUROLITE C-105. Объем загрузки смолы составлял 1л, производительность установки - 20 л/ч. Сорбция осуществлялась катионитом в Н-форме на модельном растворе – водопроводной воде. Жесткость исходной воды составляла 4,7 - 4,8 мг-экв/л, щелочность – 3,5 – 3,8 мг-экв/л. До полного насыщения через катионит проходило до 2000 колоночных объемов. На рисунке 6 изображена выходная кривая сорбции. Видно, что повышение концентрации солей жесткости начинается примерно через 500 колоночных объемов. В нашем случае это не критично, т. к. после слоя слабокислотного катионита фильтрат будет доочищаться, проходя через слой сильнокислотного катионита.

Остаточная жесткость фильтрата до проскока около 1 мг-экв/л, поскольку слабокислотный катионит удаляет ионы жесткости в количестве, эквивалентном щелочности. В нашем случае разница между общей жесткостью и щелочностью составляет как раз 1. Обменная емкость катионита в разных циклах сорбции в зависимости от режима регенерации достигала 2 – 4 г-экв/л (в данном случае она составила 3,5 г-экв/л).

Была исследована зависимость величины обменной емкости и вида выходной кривой от режима регенерации. Регенерация катионита осуществлялась азотной кислотой с концентрацией 2Н в прямотоке. По результатам экспериментов было выявлено, что для достижения обменной емкости катионита 2 – 3 г-экв/л достаточно проводить регенерацию 5%-ным избытком кислоты от теоретического расхода. При этом регенерат на выходе практически нейтрален. Кривая регенерации таким избытком приведена на рис. 7.

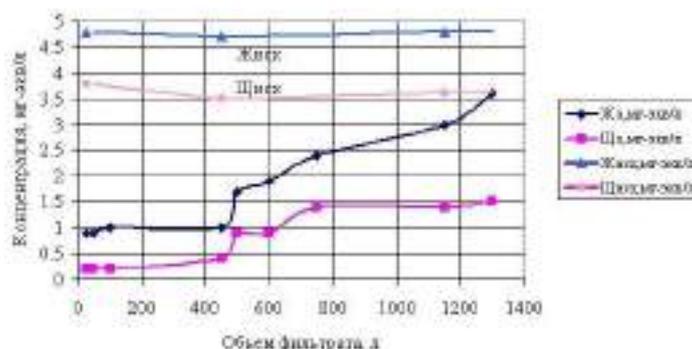


Рис. 6. Изменение жесткости и щелочности фильтрата в цикле сорбции.

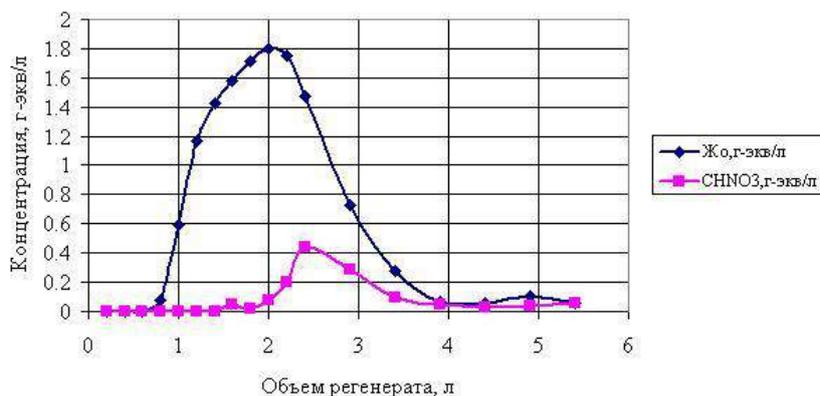


Рис. 7. Выходная кривая регенерации слабокислотного катионита PUROLITE C-105 азотной кислотой

На рисунке 8 изображен фильтр с послойным расположением слабокислотного и сильнокислотного катионитов.

Фильтрация раствора осуществляется сверху вниз, сперва через "слабый" катионит, при этом удаляются ионы жесткости, эквивалентные щелочности, затем через "сильный" катионит, при этом фильтрат доочищается от оставшихся катионов. Из раствора вместе с макрокомпонентами удаляются все соответствующие им радионуклиды.



Рис. 8. Схема послойного расположения слабокислотного и сильнокислотного катионитов в одном аппарате

Регенерация осуществляется азотной кислотой снизу вверх в режиме АПКОРЕ. При этом регенерационный раствор проходит последовательно слой сильнокислотного катионита, восстанавливая его емкость, а затем слой слабокислотного катионита. Емкость сильнокислотного катионита восстанавливается за счет неизрасходованного избытка кислоты, прошедшего через нижний слой сильнокислотного катионита. При этом количество кислоты, прошедшее через нижний слой сильнокислотного катионита составляет, как минимум 200-300% от стехиометрического.

Разработана методика расчета соотношения объемов слабокислотного и сильнокислотного катионитов при их послойном расположении, исходя из условия минимального расхода регенерационного раствора, необходимого для полного

восстановления обменной емкости обоих слоев.

Для реализации послойной загрузки смол в одном аппарате необходимо подобрать определенный гранулометрический состав ионитов, исключая их перемешивание.

С этой целью была проведена серия экспериментов по определению гидравлических характеристик различных марок катионитов. Были получены кривые псевдооживления тринадцати марок катионитов фирм PUROLITE, ROHM AND HAAS и DOW CHEMICAL, как давно выпускаемых, так и принципиально новых - моноферных.

На рисунке 9 изображены кривые псевдооживления слабокислотного катионита марки MAC – 3 LB (специальный рассев для наложенных слоев) и сильнокислотного катионита марки C – 100 в H⁺, Na⁺ и Ca²⁺ - формах. Как видно, что имеются существенные различия в степени расширения слоя для самого легкого C – 100 в H⁺ и самого тяжелого MAC – 3 LB в Ca²⁺ - формах. При таком выборе "слабой" и "сильной" смол можно ожидать хорошее разделение слоев.

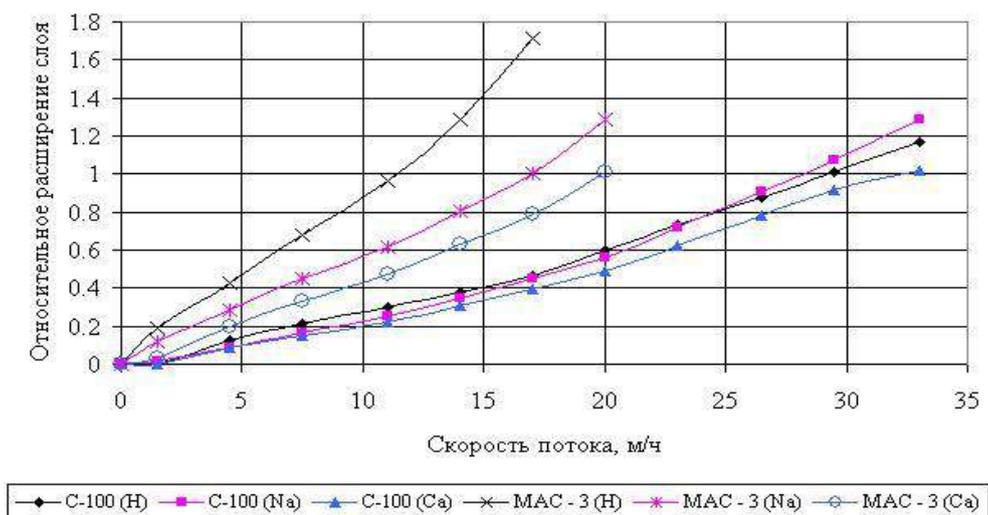


Рис. 9.0 Кривые псевдооживления слабокислотного катионита MAC – 3 LB и сильнокислотного катионита C – 100 в H⁺, Na⁺ и Ca²⁺ - формах

Проведенные исследования показывают, что применение противоточной регенерации ионообменной смолы, особенно совместно с использованием послойно загруженных слабокислотного и сильнокислотного катионитов, позволяет существенно повысить эффективность, экологичность и экономичность процесса ионообменной очистки жидких радиоактивных стоков.

Добыча золотого концентрата при сжигании угля

Евдокимов Михаил Андреевич, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»,
Вандышева Анна Александровна, старший преподаватель кафедры «Атомная энергетика»

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

Группа российских ученых с Дальнего Востока научились добывать золото из угля. Установка, прототип которой уже создан учеными, будет способна извлекать до одного грамма золота из каждой тонны сжигаемого твердого топлива.

С помощью установки планируется очищать дым от сгоревшего угля. Примеси сначала вымываются водой, а затем улавливаются фильтрами, из которых впоследствии извлекают золотоносный концентрат.

Новая технология, если ее удастся раскрутить, принесет, как минимум, двойную пользу. Уголь будет гореть не зря. Установки по получению (извлечению, как говорят химики) золота планируется поставить на муниципальные котельные областного центра — города Благовещенска. Так что угольный дым станет подвергаться очистке уже после того, как сам уголь послужит делу обогрева жилищ. А вот улавливание и фильтрование этого самого дыма немало послужит экологии: городской воздух станет чище.

Золото содержится именно в дальневосточных углях — поскольку в землях Дальнего Востока рассеяно много обоих полезных ископаемых.

Содержится золото также, например, в некоторых углях Красноярского края или Саяно-Партизанского месторождения на севере Алтая.

Ввиду малой калорийности бурого угля, его тонна стоит-таки дешевле грамма золота. Но все равно, жечь уголь только ради этого никто не собирается.

Принцип работы установки состоит в следующем: дым проходит через большую трубу – струбер – и встречается с потоками воды, которая распыляется под сильным давлением специальными форсунками, - рассказал эксперт. - Идет увлажнение дыма, снижение его температуры, разрушение устойчивости всех его соединений. Они выпадают в осадок и уносятся с водой в систему фильтров. Сера, азот и углерод несутся в виде газов. Вода при орошении дыма связывает эти газы [1-2].

Потом фильтры из активированного угля со всем букетом задержанных ими веществ будут свозиться на областные аффинажные заводы, где из них уже доизвлекут

действительно золото.

Стоит остановиться на муниципальных котельных, потому что в этом случае установка не будет слишком дорогой: её стоимость будет сопоставима со стоимостью самой котельной. В таблице 1 представлены результаты эксперимента, с пробой угля Райчихинского месторождения Амурской области [1-2].

Экологические результаты таковы: успешно нейтрализовано 100% сернистых газов, более 75% оксидов азота, а углерода — чуть более 25%.

То есть, если в одной тонне угля содержится до одного грамма золота, а маленькая муниципальная котельная, которая отапливает посёлок на 5-10 тыс. человек, сжигает за сезон 8-10 тыс. тонн угля, это около 10 тыс. граммов — или почти 10 килограммов золота.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Содержание золота в угле, г/г	Содержание золота в золе, г/г	Извлечение золота в воду, %	Извлечение золота на сорбент, %
53	0,2	15	58

Ниже представлена динамика цен на уголь и золото за период 3 месяца. Цена на золото в рублях за грамм рассчитывается Центральным банком России ежедневно (рис.1) [3]. Цена на уголь представлена в USD (рис.2) [4].

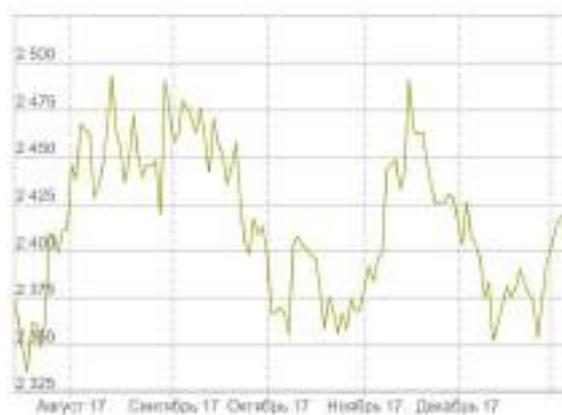


Рис.1. График динамики цен на золото за 3 месяца [4]



Рис.2. График динамики цен на уголь за 3 месяца [3]

Около 100 вагонов угля ежедневно сжигают в печах ТЭЦ Благовещенска. В самые холодные месяцы для обогрева города необходимо не менее шести тысяч тонн топлива в сутки.

Разгрузить такой вагон, оказалось, пара пустяков. Одно нажатие клавиши, и 65 тонный вагон пуст. На разгрузку уходит в среднем 10 минут, а 65 тонн топлива Благовещенской ТЭЦ хватает всего на 15 минут работы. Летом одного вагона хватает почти на час.

Потребление угля на тепловых электростанциях РФ до 2030 года может возрасти по сравнению с 2013 годом в 1,6 раза, до 150 млн. тонн.

Согласно прогнозу, к 2020 году потребление угля электроэнергетикой возрастет с 92 млн. тонн в 2013 году до 119 млн. тонн, к 2025 году - до 129 млн. тонн, к 2030 году - до 150 млн. тонн.

В Амурской области уголь насыщен золотом, серебром, платиноидами, а также цветными и другими металлами. Фактически, сжигая бурые угли, мы выбрасываем в атмосферу множество полезных компонентов. Поэтому геологи уверены: просто так сжигать уголь неэффективно, но попутное выделение золота из продуктов сжигания угля может быть высокорентабельным.

Литература:

1. Пат. 2471008 Российская федерация. МПК С22В 11/00. Способ извлечения золота из золотосодержащего природного сырья / Шпирт М.Я., Лавриненко А.А., Рубан А.Д., Рашевский В.В., Артемьев Б.В.; заявитель и патентообладатель Шпирт М.Я., Лавриненко А.А., Рубан А.Д., Рашевский В.В., Артемьев Б.В.. - №2010150498/02; заявл. 09.12.2010; опубл. 27.12.2012, Бюл. №36

2. Пат. 2249054 Российская федерация. МПК С22В 11/00, С22В 1/04. Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья / Кузьминых В.М., Чурсина Л.А., Савченко И.Ф.; заявитель и патентообладатель Амурский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук. - №2003129942/02; заявл. 08.10.2003; опубл. 27.03.2005, Бюл. №9

3. Динамика цен на золото [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gold.investfunds.ru/indicators/224/>. (Дата обращения 20.12.2017)

4. Динамика цен на уголь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.finanz.ru/birzhevyue-tovary/ugol-cena/>. (Дата обращения 08.01.2018)

Обзор ветроэнергической установки

Елистратова Анна Олеговна, студентка направления «Теплоэнергетика и теплотехника»

Кроха Анна Михайловна, студентка направления «Теплоэнергетика и теплотехника»

Устинов Николай Андреевич, к.т.н., доцент кафедры "Атомная энергетика"

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

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) - предполагает совокупность взаимосвязанного оборудования и построек, рассчитанный с целью преобразования энергии ветра в другие виды энергии (электрическую, механическую, тепловую и т. п.). Состоит из ветродвигателя, системы передачи ветровой мощности на нагрузку и самого потребителя ветровой энергии.

В зависимости от назначения электрические ВЭУ постоянного тока подразделяют на ветрозарядные, гарантированного электроснабжения потребителя, негарантированного электроснабжения. Гибридные, автономные, которые работают с параллельной энергосистемой соизмеримой мощностью, сетевые, которые работают с мощной энергий системой - все это электрические ВЭУ переменного тока.

Таблица 1

Обороты ветроколеса в зависимости от скорости ветра

Обороты ветроколеса в зависимости от скорости ветра, диаметра и быстроходности (об/мин)													
Диаметр ветроколеса	2	Скорость ветра м/с											
Ветроколесо	Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-лопастное	9	86	172	258	344	430	516	602	688	774	860	946	1032
2 лопастное	7	67	134	201	268	334	401	468	535	602	669	736	803
3-лопастное	5	48	96	143	191	239	287	334	382	430	478	525	573
6-лопастное	3	29	57	86	115	143	172	201	229	258	287	315	344
12-лопастное	1,2	11	23	34	46	57	69	80	92	103	115	126	138

Меньшее количество лопастей служит большим оборотам, если ширина у того и другого ветроколеса одинаковы; то есть, число оборотов тем больше, чем меньше общая поверхность лопастей, образующих ометаемую поверхность [2].

Самый быстроходный ветрогенераторов - однолопастной, это мы видим в приведенной таблице 1. Но его сложнее построить практически, т. к неизбежно возникнут биения на валу, к которому крепится лопасть и ветроустановка может быть разрушена[1].

Ветрогенераторы, которые имеют одну лопасть, а так же противовес называются

однолопастные. Они выполняют роль балансирующего механизма. Плюсом этих роторов является их высокая скорость вращения с помощью более низкого момента инерции. Это помогает использовать в их схеме прямоприводные синхронные электрогенераторы, которые рассчитаны на более высокие обороты вращения, имеющие меньшие массогабаритные размеры. Кроме этого, ротор этой конструкции имеет более низкую стоимость за счет уменьшения числа лопастей [3].

В настоящее время рынок предлагает огромное количество моделей электродвигателей и постоянного, и переменного тока разной ценовой категории [4].

Например, двигатели постоянного тока SLT 130-й серии, производства KHP;

Напряжение: 6 – 36 В

Ток: 0,01 - 6,5А

Мощность: 5 - 300 В

Скорость: 3000 - 10000 об/мин

Цена: 0,2 – 5 US \$

Или двигатели другой компании, тоже KHP BLDC, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Обзор моделей электродвигателей

Тип	U, В	W, Вт	Кр.мом., N.m	n, об/мин.	I, А	диам.,мм.	Вес, г
BC601520S12	12	15	0.072	2000	1.56	59	800
BC601520S24	24	15	0,072	2000	0,78	59	800
BC603020S12	12	30	0,143	2000	3,13	64	900
BC603020S24	24	30	0,143	2000	1,56	64	900
Цена: 1- 100 US \$							

Таким образом, была рассмотрена зависимость оборотов антрополога в зависимости от скорости ветра, производится анализ однолопастных и многолопастных ветрогенераторов.

Литература:

1. Янсон Р.А Ветроустановки изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва, 2007 – 20-23 с.
2. Рензо Д.Де, Зубарев В.В. Ветроэнергетика Энергоатомиздат Москва, 1982 - 25-29, 160-164 с.
3. Фатеев Е.М. Ветроустановки и ветродвигатели Москва, 1948 - 79-81, 90-92, 482, 496-497 с.
4. [Электронный ресурс],- <https://ru.wikipedia.org/>

Перспективы создания балконных модульных ветроэлектростанций

¹ Калашников Артемий Евгеньевич, ученик 9 класса;

² Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Атомная энергетика»

¹ МАОУ «Лицей №1», г. Балаково;

² Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Балконные модульные ветроэлектростанции (БМВЭ-станции) – полностью автономные ветряные электростанции модульного типа малой мощности (с выработкой электроэнергии в пределах 3,0-15,0 кВт/ч) бытового назначения с возможностью их размещения и монтажа на открытых площадках при помещениях объектов жилого или коммерческого назначения. В частности, балконах, крышах, верандах, прилегающих территориях. Они в состоянии обеспечить покрытие энергозатрат любых бытовых приборов на основе использования неисчерпаемой энергии ветра путем преобразования ее в переменный электрический ток. Наличие в системе БМВ модулей позволяет изменять мощности установки с учетом изменения текущих потребностей в электричестве, что делает их эксплуатацию максимальной удобной и эффективной.

Балконные модульные ветроэлектростанции (БМВЭ-станции) являются надежными, компактными, доступными источниками электрической энергии для нужд домашних хозяйств и организаций малого бизнеса, особенно для тех, которые расположены в удаленных от основной коммуникационной инфраструктуры местах, где поблизости отсутствуют общие электросети. В связи с чем в ряде случаев целесообразно принять решение о приобретении и установке БМВЭ-станции, поскольку строительство магистралей линий электропередач (ЛЭП) несопоставимо в части затрат финансовых и иных ресурсов (оно значительно дороже и дольше).

В настоящее время БМВЭ-станции выступают одним из основных альтернативных источников энергии, обеспечивающим энергонезависимость и имеющим комплекс обоснованных экономических и экологических предпосылок для его развития в ближайшей и будущей перспективе. Поэтому уже сейчас следует обратить внимание на необходимость более широкого распространения ветроэлектростанций (ВЭС) в целом и компактных БМВЭ в частности, в нашей стране. Тем более, что за рубежом эта отрасль энергетики имеет

значительно больший удельный вес в общей системе энергоснабжения.

Разнообразие подходов к формированию конструктивной и эффективной сторон работы систем современных ВЭС позволяет нам представить их в виде классификации [1].

Ветряные электростанции даже небольшой мощности способны с разной степенью эффективности использовать и преобразовывать энергию силы ветра в электричество. При этом – что является наиболее ценным фактором – их применение представляется возможным даже в регионах с недостаточной силой ветра для промышленного использования данных источников энергии (рабочая позиция большинства ВЭС начинается с 3-4 м/с, а отдельных моделей – даже с 1м/с). Однако целесообразность работы ветростанций начинается с силы ветра от 4м/с, а максимальный КПД – с 9-12 м/с.

Тем не менее, ВЭС успешно могут покрыть сравнительно небольшие потребности в электроэнергии жилых помещений, частных хозяйств и малых предприятий (согласно статистике они составляют 500-1500 кВт/месяц).

Таблица 1

Классификация ветроэлектростанций в зависимости от критериев оценки

Критерий сравнения	Виды ветроэлектростанций
В зависимости от оси вращения	Горизонтальная
	Вертикальная
В зависимости от типа лопастей	Карусельный
	Барабанный
	Роторный (винтовой)
В зависимости от количества лопастей в ветродвигателе	Однолопастные
	Многолопастные
В зависимости от устройства ветровых колес	Тихоходные (малоходные)
	Быстроходные
В зависимости от коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ)	Менее эффективные (от 6,0 до 18,0%)
	Более эффективные (до 42,0%)
	[Теоретически идеальный ветряк - 70%]
В зависимости от полезной мощности ветродвигателя	Менее мощные (КПД до 0,7)
	Более мощные (КПД до 0,8-0,9)
В зависимости от количества ветродвигателей в комплексе ветроэлектростанции	Одиночный ветродвигатель
	Мультимоторная система
В зависимости от принципа использования выработанной электроэнергии	Линейные (мобильные) движители
	Циклические (неподвижный корпус)

Другим ценным фактором для обоснования развития промышленной и бытовой ветроэнергетики является минимизация экологической нагрузки на окружающую среду и сохранение природы при их работе. Эти аргументы определяют возрастающую актуальность использования энергии ветра, заменяющей традиционно распространенные виды энергии, что также было предсказано многими учеными еще в середине XX века, например,

В. Вернадским: «Прогнозируется, что подобные альтернативные источники энергии будут применяться все шире, .. пока окончательно не вытеснят .. энергетику, основанную на органическом топливе».

Таким образом, положительный экономический и экологический эффект от применения ветровых электростанций основывается именно на преобразовании энергии перемещения атмосферных масс непосредственно в электричество. Это, в свою очередь, гарантирует стабильное и качественное энергоснабжение, как минимум, некрупных объектов: коттеджей, частных домовладений, отдельных помещений, предприятий малого бизнеса, в том числе, мелких либо удаленных поселений, а также поселений, находящихся в труднодоступных местах. При этом именно БМВ являются не только альтернативной формой вырабатывания электрической энергии, но и альтернативным способом достижения достаточно быстрого срока окупаемости вложенных денежных средств 3-7 лет (при хорошей рентабельности работы – в среднем в 2 раза дешевле, чем энергия ТЭЦ) в процесс энергоснабжения заданного объекта.

Дополнительный экономический эффект дает:

- а) упрощение схемы управления ветроэлектростанцией (бытовой уровень),
- б) возможность работы ВЭС в автоматическом режиме без привлечения обслуживающего персонала, т.е. без лишних затрат на оплату труда.

относятся аккумуляторы (резервные накопители постоянного тока) и полупроводниковые выпрямительные установки (преобразователи постоянного тока в переменный ток).

Среди всех разновидностей ВЭС для бытовых нужд особого внимания заслуживают ветроэлектростанции модульного типа с круглогодичным циклом действия и имеющие малые габариты конструкции (мы будем называть их БМВЭ-станции). Они представляют наибольший интерес как самые универсальные и удобно комплектуемые энергетические установки в целях получения альтернативного источника питания электрической энергией для бытовых приборов.

Для расчета необходимого количества модулей БМВЭ-станции следует учесть:

- 1) расчетную (прогнозируемую, максимально необходимую) мощность;
- 2) количество ветряных дней в году по данной местности;
- 3) особенности расположения ВЭС на конкретной местности и месте;
- 4) рыночные цены на ветроустановки и стоимость их монтажа.

По расчетам ресурсобеспечивающих организаций, средняя потребность квартиры составляет 500-1000 кВт в месяц, потребность дома – 1000-1500 кВт в месяц. В этих целях применяются БМВЭ-станции малой мощности 3-5 кВт [2].

Наиболее оправданной установка и монтаж БМВЭ-станции является в специально отведенных нишах на балконах в многоквартирных домах либо на верандах индивидуальных построек в стационарной позиции, не создающей особых неудобств в плане занимаемой площади и производимого шума.

Монтаж и расположение модулей БМВЭ-станции необходимо осуществлять, по возможности, с учетом направления ветра (лопасти должны быть перпендикулярны встречному ветровому потоку), с максимальным захватом ветрового потока. Укреплять платформу следует посредством бетонирования либо жесткого крепления, обеспечивая отсутствие препятствий вблизи работы лопастей каждого модуля.

Расходы на приобретение бытовых ветростанций зависят от организации-производителя, технических характеристик и стоимости комплектующих элементов при изготовлении собственными силами:

- 3-10 тыс. рублей – составят затраты на изготовление бытовой ветростанции своими руками, которые находятся в зависимости от выбора дополнительных устройств (стоимости аккумулятора, приборов для измерения отдельных параметров, материалов

Отдельным преимуществом такой энергетической установки станет не только самостоятельно определенная стоимость ее изготовления, но специально рассчитанные параметры полной комплектации БМВЭ-станции и каждого ее модуля.

Таким образом, как показали наши исследования, балконные модульные ветряные электрические станции (БМВЭ-станции), имеющие габариты простого бытового устройства и занимающие нежилое пространство квартиры или дома, позволяют обеспечить такие важные для жизнедеятельности потребности, как:

- энергонезависимость объекта от общей энергосети;
- бесперебойность подачи электроэнергии в экстренных случаях;
- снижение расходов на оплату энергоресурсов;
- возможность выработки электричества в удаленных от коммуникаций местах.

Все это подтверждает актуальность разработки теоретической концепции, необходимой для формирования отдельного направления - альтернативных источников электрической энергии малой мощности бытового назначения, а также для ее дальнейшего практического внедрения.

Литература:

1. Шепелев А.О., Артамонова Е.Ю. Классификация современных ветроэнергетических установок по мощности//журнал «Молодой ученый», №17 (121), сентябрь 2016г.

2. Средний расход электроэнергии в квартире/http.www. Показатели, дата обращения 07.12.2017г.

УДК 336.67

Инновационные подходы повышения финансовой устойчивости энергетических предприятий

Карпова Алла Викторовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление на предприятиях»;

Коптева Валерия Сергеевна, студентка 4-ого курса направления «Менеджмент

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

В условиях рынка основой стабильности любого предприятия является ее финансовая устойчивость, которая зависит от финансового состояния предприятия как конечного результата его хозяйственной деятельности, и дает возможность предприятию быстро окупить вложенные средства [1, с.64].

Объектом исследования является ООО «Газпром теплоэнерго Вольск», предприятие по выработке и реализации тепловой энергии в городе Вольск и районе. Главная миссия Общества – обеспечение жителей города Вольска теплом и горячей водой, расширение сферы деятельности за счет подключения новых потребителей тепловой энергии, завоевание лидерских позиций в городе и районе путем достижения высокого качества услуг.

Успешность деятельности предприятия в современных условиях определяется факторами внешней и внутренней среды. Проведенный анализ окружающей среды предприятия позволил сделать вывод, что «слабым местом» теплоэнергетики на отраслевом и региональном уровнях является тарифная диспропорция и ценовой диспаритет (нарушение соотношения роста тарифов на тепловую энергию и роста тарифов на энергоресурсы).

Основной фактор, обуславливающий диспаритет цен – монополизм ресурсообеспечивающих предприятий для отраслей промышленности по отношению к производителям тепловой энергии. Этот монополизм проявляется в установлении высоких цен на газ, электроэнергию, воду, и в установлении низких тарифов на тепловую энергию.

Кроме этого, большое влияние на результативные экономические и финансовые показатели функционирования теплоэнергетических предприятий оказывают технические факторы. В настоящее время на анализируемом предприятии принимаются

меры по обновлению теплоэнергетического оборудования, но они малоэффективны. Для улучшения технического состояния предприятия необходима модернизация теплоэнергетического оборудования, которая предполагает наличие больших инвестиций. Наряду с внедрением новой техники и технологий предприятию потребуются существенные изменения в направлении подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров.

Для характеристики экономической и финансовой деятельности предприятия ООО «Газпром теплоэнерго Вольск» проведен анализ основных технико-экономических показателей. В своей совокупности эти показатели отражают общее состояние дел на предприятии в производственно-технической, хозяйственно-финансовой, инновационной деятельности. Основным показателем объема производства в натуральном выражении является выработка тепловой энергии. Рассмотрим сравнительную динамику выработанной тепловой энергии за 2014- 2016 гг. на рисунке 1.

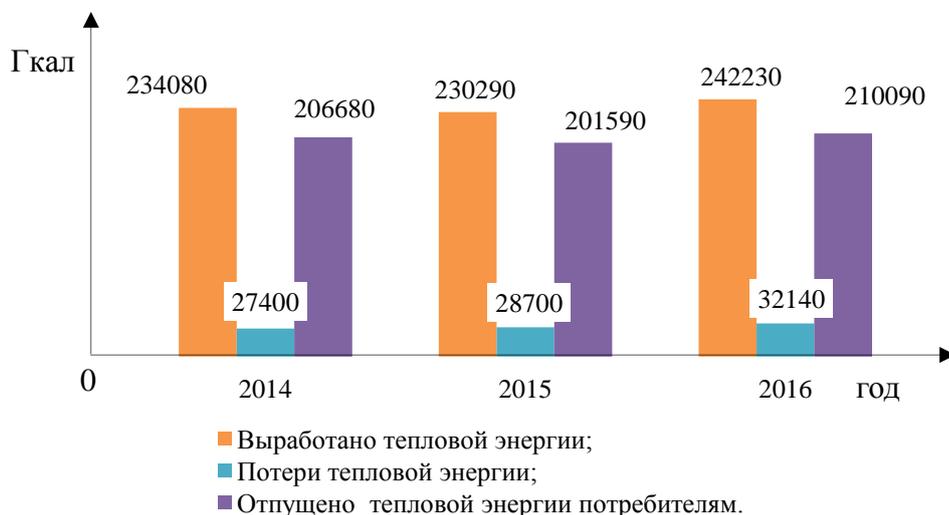


Рис. 1. Сравнительная динамика структуры выработанной тепловой энергии в натуральных показателях

Отпуск тепловой энергии потребителям имеет положительную тенденцию роста за счет присоединения новых потребителей тепловой энергии. С 2014 г. Реализация данного показателя выросла на 3410 Гкал.(на 1,6%), но за рассматриваемый период ежегодно увеличивается и объем потерь тепловой энергии; в 2016 г. относительно 2015 г. прирост потерь составил 3440 Гкал.

Темпы роста объема реализованной продукции, повышение ее качества непосредственно влияют на величину издержек, прибыли и рентабельности продукции. Сравнительная динамика выручки от реализации тепловой энергии представлена на рисунке 2. Выручка от реализованной тепловой энергии имеет тенденцию к увеличению. Это обусловлено ростом объема реализации тепловой энергии и ежегодным повышением тарифа на тепловую энергию. Для того чтобы воздействовать на рост данного показателя,

необходимо увеличить объемы производства и сократить расходы на производство тепловой энергии. Для этого необходимо, в первую очередь, сократить затраты на материальные ресурсы, в том числе на топливо - газ, холодную воду и электроэнергию, так как именно эти затраты в себестоимости тепловой энергии составляют 72,3%. Сокращение этих расходов возможно за счет снижения потерь, и снижения удельных норм расхода газа, электроэнергии и воды на 1 Гкал тепловой энергии.



Рис. 2. Сравнительная динамика выручки от реализации тепловой энергии

Финансовый результат деятельности предприятия – показатель прибыли на анализируемом предприятии имеет отрицательное значение (убыток) и с каждым годом убытки увеличиваются, а в 2016 году - увеличение убытка составило 7109 тыс. руб. (или 28,3%). Это обусловлено, прежде всего, тем, что темпы роста себестоимости выше темпов роста объемов реализованной продукции.

Анализ финансового состояния предприятия позволил выявить ряд негативных моментов: на протяжении трех лет предприятие имело критическое финансовое положение, которое сопряжено с частыми нарушениями платежеспособности. Предприятие постоянно испытывает недостаток собственных оборотных средств, который к 2016 году увеличился на 52006 тыс. руб. достиг значения 74911 тыс. руб. Коэффициенты платежеспособности и финансовой устойчивости ниже нормативных значений. Предприятие полностью неплатежеспособно и находится на грани банкротства.

С целью повышения финансовой устойчивости ООО «Газпром теплоэнерго Вольск» необходимо разработать комплекс мероприятий, направленных на получение прибыли и предотвращения банкротства. Одним из первоочередных мероприятий по сокращению затрат и снижению потерь тепловой энергии предлагается совершенствование организации ремонтов систем теплоснабжения, путём закрытия малоэффективных котельных с малой присоединенной нагрузкой и диспетчеризацией ЦТП. Для реализации данного мероприятия ООО «Газпром теплоэнерго Вольск» участвует в

муниципальной программе повышения энергоэффективности и энергосбережения, финансируемой администрацией Вольского муниципального района. Объем финансирования составит 6309 тыс. руб. Кроме этого, предлагается сокращение расходов на содержание аппарата управления за счет сокращения численности АУП.

Важным фактором финансового оздоровления предприятия является совершенствование договорной работы и договорной дисциплины. Однако, на предприятии образовалась большая сумма просроченной дебиторской задолженности за прошлый период, которая увеличивает рост риска непогашения долгов, и рост убытка предприятия. Для снижения дебиторской задолженности предлагается: активизировать работу юридической службы по взысканию просроченной дебиторской задолженности с помощью оперативной работы юридического отдела; максимально использовать взаимозачеты с поставщиками и покупателями; увеличить долю предоплаты за поставленную тепловую энергию[2, с. 122].

Проведение этих мероприятий позволит предприятию повысить долю денежных средств, ускорить оборачиваемость оборотных средств, что непременно скажется на его финансовом состоянии.

В настоящее время у предприятия наблюдается и наличие просроченной кредиторской задолженности. Одним из направлений по устранению такого негативного момента, для уменьшения оттока денежных средств необходимо провести разграничение выплат кредиторам по степени приоритетности и важности. Необходимо четко структурировать долги перед поставщиками и подрядчиками, выявить какие из них требуют безотлагательного погашения. Преобладающим в структуре кредиторской задолженности является обязательства перед поставщиками за энергоносители, которую можно уменьшить, используя систему взаимозачетов при расчете с поставщиками и подрядчиками за оказанные услуги и работы. Руководству общества рекомендуется погасить часть кредиторской задолженности, за счет погашения долгосрочной дебиторской задолженности. Тем самым предприятие сможет рассчитаться с поставщиками и подрядчиками за полученные энергоресурсы.

Пополнение уставного капитала за счет дополнительных вкладов собственников поможет увеличить собственные средства предприятия, привлечение дополнительных долгосрочных источников финансирования положительно скажется на повышении ликвидности и финансовой устойчивости предприятия.

Литература:

1. Горелкина, И.А. Методические подходы к обоснованию системы экономических показателей оценки эффективности деятельности организации [Текст]: / И.А. Горелкина

//Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – №61. – С. 64.

2.Жилкина, А.Н. Непрерывный контроль управления финансами на предприятии: проблемы и пути решения [Текст] / А.Н. Жилкина // Вестник университета. – 2014. - № 3. – С. 121 – 125 .

Магнитная дефектоскопия проводов и грозотросов воздушных линий электропередачи

Клеймёнова Елена Викторовна, преподаватель

Нововоронежский политехнический колледж – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Нововоронеж

Многие воздушные линии электропередачи напряжением 35-750 кВ были построены в РФ в 60-70-х годах прошлого века, а сроки их эксплуатации превышают нормативные и составляют 40-50 лет и более. Проблема продления ресурса и обеспечение надежной и безаварийной работы этих линий является весьма актуальной. Инструментальный контроль технического состояния проводов и грозотросов, а также других элементов оборудования ВЛ и подстанций, является эффективным звеном мероприятий, проводимых сетевыми компаниями с целью повышения эксплуатационной готовности линий электропередачи.

Метеовоздействия и эксплуатационные нагрузки оказывают большое влияние на техническое состояние проводов и грозотросов ВЛ, а также на их расстояния до земли и пересекаемых объектов (ВЛ меньшего класса напряжений, сооружений, коммуникаций и т.п.). Это влияние выражается в таких факторах, как появление значительных остаточных деформаций от ветровой и ледовой нагрузки; появление местных усталостных повреждений, вызываемых вибрацией или «пляской» проводов; деградация механических свойств проволок алюминиевого повива проводов от длительного нагрева токами высокой эксплуатационной нагрузки или короткого замыкания (в чрезвычайной ситуации); потеря площади поперечного сечения стального сердечника биметаллических проводов (типа АС и т.п.) из-за фрикционного и или коррозионного износа. Благодаря развитию инструментальных средств неразрушающего контроля объектов линейного оборудования ВЛ в работе эксплуатационных подразделений сетевых компаний все шире стали использоваться такие методы технической диагностики как ультразвуковой и тепловизионный контроль, магнитная дефектоскопия и т.п.

При обследованиях линий электропередачи лазерное аэросканирование позволяет определить пролеты, в которых расстояния от проводов и грозотросов до земли или

пересекаемых объектов не отвечают требованиям нормативных документов. Перетяжка является одним из самых разумных способов устранения неприемлемых габаритов проводов и грозотросов ВЛ и приведения их в соответствие с требованиями нормативных документов. Уровень допустимой нагрузки для осуществления операций перетяжки проводов и грозотросов определяется их остаточной прочностью, которая может быть оценена расчетным путем на основе результатов дефектоскопии, полученных с помощью инструментальных средств.

Для предотвращения аварийного отключения электроснабжения в результате обрыва линий и падения опор наши эксперты проведут комплексное обследование воздушных линий электропередачи (ВЛ) с использованием 4-х прогрессивных методов неразрушающего контроля:

Первый метод – состоит в том, что оптическое излучение разрядных процессов (ОИР) регистрируется специальным оптическим приемником ультрафиолетового диапазона чувствительности.

Второй метод – предназначен для обнаружения локальных нагревов проводов, шлейфов и контактных соединений средствами инфракрасной термографии.

Третий метод – контроль внешнего вида конструктивных элементов ВЛ, в том числе, не находящихся под напряжением, проводится с помощью видеозаписи и цифрового фотографирования.

Четвертый метод – предназначен для обнаружения локальных дефектов стальных сердечников комбинированных проводов ВЛ с использованием магнитного дефектоскопа, автономное перемещение которого вдоль провода ВЛ осуществляется при помощи специального разработанного роботизированного устройства.

Координатную привязку местоположения дефектов ВЛ к цифровой карте местности, при помощи систем лазерного сканирования и GPS.

Применение программного обеспечения «Модуль прочности» позволит выполнить полный анализ фактического технического состояния воздушных линий электропередачи (ВЛ), выявив дефектные элементы, а также оценить остаточный ресурс.

- Отслеживание нарушения целостности жил воздушной линии электропередач (ВЛ), изменений прочности в процессе эксплуатации;
- Выявление зон опасного накопления дефектов с очагами разрушения;
- Нарушение заделки опорных изоляторов и наличие поверхностных микротрещин фарфора;
- Наличие и оценка степени загрязнения любых изоляторов;
- Пробитые (нулевые) фарфоровые изоляторы в гирлянде;

- Дефекты монтажа подвесок, внутрифазовых распорок ВЛ, разделки кабелей, контактных соединений и многие другие;

- Определение срока очередной инспекции воздушных линий электропередачи (ВЛ);

В работе рассмотрена технология производства работ и приводятся результаты выполненной магнитной дефектоскопии и диагностики технического состояния стальных грозотросов и комбинированных проводов ВЛ, в том числе и расчетной оценки остаточной несущей способности (прочности) проконтролированных объектов, которые были учтены при разработке проектов реконструкции ВЛ и ремонтно-восстановительных мероприятий на обследованных линиях. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Магнитная дефектоскопия – эффективный метод неразрушающего контроля и диагностики технического состояния биметаллических (сталеалюминевых) неизолированных проводов и стальных грозотросов. Она находит все более широкое применение в практике обследований ВЛ напряжением 35–500 кВ, проводимых с целью оценки технического состояния линейного оборудования.

2. Необходимость применения магнитной дефектоскопии при диагностике технического состояния линейного оборудования ВЛ должна быть отражена в нормативно-технических документах, регламентирующих порядок проведения и очередность контрольно-диагностических работ на линиях.

3. Параметр состояния провода/грозотроса – коэффициент запаса остаточной прочности, рассчитанный по данным дефектоскопии, позволяет придать результатам неразрушающего контроля привычный инженерный смысл. Этот показатель может служить дополнительным аргументом при принятии эксплуатационным персоналом соответствующих решений, что может сократить многомиллионные расходы на ремонтно-восстановительные работы или замену проводов и грозотросов.

4. Обследование ВЛ (отслуживших свой срок, а также эксплуатируемых в агрессивных средах) при повышенной вибрации и прочих условиях необходимо производить с инструментальным контролем проводов и тросов.

5. Дефектоскоп "ИНТРОС" удовлетворяет требованиям как качественного, так и количественного контроля состояния проводов и тросов ВЛ.

На основе обследования с его применением можно сделать квалифицированное заключение об их состоянии и необходимых мероприятиях для продления их ресурса и обеспечения надежной работы.

Энергосбережение в машиностроении

Кобзев Роман Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Атомная энергетика»

Шалкинский Валерий Анатольевич, студент группы НТС-51

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

Среди множества важнейших факторов в машиностроении выделяется такой фактор как энергосбережение. От него зависит главный экономический показатель продукции – себестоимость. В последнее время себестоимость продукции повышается из-за роста цен, что ведет к снижению покупательской способности. После распада СССР уже в России с 1996 году было обращено внимание на такой фактор как энергосбережение и это положило начало формированию законодательной базы энергосберегающей политики государства. Государственной Думой Российской Федерации были приняты законодательные акты об энергосбережении – федеральный закон от 1996 года «Об энергосбережении» [1], целевая программа «Энергосбережение России на 1998–2005 годы» от 1998 года № 80, «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года», утвержденная Правительством Российской Федерации № 1234-Р от 2003 года. Пути осуществления энергосберегающей политики: оценка потенциалов энергосбережения; стимулирование предприятий на внедрение мероприятий по сокращению потребления энергоресурсов; организация учета потребления ресурсов, проведение энергетических обследований организаций; совершенствование использования энергии. Согласно принятым нормативным актам на предприятиях были введены следующие мероприятия: подача энергетической декларации, энергетический аудит, нормирование текущего потребления энергии. В государственные стандарты включены показатели энергоэффективности на оборудование, материалы и конструкции, энергопотребляющую продукцию и энергетические ресурсы, которые должны быть сертифицированы по показателю энергоэффективности [2].

Для повышения конкурентоспособности продукции и научно-технического процесса в машиностроении энергосбережение является основным условием. Энергоемкость - потребление энергии или топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг. Энергоемкость является важным макроэкономическим показателем. По этому показателю отставание России очевидно – она уступает Бразилии, Южной Корее, Англии, Германии, США и Японии соответственно в 3.2; 4.1; 6; 6.8; 4 и 11 раз. Из-за повышения цен на энергоносители

и снижения запасов энергоресурсов необходимо применять наиболее эффективные энергосберегающие технологии при производстве продукции. Повышение конкурентоспособности возможно за счет снижения издержек производства, улучшения качества продукции. Различные изделия имеют разные качественные показатели, но технологичность является одним из важнейших направлений повышения энергоэффективности. Помимо этого, экономия энергии может быть достигнута путем усовершенствования технологий, использования инновационных методов и режимов обработки.

В машиностроении возможно достигнуть повышения энергосбережения на стадии формообразования. При этом определить энергоемкость по видам обработки и технологическим операциям достаточно сложно, так как возникают следующие проблемы: большая номенклатура выпускаемой продукции, отсутствие учета расхода энергоресурсов на выпускаемую продукцию целиком и отдельные технологические процессы. В настоящее время машиностроение использует все виды энергии: электроэнергию, пар, горячую воду, жидкое, газообразное и твердое топливо. Затраты на электроэнергию в машиностроении несколько выше, чем в других отраслях промышленности, при этом большая часть электроэнергии расходуется на механические процессы. В России проводятся специальные организационные мероприятия на предприятиях, направленные на повышение энергосбережения, проводится контрольное обследование энергопотребления всего предприятия. По результатам обследования составляются энергетические балансы технологического процесса, цеха и предприятия в целом, производится оценка соответствия предприятия уровню передовых стран по удельному расходу энергии, и намечаются необходимые изменения.

Существует две разновидности форм энергосбережения: первая формирует динамику энергопотребления путем непосредственного изменения расхода энергии на единицу продукции в связи со снижением его материалоемкости, переходом на новые технологии или вследствие прямой замены более энергоемких видов продукции менее энергоемкими – это активная форма. Вторая, пассивная форма, создает энергосберегающий эффект путем простого ускорения производства менее энергоемкой продукции в общем ее объеме.

Технологичность конструкции изделия – это свойство изделия, определяющее приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации. Создание нового машиностроительного изделия – это сложная конструкторская задача, связанная не только с достижением требуемого технического уровня, но и с приданием его конструкции таких свойств, которые смогут обеспечить максимально возможное снижение затрат труда, материалов и энергии на

проектирование, изготовление, техническое обслуживание и ремонт.

В машиностроительном производстве не предусмотрен расчет технико-экономических показателей, и вопрос о возможности изготовления детали принимается инженером-технологом. Для оптимизации технологического процесса механической обработки детали требуется проведение анализа и выбор технологического решения на стадиях проектирования, и обеспечить минимальные приведенных затрат. Основной целью технологического процесса в машиностроении является обеспечение качества изделия наиболее производительным способом при малых затратах.



Рис. 1. Алгоритм оптимизации процесса изготовления детали

Существует разработанная схема исследований (рис. 1) по оценке технологичности проектного решения. С ее помощью можно оптимизировать процесс изготовления детали, включающий в себя: выбор энергоемкого метода получения заготовки; определение энергоемкости возможных способов черновой и чистовой обработки заготовки; анализ и корректировка результатов проектирования; печать маршрута обработки с соответствующими значениями технологических режимов.

К числу наиболее перспективных с точки зрения энергосбережения технологических процессов относятся раскатка, холодная сварка и сварка трением.

Раскатка позволяет изготавливать сразу готовые детали, в то время как прокатка – только изготовление заготовки, впоследствии подвергаемой механической обработке [3]. Примеры деталей, полученных раскаткой, приведены на рис. 2. Процесс реализуется на раскатном станке, который схож с токарным. После раскатки деталь почти не нуждается в механической обработке (иногда необходима лишь подрезка), коэффициент использования материала равен 0,7-0,95.



Рис. 2. Детали, изготовленные раскаткой

Холодная сварка - процесс неразъемного соединения металлических заготовок и деталей в твердой фазе без нагрева (при комнатной или пониженной температуре) за счет совместной пластической деформации соединяемых поверхностей под давлением [4]. Холодная сварка эффективна при использовании соединений разнородных металлов, например, для соединения меди с алюминием (рис. 3).

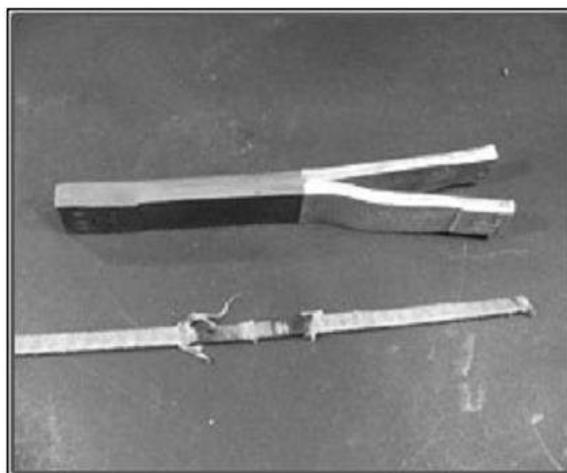
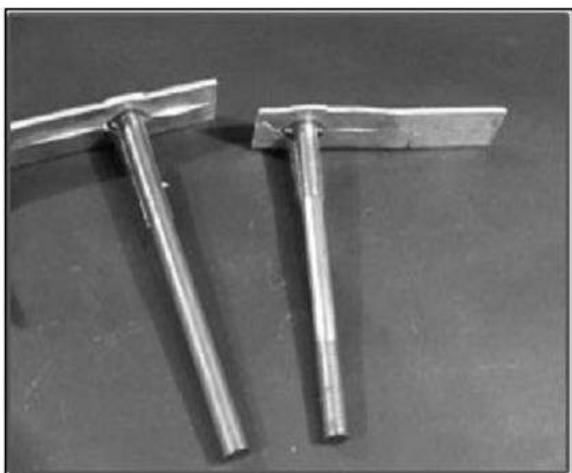


Рис. 3. Соединения медных и алюминиевых деталей с помощью холодной сварки.

Шовная холодная сварка позволяет герметизировать корпуса полупроводниковых приборов и конденсаторов или алюминиевые емкости с радиоактивными веществами, нагрев которых недопустим. На электрифицированном транспорте холодная сварка позволила избавиться от болтов, зажимов и клемм, обеспечивавших механическое и электрическое соединение концов контактного троллейного провода в линию. При этом исключается искрение при токосъеме (скольжении колодки токосъёмника по проводу), улучшается контакт в стыке проводов, повышается надёжность соединения, достигается экономия металла.

Сварка трением – разновидность сварки давлением, при которой неразъемное соединение образуется в твердой фазе [5]. Суть процесса сводится к тому, что поджатые усилием торцы двух свариваемых заготовок приводятся в относительное движение (традиционно одна заготовка закреплена, вторая – вращается). В результате работы сил трения в тонких поверхностных слоях генерируется тепло, количества которого достаточно для нагрева металла до пластического состояния. После прекращения относительного движения под действием осевого нагружения происходит образование сварного соединения при совместной пластической деформации контактных объемов металла. Сварку трением отличают высокое качество соединений, малая энергоёмкость процесса, простота управления, высокие производительность и КПД. Благодаря этому, сварка трением является сегодня одним из наиболее перспективных способов соединения деталей. С помощью сварки трением изготавливаются валы коробки передач и карданные валы тяжёлого грузовых автомобилей; карданный вал некоторых моделей автомобиля «Форд» и другие детали (рис. 4).



Рис. 4. Соединение, полученное сваркой трением

Применение рассмотренных технологических операций позволит значительно повысить энергоэффективность машиностроительного производства за счет сокращения расхода материала, электрической энергии, повышения производительности, одновременно повысив качество изготовления.

Литература.

1. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении: федер. закон: [принят Гос. Думой 13 марта 1996 г.: одобр. Советом Федерации 20 марта 1996 г.
2. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Русская версия. Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2009. 455 с.
3. N. V. Lopatin, O. N. Maradudina, and G. S. D'yakonov , “Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6. Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets”, Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2011, Vol. 52, No. 1, 33–38.
4. Кошкарев Б.Т. Теория сварочных процессов: учеб. пособие для вузов / Б.Т. Кошкарев; ДГТУ. Ростов н/Д, 2003 г. - 217 с.
5. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки давлением. Учебное пособие / Г.В. Конюшков, Р.А. Мусин Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. -632 с.

Токоограничивающие автоматические выключатели

Кобзева Наталья Васильевна, преподаватель

Нововоронежский политехнический колледж – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Нововоронеж

Выключатели автоматические предназначены для проведения тока в нормальных режимах и автоматического отключения защищаемой цепи при коротких замыканиях (КЗ) и перегрузках, а также для оперативных нечастых отключений.

Изобретение относится к электротехнике, а именно к низковольтному аппаратостроению. Технический результат заключается в повышении токоограничивающих свойств при отключении токов короткого замыкания. В выключателе основной и дополнительный поворотные мостики смонтированы внутри паза поворотного барабана на оси вращения основного мостика с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль этой оси под действием электродинамических сил притяжения.

Если автоматический выключатель производит размыкание контактов после прохождения пикового значения тока КЗ или прерывание тока происходит при прохождении его через ноль, то электроустановка подвергается высоким тепловым и электродинамическим нагрузкам. Для снижения этих стрессов разработаны токоограничивающие автоматические выключатели, которые способны инициировать операцию размыкания контактов до того, как ток КЗ достиг своего первого пикового значения, и быстро гасить дугу между контактами.

Токоограничение предполагает отключение токов КЗ менее чем за полупериод промышленной частоты. Поэтому необходимо учитывать только ударное значение тока короткого замыкания.

Уменьшение ожидаемого ударного тока КЗ до значения ограниченного ударного тока КЗ характеризует токоограничение автоматического выключателя. Токоограничение заключается в быстром нарастании падения напряжения дуги, вызванное сопротивлением дуги, которая образуется между контактами с момента их размыкания и препятствует увеличению тока короткого замыкания.

Эффективность токоограничения определяется тремя критериями:

- временем t_s , через которое начинает нарастать напряжение дуги;
- скоростью нарастания напряжения дуги;
- величиной максимального напряжения дуги.

Быстрота развития дуги связана со скоростью размыкания контактов. Так

токоограничение модульных автоматических выключателей зависит от электромагнитного элемента (исполнительного механизма)

После освобождения он воздействует (ударяет) по подвижному контакту, сообщая последнему изначально высокую скорость. Таким образом, напряжение дуги начинает развиваться рано и очень быстро.

Принцип токоограничения с момента начала размыкания контактов t_s падение напряжения на размыкающихся контактах нарастает до момента t_1 и достигает значения напряжения сети E_m . Ограниченный ток КЗ достигает своего максимального значения, затем уменьшается и становится равным нулю через время t_2 . Уменьшение тока КЗ вызвано тем что падение напряжения на контактах превышает напряжение сети E_m и при этом происходит поглощение в дуге энергии ЭДС самоиндукции цепи тока КЗ пока эта энергия не уменьшится до нуля.

Токоограничивающие автоматические выключатели существенно уменьшают отрицательное воздействие токов короткого замыкания на электроустановку:

- Тепловое воздействие (уменьшение нагрева увеличивает срок службы кабельных линий);

- Механическое воздействие (уменьшение электродинамических сил снижает опасность деформирования или нарушения целостности контактных соединений и сборных шин);

- Электромагнитное воздействие (уменьшение помех, воздействующих на измерительные приборы, расположенные по близости);

Выключатели обеспечивают экономию за счет каскадного соединения (принцип каскадного соединения (англ. Back*up, фр. Filiation), использующий токоограничение автоматических выключателей, позволяет устанавливать ниже токоограничивающего автоматического выключателя аппараты с меньшей отключающей способностью, чем ожидаемый ток короткого замыкания).

При применении каскадного соединения отключающая способность нижестоящих аппаратов в этом случае увеличивается за счет токоограничения вышестоящего аппарата. Этот принцип позволяет значительно снизить затраты на коммутационные аппараты и распределительные шкафы. При использовании этого принципа вышестоящий аппарат вводит дополнительное сопротивление дуги в цепь короткого замыкания и обеспечивает, таким образом, допустимые условия работы для нижестоящего аппарата при коротких замыканиях. Поскольку ограничение тока происходит во всей цепи ниже токоограничивающего автоматического выключателя, принцип каскадного соединения может применяться ко всем аппаратам, которые установлены ниже указанного

токоограничивающего аппарата. При этом может быть обеспечена полная селективность между этими выключателями. Так автоматические выключатели Masterpact обеспечивают полную селективность с нижерасположенными аппаратами Compact NS (Compact NSX). Для выключателей Compact NS (Compact NSX) обеспечивается селективность при каскадном отключении при соотношении между номинальными токами выключателей больше или равно 2,5. Вышестоящий аппарат Compact NS) пропускает через себя ток КЗ, который сильно ограничен выключателем. Этот ток вызывает отталкивание контактов аппарата. При отталкивании контактов вышестоящего выключателя возникает дуга, которая еще больше ограничивает ток КЗ. Но давления, которое вызвано горением дуги нарастающего, а затем из-за срабатывания спадающего тока КЗ, не достаточно, чтобы выключатель сработал «рефлексно». Таким образом, вышестоящий аппарат Compact NS ограничивает ток КЗ выключателя Compact NS не отключаясь при этом.

Токоограничение автоматического выключателя выражается в виде кривых, которые отображают в зависимости от действующего значения ожидаемого тока короткого замыкания:

- ограниченное ударное значение тока короткого замыкания (фактическое максимальное значение);

- удельное тепловыделение (A^2s), т.е. энергия, выделяемая при коротком замыкании в проводнике с сопротивлением 1 Ом.

Эффект ограничения тока можно оценить путем сравнения (при одинаковых значениях симметричного тока аварии) соответствующего пикового значения расчётного ожидаемого тока КЗ с пиковым значением ограниченного тока КЗ.

Учитывая, что электродинамические и возникающие в результате механические нагрузки связаны с квадратами пиковых значений тока, применение токоограничивающих выключателей позволяет добиться уменьшения типоразмеров применяемого в электроустановках оборудования (выключателей, кабелей, шин и т.п.).

Возможности применения корпусных сталей нового поколения для реакторных установок типа ВВЭР

Колоколов Евгений Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и прикладной механики;

Томилин Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и прикладной механики;

Подрезов Николай Николаевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры машиностроения и прикладной механики

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Волгодонск

Водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР) в нашей стране начали изготавливаться в конце 50-х годов. Вначале изготавливали опытные образцы и реакторы для флота, затем начали разрабатывать и эксплуатировать первые промышленные энергоблоки для Нововоронежской АЭС (НВАЭС): ВВЭР-210, ВВЭР-365 и в 1971 году ВВЭР-440. Последний и стал первым серийным атомным реактором. Разработчиком проектов ВВЭР стал ОКБ «Гидропресс». Материалом для корпусов всех изготовленных по этим проектам реакторов стала сталь 15X2МФА, разработанная ЦНИИ КМ «Прометей». Перечисленные проекты принято относить к первому поколению реакторов ВВЭР, которые на тот момент не имели даже полноценных отечественных нормативов безопасности АЭС и разрабатывались по общепромышленным нормам.

В 70-х годах разработан и в 1980 году на НВАЭС введен в эксплуатацию первый реактор повышенной мощности ВВЭР-1000. Главное его отличие от ВВЭР-440 при близких габаритах – увеличение толщины стенки, позволившее повысить рабочую температуру и давление. Это потребовало провести замену основного корпусного материала, в качестве которого была использована сталь 15X2НМФА, целенаправленно разработанная специалистами ЦНИИТМаш именно для корпуса реактора ВВЭР-1000. В состав новой стали был введен никель для увеличения прокаливаемости и улучшения технологичности при сварке и обработки давлением [1]. Для обечаек активной зоны была разработана модификация этой стали 15X2НМФА-А с повышенной чистотой по вредным примесям, лучше сопротивляющаяся радиационному охрупчиванию. Нормативный срок эксплуатации реакторной установки был установлен 40 лет. Конструкция установки оказалась очень

удачной и удобной для дальнейшего совершенствования. Однако, после Чернобыльской аварии (которая произошла на реакторе совсем другого типа – РБМК-1000), которая стала настоящим шоком для всей атомной энергетики, наступила так называемая «чернобыльская пауза». В этот период начали разрабатывать мероприятия по повышению безопасности эксплуатации АЭС всех типов.

Проведенный в послечернобыльский период в рамках реализации этих мероприятий анализ результатов испытаний образцов-свидетелей стали 15X2НМФА-А и ее сварных соединений, расположенных напротив активной зоны корпуса реактора ВВЭР-1000, выявил повышенную скорость старения металла сварного шва при радиационном воздействии в процессе эксплуатации. В результате металл шва становится более прочным, снижается пластичность и растет критическая температура хрупкости. Сочетание этих факторов ведет к снижению ресурса работы оборудования ниже планируемых показателей [2-4]. Исследования обнаруженных закономерностей, проведенные ведущими научно-исследовательскими организациями атомной отрасли, позволили установить причины и механизмы этих явлений [5,6].

Было принято решение о разработке новых материалов, более стойких к радиационному охрупчиванию. В качестве основы при разработке материалов были взяты уже существующие корпусные стали [1]. На конкурентной основе специалисты ЦНИИТМаш вели разработку на базе стали 15X2НМФА с никелем, а специалисты ЦНИИ КМ «Прометей» – на основе стали 15X2МФА без никеля. Был разработан ряд новых сверхчистых сталей с очень низким (в пределах тысячных долей процента) содержанием вредных элементов: S, P, Cu, а также легкоплавких примесей, таких как As, Sn, Sb. Такой подход показал свою эффективность – новые материалы разработаны и уже внедрены в производство, а в проектах всех новых реакторных установок типа ВВЭР в качестве корпусных используются именно эти вновь разработанные стали. По маркировке изменения в новых сталях вроде бы незначительны. Например, для обечайки активной зоны корпуса реактора ранее применяемую сталь 15X2НМФА-А ЦНИИТМаш заменил на 15X2НМФА-А (класс 1) [4]. ЦНИИ КМ «Прометей» предложил для тех же целей близкую по свойствам и химическому составу сталь 15X2МФА (категория А) [2]. В этой стали никель все же присутствует, но его содержание меньше процента. Содержащаяся в скобках приписка (класс 1, категория А) означает, что в новой стали резко понижено содержания вредных примесных элементов и введены другие ограничения. Эти ограничения значительно снижают склонность вновь разработанных сталей к радиационному, отпускному и тепловому охрупчиванию [2,5,6] за счет резкого снижения величины критической температуры хрупкости $T_{ко}$. В результате удалось увеличить конкурентоспособность изделий за счет

роста срока плановой гарантированной безаварийной эксплуатации реакторов нового поколения, превысившего 60 лет [2,6].

Разработка новых материалов, удовлетворяющих требуемым показателям, осуществлялась на малых, опытных плавках. Однако реализация их внедрения в производство штатных изделий потребовало огромных усилий как разработчиков, так и ведущих научно-исследовательских, проектных организаций, заводов-поставщиков материалов и оборудования. Сущность всех этих изменений осталась «за кадром». Но ведь эти изменения заключались в том, что для достижения требуемых характеристик в технологию получения и выплавки сталей были внесены существенные, можно сказать, революционные изменения. Была исключена стадия получения чугуновых полуфабрикатов с последующей выплавкой стали и ее рафинирующем переплаве. Именно на этой стадии формировался состав трудноудаляемых примесей, сохранявшийся при дальнейших металлургических переделах и отрицательно влияющих на свойства.

В качестве сырья для получения основы сталей с помощью дугового процесса начали применять, в основном, сверхчистые железорудные окатыши контролируемого состава, изготавливаемые на Оскольском электрометаллургическом комбинате. При таком подходе химический состав стали, содержание неметаллических включений и их состав определяются не особенностями доменного процесса, а характеристиками свойств используемых окатышей. Применение в промышленном масштабе для этих целей переплавных технологий практически неосуществимо и не дает эффекта очистки в комплексе [7]. Более того, свойства сталей из слитков, полученных на малых опытных плавках требуемого химического состава, с помощью традиционных технологий, использованных при разработке новых материалов и удовлетворяющих требуемым показателям, с большой долей вероятности не совпадают со свойствами промышленного металла.

Дальнейший металлургический передел включает три основных стадии:

– первая стадия осуществляется выплавка «черновой» стали в дуговой электропечи с использованием в качестве сырья железорудных окатышей требуемого состава. Для различного назначения состав окатышей меняется. В некоторых случаях черновую сталь, если ее свойства удовлетворяют необходимым требованиям, можно использовать по назначению, отправив непосредственно на разливку;

– вторая стадия осуществляется путем реализации комплекса операций внепечной металлургии по технологии «печь-ковш», обеспечивающих получение марочного химического состава с узкой полосой разброса по содержанию основных элементов и требуемой чистоты металла по включениям, примесям и растворенным газам. Из дуговой

печи черновую сталь переливают в специальный ковш, в котором можно осуществлять продувку расплавленного металла инертными газами и кислородом, вводить различными способами раскислители, легирующие добавки и модификаторы, осуществлять подогрев и индукционное перемешивание, проверять и корректировать химический состав плавки на различных стадиях [8].

– третья и очень важная стадия – сифонная разливка в защитной атмосфере. Для получения крупных слитков сифонную разливку стали осуществляют последовательную из нескольких непрерывно подогреваемых и подготовленных к разливке ковшей, в которых все еще может осуществляться «доводка» плавки, в одну специально сконструированную изложницу [8]. При правильно осуществленном техпроцессе полученный металл обладает слабо выраженной зональной ликвацией и малым содержанием неметаллических включений, имеющих преимущественно округлую форму и химический состав, отличающийся от свойственного сталям, полученным с помощью традиционных технологий.

После металлургической стадии осуществляется термообработка (гомогенизация) и ковка по специально разработанной технологии с получением поковок различной формы и размеров. Затем следуют основная термическая обработка для получения требуемых свойств, предварительная механическая обработка (обдирка) и контроль сплошности и механических свойств для предъявления потребителю.

Проведенные исследования показали [5,6], что использованные в рамках металлургического передела технологические процессы обеспечивают существенное повышение технологических и служебных свойств сверхчистых сталей различного класса. Было установлено, что кроме улучшения прочностных свойств, существенно возрастает пластичность при горячей деформации [9]. Поковки из такого металла обладают значительно менее выраженной анизотропией свойств и структурой, в которой отсутствуют явно выраженные строчки неметаллических включений по сравнению с заготовками, полученными традиционными способами. Строчечность неметаллических включений и слоистое строение металла, полученного по традиционной технологии очень трудно, а зачастую и невозможно устранить при дальнейших технологических переделах. Это явление, называемое структурной наследственностью, в сталях нового поколения выражено значительно меньше [10]. В результате, кроме лучшего сопротивления радиационному, отпускному и тепловому охрупчиванию, обусловленному снижением уровня вредных примесей, стали приобретают и более высокое сопротивление малоциклового усталости, хорошую пластичность при горячей деформации, а также улучшенные коррозионно-химические свойства.

В комплексе, новое поколение корпусных сталей пригодно к широкому спектру

применения, не ограниченному повышенным сопротивлением радиационному охрупчиванию, что и используется на практике. Так, сталь 15X2НМФА-А (класс 1) может быть применена и для днищ, и для обечаек зоны патрубков, и для фланцевых обечаек. Сталь 10ГН2МФА-А, полученную из сверхчистой шихты по вышерассмотренной технологии, используют и для корпусов и для коллекторов парогенераторов [6]. Высокая пластичность при горячей деформации позволяет получать длинные обечайки, осуществлять их разгибку и последующую штамповку днищ без образования дефектов. Для сравнения, стали, полученные в основных печах, после проведения рафинирующего переплава (например, 10ГН2МФА-Ш) имеют провал пластичности в интервале температур горячей деформации [10,11], вследствие образования вырожденной сульфидной эвтектики по границам первичных зерен при переплаве. Ее наличие, возможно, является одной из причин коррозионного растрескивания коллекторов парогенератора в зоне сварного шва № 111, выполненных из упомянутой стали. Стали нового поколения имеют совсем другую природу включений и не проявляют пониженную пластичность при горячей деформации.

При производстве обеспечивается критическая температура хрупкости основного металла стали 15X2НМФА-А (класс 1) не выше – 600С. При этом, как правило, $T_{\text{ко}}$ находится в пределах от –100 до – 800С. Это означает, что сталь можно использовать для изделий, работающих в условиях низких климатических температур. Однако, слабым местом являются сварные соединения, в которых такой уровень $T_{\text{ко}}$ не обеспечивается. Поэтому внедрение в повседневную практику нового поколения сталей требует внесения корректив в материалы и технологии сварки. Оптимизацией состава сварочных материалов (подбором) консервативно обеспечивается величина критической температуры хрупкости металла шва кольцевых сварных соединений корпусов реакторов АЭС-2006 в пределах –150С [6]. Для обеспечения запланированного в новых проектах реакторных установок ресурса в 60 лет необходимо принятие организационных и технических решений по обеспечению производства сверхчистых сварочных проволок и керамических флюсов [12]. Для других изделий можно использовать импортные сварочные материалы, обеспечивающие требуемые свойства сварных швов.

При разработке перспективных реакторных установок предлагается сократить материалоемкость заготовительной стадии за счет укрупнения поковок [6]. Укрупнение и увеличение толщины заготовок требует увеличения количества и длительности высокотемпературных нагревов при ковке. Это приводит к микроструктурным изменениям, влияющим на свойства – росту аустенитного зерна после основной термообработки, проявляющемуся в разнотерности, вызывающей снижение отпускостойчивости и рост $T_{\text{ко}}$ [4]. Это означает, что в крупных поковках увеличение чистоты по примесям в меньшей

степени сказывается на улучшении эксплуатационных свойств изделий. Необходимо более тщательно подходить к осуществлению основной и послесварочной термообработки, формирующим служебные свойства изделий.

Могут возникать и непредвиденные трудности. Так, постоянная выплавка крупногабаритных слитков в штатном режиме может привести к появлению в них скоплений крупных экзогенных шлаковых включений за счет попадания в расплавленный металл материала футеровки ковшей или изложниц в процессе выдержки или разливки. Эти скопления затем могут быть обнаружены при контроле или механической обработке (например, на кромках подготовленных под сварку обечаек). Это удлинит процесс входного контроля и контроля кромок под сварку и приводит к ухудшению технологических свойств. Кроме того, может потребоваться проведение ремонта загрязненных включениями участков.

Литература:

1. Конструкционные материалы АЭС/ Ю.Ф. Баландин, И.В. Горынин [и др.] – М. Энергоатомиздат. 1984. 280с.
2. Карзов Г.П. О сталях для реакторов ВВЭР. URL: <http://www.atominform.ru/>.
3. Дуб А.В. Развитие основных конструкционных материалов для изготовления реакторов ВВЭР // Материалы Восьмой международной НТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». ОКБ Гидропресс. 28-31 мая 2013 г. URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/publication/.../49pdf>.
4. Марков С.И., Дурынин В.А., Мохов В.А. Сталь марок 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А и 15Х2НМФА-А (класс 1) для корпуса реактора проекта ВВЭР-ТОИ // Тяжелое машиностроение. 2013. № 3. С.2-6.
5. Марков С.И. Реакторная сталь для корпуса реактора проекта ВВЭР-ТОИ. URL: http://steelcast.ru/steel_atomic_reactors.
6. Дуб А.В. Прогресс на поле технологий. Комплексный компетентный подход и своевременная смена приоритетов в развитии материаловедения // РЭА. 2012. №1. С. 22-27.
7. Солнцев Ю.П., Пиролайн В.Ю., Вологжанина С.А. Материаловедение специальных отраслей машиностроения: учеб. для ВУЗов. М. Химиздат. 2007. 784с.
8. Металловедение. Сталь. Справочник. Т. 2.2. М. Metallurgia. 1995. 399с.
9. Металловедение. Сталь. Справочник. Т. 1.2. М. Metallurgia. 1995. 335с.
10. Подрезов Н.Н., Решанов В.А., Зубченко А.С. Влияние параметров деформирования, нагрева и охлаждения на свойства сталей в высокотемпературном интервале хрупкости // Сварочное производство. 1991. № 9. С. 8-10.
11. Подрезов Н.Н., Доронин Ю.В. О свариваемости теплоустойчивых сталей разной

выплавки, применяемых в атомной энергетике // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 3 (12). С. 49-53.

12. Колоколов Е.И., Томилин С.А., Шишов В.В. Обеспечение конструктивной прочности сварных соединений реакторных установок посредством применения новых сварочных материалов и технологий // Глобальная ядерная безопасность. 2017. № 3 (24). С. 77-90.

Оценка коррозионного мониторинга материалов и оборудования АЭС

Комарова С.В., преподаватель

Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Саратовской области «Губернаторский автомобильно-электромеханический техникум», г. Балаково

В настоящее время в нормативы ВХР вводится понятие "уровней отклонений", когда время работы энергоблока, уровень его мощности определяется в зависимости от величины отклонения какого-либо параметра ВХР от установленного значения в нормативе при работе на 100% мощности. Это свидетельствует об использовании функциональной аналогии для описания отклонений качества ВХР от нормированного для энергоблоков АЭС разных типов. В неявном виде уровни отклонений представляют собой модель надежности, использование которой в практике направлено на ограничение интенсивности отказов.

Опыт эксплуатации блоков АЭС показал, что на них реализуются индивидуальные сценарии взаимодействия металл-нагрузка-среда. Коррозионное и коррозионно-эрозионное воздействие теплоносителя и других рабочих сред на конструкционные материалы оборудования и трубопроводов систем АС не должно приводить к нарушению пределов и условий безопасности эксплуатации АС. Большую роль в этом играет качество водно-химического режима. В этих условиях востребована необходимость своевременной диагностики скорости коррозионных процессов.

Водно-химический режим АС должен обеспечивать минимальное количество отложений на теплопередающих поверхностях оборудования и трубопроводов.

Для контроля и управления водно-химическим режимом используют в основном низкотемпературные измерения значений рН (водородного показателя), удельной электрической проводимости, концентраций хлоридов, сульфатов, натрия, кислорода, водорода, реже - высокотемпературные измерения электрохимического потенциала коррозии (ЭХП) конструкционных материалов. Измерения при 25°C в пробах теплоносителя из технологических контуров в режиме мониторинга значений удельной электрической

проводимости (χ), рН, кислорода [O₂], водорода [H₂] используют для оценки коррозии конструкционных материалов, однако эти параметры являются косвенными показателями.

Оперативная оценка коррозионной активности теплоносителя производится с помощью двухпараметрической номограммы.

Значения электрохимического потенциала стали (ЭХП) и удельной электропроводимости отображают в виде точек на двухпараметрической номограмме с координатами "потенциал нержавеющей стали - удельная электропроводимость", разделенной на три зоны, характеризующие разные степени коррозионной активности теплоносителя в соответствии с выбранным режимом эксплуатации.

Электрохимический потенциал стали 08X18H10T и электропроводность среды однозначно соответствуют типу и интенсивности коррозионного процесса.

Расчетные значения прироста дефектов по измеренным значениям ЭХП близки средним арифметическим значениям величин измеренных с помощью методов УЗК. Для расчёта были использованы данные EPRI для 304 стали (худший аналог стали 08X18H10T) по зависимостям прироста дефекта в глубину от величин электрохимического коррозионного потенциала в единицах водородной шкалы, удельной электропроводимости теплоносителя и возможных средних растягивающих напряжений $\sigma \cong 100$ МПа.

Значения V по линии А/В примерно соответствуют среднегодовому приросту трещины 0,9 мм/год. В соответствии с РД ЭО 0513-03 при поддержании ВХР, обеспечивающего нахождение в зоне А значений E_{SHE} и χ , длительность межконтрольного периода для дефектов с исходными глубинами $\leq 4,7$ мм будет не менее 6 лет. Среднегодовой прирост трещины в глубину во всех точках линии В/С составит примерно 5,4 мм/год. В соответствии с РД ЭО 0513-03 при поддержании ВХР, обеспечивающего нахождение в зоне В значений E_{SHE} и χ , длительность межконтрольного периода для дефектов с исходными глубинами $\leq 4,1$ мм будет не менее 1-2 лет.

В настоящее время не менее одной третьей части всех сварных швов трубопроводов КМПЦ всех энергоблоков РБМК-1000 обработано по технологии MSIP. В результате обработки по технологии MSIP снимаются остаточные сварочные растягивающие напряжения в около шовных зонах и снижаются значения подраста трещин в глубину. Коррозионный мониторинг с использованием высокотемпературных электродов и отображением результатов на двухпараметрической номограмме позволяет еще до останова на ремонт технически обосновать снижение объема штатного контроля сварных соединений, обработанных по технологии MSIP, с целью уменьшения трудозатрат в период останова на ремонт.

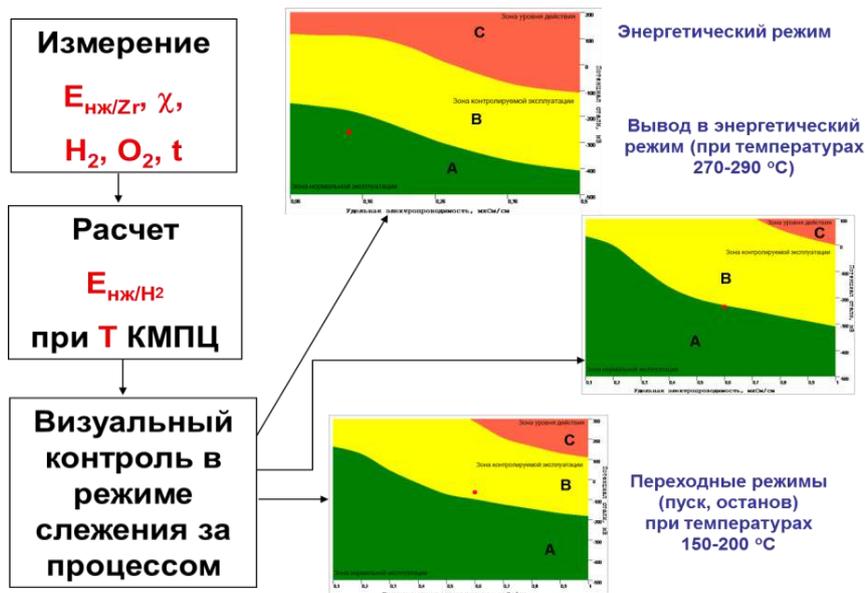


Рис. 1. Алгоритм расчёта

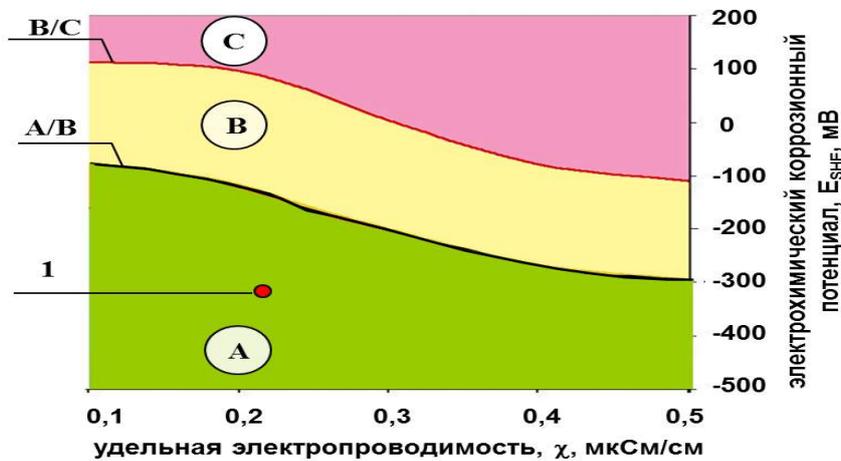


Рис. 2. Изображение видеокadra двухпараметрической номограммы для энергетического режима: где A, B, C – обозначения полей номограммы, различающихся различной коррозионной активностью; A/B, B/C - линии постоянных скоростей подроста трещин, разделяющие поля номограммы; 1 - точка, характеризующая состояние ВХР в конкретный момент

Выводы:

1. Разработанная система коррозионного мониторинга предназначена для оперативной оценки влияния качества теплоносителя КМПЦ на состояние материала аустенитных трубопроводов, включая сварные швы во всех режимах эксплуатации: гидроиспытания, пуск, нормальные условия эксплуатации и т.д.

2. Использование модели оценки коррозионной активности теплоносителя на базе результатов измерений ЭХП в виде двухпараметрической номограммы в эксплуатационной практике позволяет упростить и повысить оперативность поддержания безопасности работы энергоблока атомной станции.

3. Использование информации, получаемой с помощью системы коррозионного мониторинга в эксплуатационной практике, позволяет за счет технически обоснованного уменьшения трудозатрат снизить объем штатного контроля сварных соединений,

обработанных по технологии MSIP, в период ремонта энергоблока.

4. Система коррозионного мониторинга с использованием высокотемпературных электродов является, в виде двухпараметрической номограммы, специальным информационным средством, обеспечивающим оперативную эксплуатационную диагностику отклонений водно-химического режима КМПЦ блока АЭС, которые могут вызвать увеличение скорости иницирования и подраста поверхностных дефектов по механизму межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением.

Литература:

1. 6-ая МНТК "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР"ОКБ "ГИРОПРЕСС", г. Подольск
2. "Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике" г. Сосновый Бор

УДК 332.87

Эффективные решения по энергосбережению в многоквартирных домах

Кочеваткина Элина Фаритовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление на предприятиях»;

Карасева Евгения Сергеевна, студентка направления «Менеджмент»

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

На сегодняшний день энергосбережение – один из главных вопросов, требующих реальных ответов любого социально-ответственного государства и активного гражданского общества. Это связано с недостатком главных энергоресурсов, увеличением цены на их добычу, а кроме того с массовыми экологическими трудностями.

Бережливое отношение к энергии – это действенное применение энергоресурсов за счет использования инновационных заключений, которые осуществимы технически, аргументированы экономически, применимы с экологической и общественной точек зрения, не меняют привычной роли существования [1].

Необходимость бережливого отношения к энергии настолько актуально, что приобрело общегосударственное значение. Любое развитое государство имеет комплекс

правовых документов, регламентирующих использование энергии. Так, российское законодательство в сфере энергосбережения и энергоэффективности представлено целым рядом законодательных и нормативных актов (рис. 1).

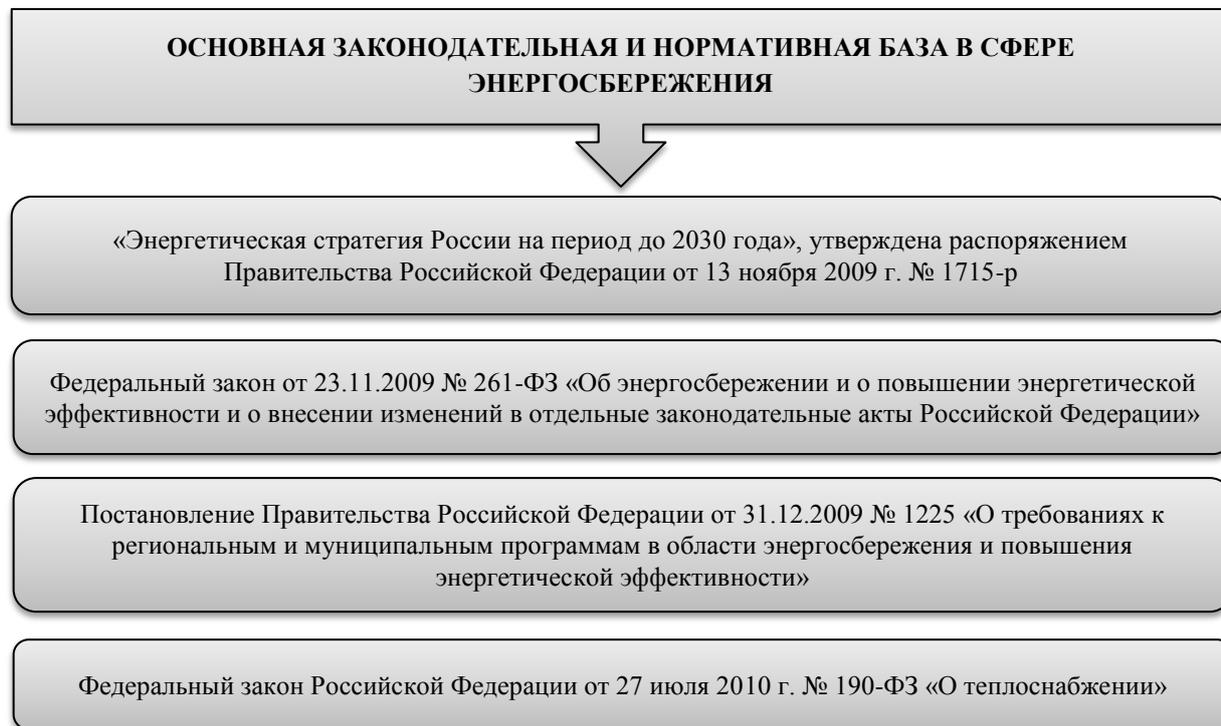


Рис. 1. Основные законодательные акты РФ в сфере энергосбережения и энергоэффективности

Каждый документ выполняет свою функцию, но в целом каждый из них в той или иной мере нацелен на обеспечение интересов потребителей, облегчение их доступа к электроэнергетической инфраструктуре, на повышение надежности и эффективности энергоснабжения.

Бережливое отношение к энергоресурсам активно и достаточно эффективно внедряется как компаниями энергетического сектора (генерирующими организациями, распределительными сетями, энергосервисными компаниями и т.д.), так и потребителями – хозяйствующими субъектами, социальными организациями и собственниками частных домовладений. Но осуществление энергосберегающих и энергоэффективных технологий в многоквартирных домах (МКД), несмотря на то, что этой сфере энергопотребления в действующем законодательстве уделено особое внимание.

Так, например, Федеральный закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [2] определяет обязанности субъектов, взаимодействующих в процессе использования имущества МКД.

Требования Федерального закона РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»

Требование статьи закона	Характеристика требования
1. Обязанности собственников помещений в многоквартирных домах (Ст. 11, ч. 9)	владельцы помещений в многоквартирных домах должны гарантировать согласованность многоквартирных домов введенным условиям энергетической эффективности и условиям их оснащённости устройствами учета применяемых энергетических ресурсов.
2. Изменение перечня требований к содержанию общего имущества (Ст. 12, ч. 4)	в список условий к содержанию общего имущества владельцев комнат в многоквартирном здании вводятся условия о проведении мероприятий в области энергосбережения и увеличения энергетической эффективности многоквартирного здания.
3. Обязанность лица, ответственного за содержание многоквартирного дома (управляющие компании, ТСЖ, ЖСК) (Ст. 12, ч. 7).	лицо, отвечающее за содержание многоквартирного здания, систематически должно создавать и доносить информацию до владельцев комнат в многоквартирном здании, предложения о мероприятиях согласно энергосбережению и увеличению энергетической эффективности, с подтверждением затрат на их осуществление, объема прогнозируемого сокращения применяемых энергетических ресурсов и сроков окупаемости предлагаемых мероприятий.
4. Энергетические ресурсы подлежат обязательному учету с применением приборов учета используемых энергетических ресурсов. (Ст. 13, ч. 1, ч. 5)	владельцы комнат в многоквартирных домах должны гарантировать оборудование подобных зданий устройствами учета применяемых электрической энергии, природного газа, воды, тепловой энергии, а кроме того введение определенных устройств учета в эксплуатацию. При этом многоквартирные здания в установленный период обязаны быть обустроены коллективными (общедомовыми) устройствами учета используемых электрической энергии, воды, тепловой энергии, а кроме того индивидуальными и общими (для общественной квартиры) устройствами учета используемых электрической энергии, природного газа, воды.
5. Обязанность ресурсоснабжающих организаций по предоставлению предложений собственникам (Ст. 13, ч. 10)	поставщики энергоресурсов должны обеспечить владельцам комнат в многоквартирных домах, лицам, отвечающим за содержание многоквартирных зданий предложения об оснащении многоквартирных зданий устройствами учета потребляемых энергетических ресурсов, обеспечение которыми или передачу которых реализовывают отмеченные учреждения.

Построенные в 50-60 х годах многоквартирные дома, на сегодняшний день с точки зрения энергосбережения и энергоэффективности – признаны безрезультатными. Разумеется, 80 лет тому назад, когда дом проектировался, аспекты оценки энергетической отдачи зданий были иными. Не было вообще проблемы об экономии потребляемых ресурсов.

Техническое оснащение старых многоквартирных зданий сейчас является проблемой для его обитателей, задавшихся проблемами экономии. Стены зданий не обладают термоизоляцией, а окна и двери не обладают уплотнением, следовательно снижение тепла при помощи ограждающих конструкций достигает 15–20 %. Оборудование отопления (батареи) не регулируются, и, если на улице теплая погода, батареи «дышат» чрезмерным теплом, а в домах настужь открываются не только лишь форточки, но и балконы. А концепция горячего водоснабжения (ГВС) спроектирована таким способом, что нужно кубометрами «спускать» воду в канализацию, пока она «потеплеет» и будет приятно

принимать ванну.

При выполнении необходимых мероприятий по утеплению здания, установке счетчиков в самих подъездах и квартирах, а также замена электрической системы, и проведение лекций по энергосбережению экономит потребляемые ресурсы вдвое или даже втрое.

В перечень основных мероприятий энергосбережения в отношении общего имущества многоквартирного дома входят физически осуществимые, но достаточно эффективные действия (табл. 2).

Таблица 2

Перечень основных мероприятий энергосбережения в отношении общего имущества многоквартирного дома

– учет потребления ресурсов	– установка счетчиков потребления тепла и горячей воды, а также счетчика холодной воды в здании, установка двухтарифного счетчика электроэнергии в помещениях общего пользования
– теплоизоляция здания	– устройство двойных тамбуров, монтаж автоматических доводчиков на входных дверях в подъездах и подвалах, приведение в порядок дверных замков и уплотнение щелей, замена старых оконных рам на стеклопакеты в помещениях общего пользования и оптимизация вентиляции, восстановление межпанельных герметизирующих швов при помощи эластичных наполнителей, теплоизоляция чердачных помещений, технических этажей и подвалов, внешняя теплоизоляция стен и перекрытия здания, утепление крыши
– экономия электроэнергии	– установка ламп со светодиодами в помещениях общего пользования
– модернизация системы теплоснабжения	– замена неисправной запорной арматуры и отдельных участков трубопроводов, монтаж теплоизоляции на трубопроводы системы отопления, реконструкция теплоузла – замена узла системы отопления на современный для автоматизированного регулирования подачи теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте
– реконструкция системы отопления	– балансировка стояков системы отопления, монтаж термостатных вентилей на подъемных и опускных разводящих трубопроводах системы отопления (стояках).
– реконструкция индивидуального теплового пункта	– монтаж пластинчатых теплообменников и реконструкция индивидуального теплового пункта с открытой на закрытую схему теплоснабжения здания
– устройство местной системы теплоснабжения	– монтаж крышной котельной в многоквартирном доме или строительство пристроенной котельной на группу зданий

Закон об энергосбережении определил перед правящими фирмами и ТСЖ проблему единой модернизации квартирного фонда с использованием нынешних технологий энергосбережения. Однако государство не оснастило раздел ЖКХ инструментами для ее выполнения. В следствии, энергосбережение в жилых домах обросло трудностями [3]:

- управляющие компании ЖКХ абсолютно не заинтересованы в проведении энергосберегающих мероприятий, так как они требуют инвестиций с длительным сроком окупаемости;
- управляющие компании ЖКХ не имеют собственных ресурсов для финансирования данных проектов, тем более в условиях массовых неплатежей;

- возможности Фонда капитального ремонта ЖКХ ограничены, а кредитные организации не заинтересованы в формировании инструментарии льготного кредитования мероприятий по энергосбережению;
- менеджмент управляющих компаний ЖКХ и ТСЖ не обладают целостным пониманием закона об энергосбережении и не готовы субсидиарно решать обозначенные в нем вопросы;
- формальное выполнение требований и предписаний обернулось в «латание дыр», которое не приносит никакого экономического эффекта.

Проблемы находят решение, если ссылаться не на букву закона об энергосбережении, а на его сущность. Условия закона необходимо миновать при помощи личных навыков. Основная цель человека, отвечающего за сбережение в МКД — осознать, какая задача нужно за тем либо другим расположением, и выработать результативный проект операций.

Литература:

1. Энергосбегающие технологии и способы энергосбережения [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/eco/20171205/156573930.html> (дата обращения: 22.12.2017).
2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / принят Государственной Думой 11.11.2009; одобрен Советом Федерации 18.11.2009 [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 22.12.2017).
3. Закон об энергосбережении в жилых домах [Электронный ресурс]. URL: <http://uchet-jkh.ru/publikacii/informaciya/zakon-ob-energoberejenii-v-jilyh-domah.html> (дата обращения: 22.12.2017).

УДК 332.87

Формирование эффективной стратегии современного потребителя энергоуслуг

Кочеваткина Элина Фаритовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление на предприятиях»;

Мацко Мария Юрьевна, студентка направления «Экономика»

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

Российская Федерация обладает огромными запасами энергетических ресурсов и мощным топливно-энергетическим комплексом, на базе которого осуществляется социально-экономическое развитие государства и реализуется его внутренняя и внешняя политики. Соответственно, место России в структуре мирового энергетического рынка обусловило ее возможности и степень влияния на геополитической арене.

Сектор энергетики является системообразующим сектором, обеспечивающим жизнедеятельность всех отраслей национальной экономики, который способствует поддержанию системы общественного разделения труда на субфедеративном уровне, и в конечном итоге определяет уровень основных макроэкономических показателей, таких как валовый внутренний продукт, национальный доход, объем валовых инвестиций и прочие.

Природные топливно-энергетические ресурсы, производственный, научно-технический и кадровый потенциал энергетического сектора экономики являются национальным достоянием России [1]. Результатом взаимодействия вышеозначенных частных потенциалов становится конечный продукт, т.е. энергетический продукт, под которым понимаются различные источники энергии (топливо, тепло и другие виды энергии). Но энергия сама по себе не является для потребителя полезной. Только использование различных источников энергии может быть использовано для получения света, тепла, механической работы и для других полезных целей. Такое использование энергетических продуктов называется энергетическими услугами.

Эффективное использование энергетических продуктов предопределяет устойчивое социально-экономическое развитие национальной экономики, поддерживает достаточные темпы роста благосостояния государства, а также обеспечивает высокий уровень и качество жизни населения.

Но в то же время интенсивное потребление энергетических услуг привело к возникновению ряда значительных проблем, обусловленных такими факторами как глобализации мировой экономики, ужесточение конкурентной борьбы за энергетические ресурсы, рынки и др. В таких условиях наряду с реформированием энергетического сектора России и созданием качественно нового топливно-энергетического комплекса, который прогнозно будет обладать такими характеристиками, как финансовая устойчивость, хозяйственно-экономическая эффективность, динамичное развитие, соответствие экологическим стандартам, оснащенность новейшими технологиями и современным оборудованием, а также высококвалифицированными кадрами, для стабильной обеспеченности национальной экономики и населения страны энергетическими продуктами необходимо создание эффективной стратегии современного потребителя энергоуслуг.

Данная проблема настолько значима и остра, что ее решение регламентирует ряд

нормативно-правовых документов, основополагающим среди которых является Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [2]. Данный законодательный акт создан и принят с целью регулирования правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности на территории России. В рамках данного документа прописано, что энергосбережение является предметом деятельности не только государства и бизнеса, но и населения. В связи с этим, необходимо сформировать эффективную стратегию современного потребителя энергоуслуг.

Суть стратегии современного потребителя энергоуслуг заключается в достижении эффективного использования энергетических продуктов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Данная трактовка категории «экономия энергии» сформулирована и принята к использованию на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН.

Эффективная стратегия современного потребителя энергоуслуг заключается во всемерном снижении необоснованных потерь энергии. Оценка потерь в сфере производства, распределения и потребления источников энергии показывает, что большая часть потерь – до 90% – приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9–10% [3]. Поэтому основные меры по энергосбережению должны быть реализованы именно в сфере потребления энергии.

Все потребление населением энергетических услуг можно сгруппировать по четырем основным направлениям (Рис. 1). Представленные доли отдельных потребляемых энергоуслуг являются усредненными и во многом обусловлены площадью жилой недвижимости, используемой системой отопления и типом кухонных плит (газовая, электроплита).

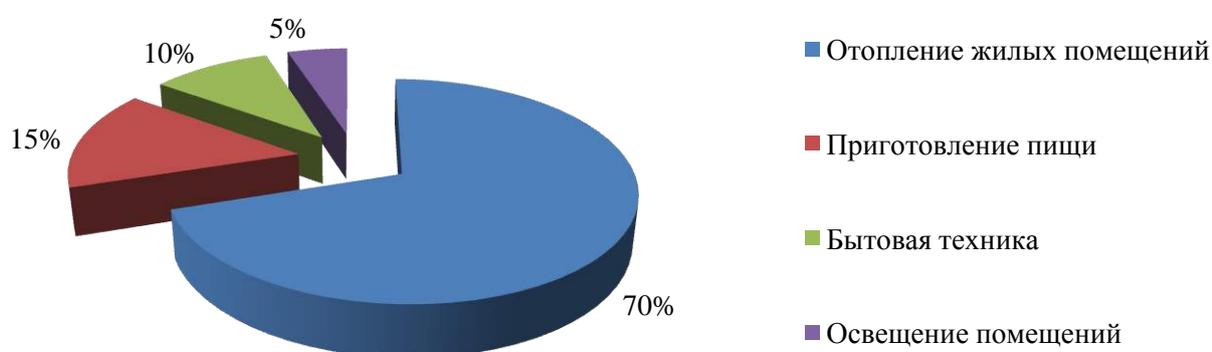


Рис. 1. Структура потребления энергетических услуг населением

Формируя эффективную стратегию современного потребителя энергоуслуг необходимо использовать как традиционные методы экономии энергетических ресурсов, так

и новейшие способы их рационального использования и минимизации потерь.

К основным традиционным методам экономии энергетических ресурсов относятся меры по рациональной организации ведения домашнего хозяйства (рис. 2).

Новейшие технологии энергосбережения, постепенно внедряясь во все сферы жизнедеятельности человека, способствуют значительной экономии энергетических ресурсов. Под технологией энергосбережения следует понимать новый или значительно усовершенствованный технологический процесс, который характеризуется более высоким коэффициентом полезного использования энергетических ресурсов.

Внедрение энергосберегающих технологий в жизнедеятельность населения обуславливает решение многих экологических проблем – изменения климатических условий, загрязнения атмосферы земли, истощения не возобновляемых ресурсов и др.



Рис. 2. Традиционные методы экономии энергетических ресурсов

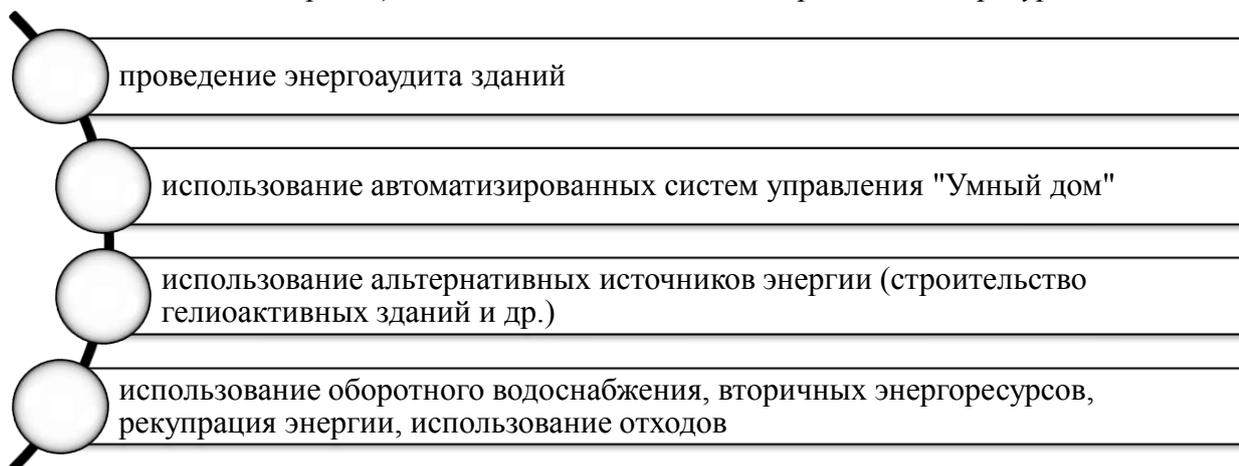


Рис. 3. Новейшие методы экономии энергетических ресурсов

Кроме экономии природных ресурсов эффективная стратегия современного потребителя энергоуслуг предполагает внедрение системы экономического стимулирования, которая включает субсидии, льготное кредитование, налоговые стимулы и т.д., предоставленные государством на меры по повышению энергоэффективности в зданиях.

Следует уделить большое внимание мониторингу потребления всех видов энергетических ресурсов. Это поспособствовало бы использованию системного подхода и

программно-целевого управления с целью повышения энергоэффективности экономики России.

Таким образом, предлагаемые мероприятия направлены на решение указанных проблем с целью повышения энергоэффективности предприятий, учреждений, жилищного фонда и систем коммунальной инфраструктуры.

Литература:

1. Распоряжение 1234-р «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/251403/#i13046 (дата обращения: 19.12.2017).

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения: 19.12.2017).

3. Энергосбегающие технологии и способы энергосбережения [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/eco/20171205/156573930.html> (дата обращения: 19.12.2017).

УДК 620.9

Исследование эффективности использования шнековой вставки для интенсификации теплообмена

¹Мансурова Реналия Рустамовна, студентка 4-го курса направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;

¹Денисенко Ирина Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»;

²Печенегов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты нефтегазовых, химических и пищевых производств»

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

²Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов

С каждым днем проблемы энерго- и ресурсосбережения становятся все острее. Каждое предприятие ведущих отраслей энергетики стремится сократить как экономические затраты, так и затраты ресурсов на изготовление и эксплуатацию оборудования. Наиболее перспективным решением этой задачи является уменьшение его массы и габаритов.

Так, интенсификацией процессов теплообмена, протекающих в транспортабельных блочных подогревателях нефти и нефтяной эмульсии, можно добиться сокращения металлоемкости конструкции

Одним из способов повышения эффективности интенсификации теплообмена в продуктовом змеевике подогревателя нефти, расположенном в промежуточном теплоносителе, является использование шнекового завихрителя.

Шнековая вставка изготавливается путем отливки или механической обработки и представляет собой деформированную ленту, припаянную к стержню-сердечнику.

Все необходимые расчеты по анализу эффективности интенсификации теплообмена с помощью шнекового завихрителя велись с использованием параметров, указанных в табл. 1 по обобщенным уравнениям теплообмена и гидравлического сопротивления для закрученного потока [1, 2] и рекомендациям [3, 4] для прямого, незакрученного потока.

Таблица 1

Исходные данные

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

В качестве критерия технико-экономической эффективности интенсификации теплообмена использовался относительный затратный параметр, представляющий собой частное от отношения переменных частей годовых расчетных затрат для продуктовой трубы с интенсификатором и для гладкой трубы:

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

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

Расчет эффективности применения шнекового завихрителя с $\frac{d'}{d} = 1$ (где d' – наружный

диаметр завихрителя, d -диаметр трубы) производился для различных значений относительного шага $S/D=\{3,14\div 0,84\}$ при рекомендуемом значении угла закрутки $\varphi=\{45^\circ\div 75^\circ\}$ и скоростях движения теплоносителя $v=\{0,5; 1; 1,5; 2\}$. Обобщенная теплогидравлическая зависимость $(Nu/Nu_{г\text{л}})/(\zeta/\zeta_{г\text{л}})=f(S/D)$ для трубы со шнековой вставкой представлена на рис. 1.

Для труб подогревателя закрутка потока с помощью вставленного в трубу шнека значительно повышает энергетическую эффективность теплообмена по отношению к незакрученному потоку.

При расчете эффективности применения шнекового завихрителя рассматривалось влияние числа Рейнольдса на коэффициент теплоотдачи $(\alpha/\alpha_{г\text{л}})$ для различных значений относительного шага закрутки $S/D=\{3,14\div 0,84\}$. Эта зависимость представлены на рис. 2.

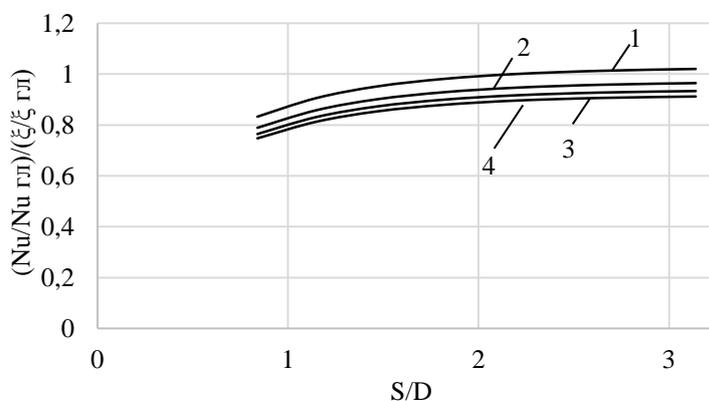


Рис. 1. Зависимость $(Nu/Nu_{г\text{л}})/(\zeta/\zeta_{г\text{л}})$ от относительного шага (S/D): 1 – $v=0,5$; 2 – $v=1$; 3 – $v=1,5$; $v=2$

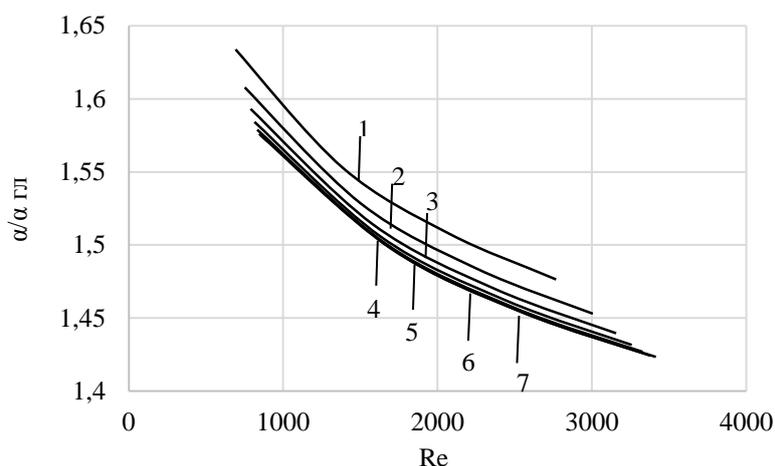


Рис. 2. Зависимость отношения коэффициентов теплоотдачи $(\alpha/\alpha_{г\text{л}})$ от числа Re : 1 – $S/D=0,84$; 2 – $S/D=1,15$; 3 – $S/D=1,47$; 4 – $S/D=1,82$; 5 – $S/D=2,2$; 6 – $S/D=2,64$; 7 – $S/D=3,14$

Из рис. 2 следует, что установка шнековой вставки для интенсификации теплообмена в продуктовых трубах подогревателя эффективнее при малых числах Re . При увеличении числа Re наблюдается рост относительных затрат. Это связано с увеличением скорости движения потока теплоносителя.

Согласно [5] произведем сравнение объемов продуктовой трубы с интенсификатором

и гладкой трубы по формуле:

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

С точки зрения массогабаритных показателей установка шнековой вставки в трубы подогревателя наиболее эффективна при малых значениях числа Re (рис. 3).

Таким образом, интенсификация теплообмена в трубчатых подогревателях, расположенных в промежуточном теплоносителе, позволяет повысить интенсивность протекающих процессов. Из приведенных расчетов следует, что применение шнековой вставки в качестве интенсификатора приводит к снижению объемов аппарата, а именно, обеспечивает сокращение металлоемкости конструкции почти в 2 раза при рекомендуемых скоростях движения вязкой нефти. Использование шнекового завихрителя при угле закрутки $\varphi = 75^\circ$ и относительном шаге $S/D=0,84$ позволяет достичь максимального эффекта.

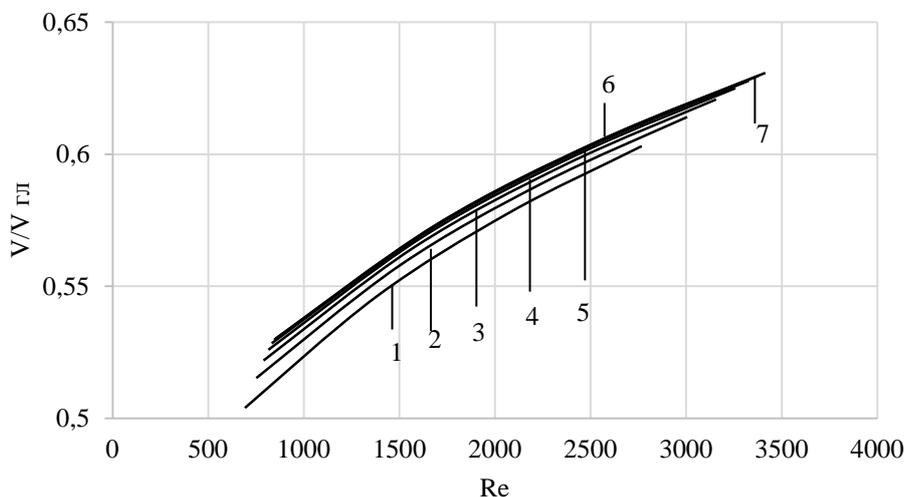


Рис. 3. Зависимость $V/V_{\text{ГЛ}}$ от числа Re : 1 – $S/D=0,84$; 2 – $S/D=1,15$; 3 – $S/D=1,47$; 4 – $S/D=1,82$; 5 – $S/D=2,2$; 6 – $S/D=2,64$; 7 – $S/D=3,14$

Литература:

1. Щукин В. А. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил: учебник/ Щукин В. А.- М.: Машиностроение. 1980. -240с.
2. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах: учебник/ Э. К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А Ярхо - М.: Машиностроение, 1990 - 200с.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи: учебник/ М.А. Михеев, И.М. Михеева – М.: Энергия, 1973. -320с.
4. 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.
5. Дрейцер Г.А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации

теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах/ Теплоэнергетика.

УДК 621.175: 658.2

Энергосберегающий способ работы паровых теплообменников

¹Печенегов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств»

¹Богатенко Роман Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств»

²Денисенко Ирина Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»

³Грачева Юлия Александровна, студентка 4-го курса

¹г. Энгельс, Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А;

²Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

³г. Саратов, институт химии СГУ имени Н.Г. Чернышевского

Конденсат греющего пара выходит из теплоиспользующих аппаратов поверхностного типа с температурой обычно равной температуре насыщения при давлении пара в аппарате. При этом содержащаяся в конденсате теплота составляет значительную долю от теплоты конденсации исходного пара, тем большую, чем выше давление пара (рис. 1). Использование теплоты конденсата целесообразно осуществлять путем залива конденсатом части поверхности теплопередачи пароиспользующего аппарата или же направлять конденсат в другой теплоиспользующий аппарат. Для закрытых систем сбора конденсата его охлаждение в теплопотребляющих аппаратах может быть доведено до 80⁰С, а для открытых систем сбора - до 100⁰С. Из рис. 1 видно, что использование теплоты конденсата позволяет более чем на 20% обеспечить тепловую нагрузку теплоиспользующего аппарата, а, следовательно, на такую же величину уменьшить расход греющего пара.

Более высокое значение температуры охлаждения конденсата для открытых систем сбора обусловлено тем, что при температуре ниже 100⁰С конденсат, контактирующий с воздухом, активно поглощает кислород и углекислоту и это приводит к быстрой коррозии конденсатных линий. В закрытых системах сбора конденсата такого контакта не допускается и они более долговечны. Однако реальная ситуация такова, что подавляющее большинство

промышленных предприятий имеют открытые системы сбора конденсата.

Охлаждение конденсата, кроме того, исключает образование вторичного пара за теплоиспользующими аппаратами по мере снижения давления по пути следования конденсата, а следовательно, и его потери через свечи конденсатных баков. Потери неохлажденного конденсата с вторичным паром через свечи и неплотности соединений сильно растут с давлением греющего пара в аппарате и могут составлять 15% и более от расхода пара (рис. 2). Наличие потерь приводит к необходимости подавать дополнительное количество химически очищенной воды для питания паровых котлов.

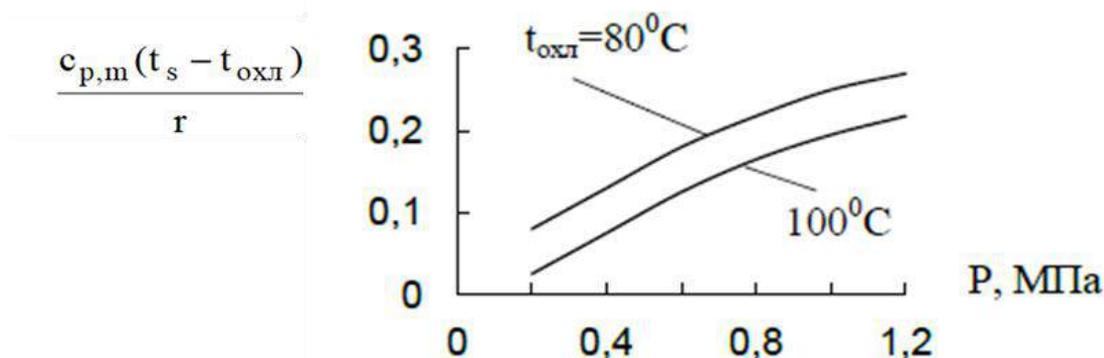


Рис. 1. Зависимость доли теплоты конденсата, образующегося в аппарате, по отношению к теплоте конденсации r греющего пара от давления P : $c_{p,m}$ - теплоемкость конденсата; t_s - температура насыщения греющего пара; $t_{охл}$ - температура охлаждения конденсата

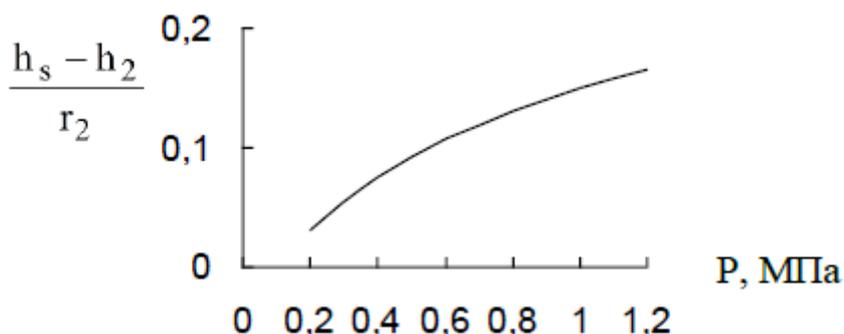


Рис. 2. Зависимость относительного выхода вторичного пара из неохлажденного конденсата от давления P в аппарате (давление расширения конденсата принято равным 0,12 МПа): h_s и h_2 - энтальпии конденсата при t_s и $t_{охл}$ соответственно; r_2 - теплота образования вторичного пара

В настоящее время распространена схема использования теплоты пара, по которой за конденсатоотводчиком основного теплоиспользующего аппарата конденсат с достаточно высоким потенциалом температуры поступает в сепаратор, где из него при пониженном давлении выделяется пролетный пар и пар вторичного вскипания, направляемые для использования в дополнительный теплоиспользующий аппарат. Считается, что такая двухступенчатая схема использования теплоты пара дает возможность уменьшить его потери (через свечи и затворы конденсатных баков, неплотности соединений и т.п.) и увеличить степень возврата конденсата.

Однако во многих случаях целесообразней осуществлять переохладение конденсата, выходящего из основного теплоиспользующего аппарата, за счет залива получаемым конденсатом части поверхности теплопередачи в этом аппарате. При этом отпадает необходимость в сепараторе и дополнительном теплообменнике. Значительно упрощается и удешевляется вся пароконденсатная система. Конденсатоотводчик здесь должен выполнять дополнительные функции регулятора уровня конденсата в теплоиспользующем аппарате. Достигается это путем соединения парового объема поплавкового конденсатоотводчика с паровым пространством теплоиспользующего аппарата и размещением конденсатоотводчика на соответствующей высоте относительно аппарата (рис. 3).

При проектировании новых производств следует отдавать предпочтение данной одноступенчатой схеме использования теплоты пара. Реализация одноступенчатой схемы в действующем производстве сопряжена с некоторым снижением тепловой мощности теплоиспользующих аппаратов.

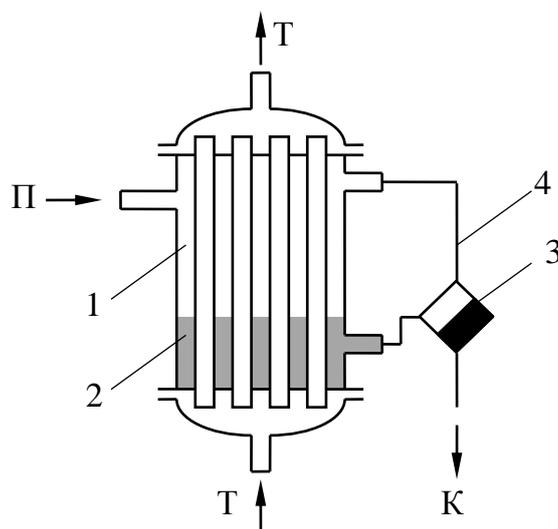


Рис. 3. Схема соединения теплообменника с конденсатоотводчиком: 1 - паровой объем; 2 - конденсат; 3 - конденсатоотводчик; 4 – трубка, соединяющая паровые пространства конденсатоотводчика и теплообменника; П- вход пара; К- выход конденсата; Т- нагреваемый теплоноситель

С целью определения эффективности залива конденсатом части поверхности теплопередачи были проведены расчеты для обогреваемых насыщенным паром с давлением 1МПа подогревателей мазута на Энгельсской ТЭЦ-3. На ТЭЦ-3 установлено восемь многоходовых подогревателей с площадью поверхности теплопередачи $f=100\text{м}^2$, в каждом из которых мазут с расходом $G=30$ т/час подогревается с $t_1=80^\circ\text{С}$ до $t_2=115^\circ\text{С}$. Подогреватели работают без конденсатоотводчиков с частичным сбросом конденсата в дренаж. Другая часть конденсата возвращается для подпитки котлов. Дренажный колодец, куда направлена часть конденсата из подогревателей постоянно находится в клубах пара, что указывает на значительный выход вторичного пара и наличие пролетного пара в конденсате.

Согласно проведенным расчетам, залив конденсатом 15% площади поверхности теплопередачи подогревателя мазута приводит к уменьшению его тепловой мощности на 6,9%. При этом расход пара снизится на 13%. Температура мазута на выходе уменьшится на $1,4^{\circ}\text{C}$ при неизменном его расходе, что по условиям работы ТЭЦ вполне допустимо. Температура конденсата на выходе из подогревателя составит 100°C . При такой температуре вторичный пар образовываться не будет, а, следовательно, исключаются и его потери. Исключаются и потери с пролетным паром, так как слой конденсата в теплообменнике будет служить гидравлическим затвором. Экономия пара на всех восьми подогревателях только за счет снижения его подачи составит 4920 т/месяц. Величина годовой экономии тепловой энергии соответственно будет равна 29000 Гкал, что эквивалентно 4130 т условного топлива. Учет ликвидируемых потерь с вторичным и пролетным паром значительно увеличит получаемую экономию.

Таким образом, можно сделать вывод, что работа обогреваемых паром теплообменников в условиях залива части поверхности теплопередачи конденсатом позволяет существенно уменьшить расход пара и его потери и получить при этом значительный экономический эффект.

К планетарной модели гелиоподобного атома

Самсонов А.В., 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

Атом гелия завершает период и, следовательно, обладает повышенной устойчивостью и симметрией. Анализ показывает, что в произвольном энергетическом состоянии оба электрона атома должны иметь близкие к эллиптическим орбиты, лежащие в одной плоскости, как это показано на рис.1.

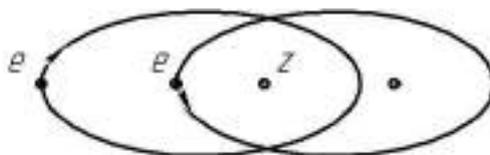


Рис. 1

Для гелиоподобных атомов ($z \neq 2$) - это электроны валентной оболочки. Орбиты, по которым во взаимно противоположном направлении движутся электроны, проходят через центры эллипсов, а ядро атома расположено в одном общем полюсе. Потенциальная энергия взаимодействия, как и в случае водородоподобного атома [1], содержит слагаемые с

противоположными знаками, соответствующие действию на электроны центробежных и кулоновских сил. В предположении, что когда один из электронов находится в афелии орбиты, а другой в перигелии, потенциальная энергия электронов запишется:

$$E_{св1,2} = \frac{m\alpha^2}{2} \left[\frac{1}{(b+c)^2} + \frac{1}{(b-c)^2} \right] - ze^2 \left[\frac{1}{b+c} + \frac{1}{b-c} \right] + 2 \frac{mV_c^2}{2}, \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{\hbar}{m} = V_T r = 1,1576 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$, b и c – большая полуось и половина фокусного расстояния эллипса, V_T и V_C – тангенциальная и центробежная составляющие скорости, m – масса электрона.

Заменяя в (1) « b » через эксцентриситет ε , после преобразования, получим:

$$E_{св1,2} = \frac{m\alpha^2(1+\varepsilon^2)}{b^2(1-\varepsilon^2)} - \frac{2ze^2}{b(1-\varepsilon^2)} + mV_c^2. \quad (2)$$

Взяв производную по « b » и приравняв нулю, находим большую полуось « b_0 » орбит в минимуме потенциальной энергии, т.е. орбит электронов в основном стационарном энергетическом состоянии:

$$b_0 = \frac{m\alpha^2}{ze^2} \frac{1+\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2}. \quad (3)$$

После подстановки (3) в (1), определяем энергию связи обоих электронов в основном состоянии:

$$E_{св1,2}^0 = - \frac{z^2 e^4}{m\alpha^2(1+\varepsilon^2)}. \quad (4)$$

При этом считаем, что весь положительный «запас» потенциальной энергии в виде третьего слагаемого в (2) при переходе в основное состояние преобразовался в энергию излучаемых фотонов. В пересчете на один электрон, энергии связи (2) и (4) могут быть записаны в виде:

$$E_{св1} = \frac{m\alpha^2(1+\varepsilon^2)}{2b^2(1-\varepsilon^2)} - \frac{ze^2}{b(1-\varepsilon^2)} + \frac{mV_c^2}{2}, \quad (5)$$

$$E_{св1} = K \frac{E_{св1,2}^0}{2} = - \frac{Kz^2 e^4}{2m\alpha^2(1+\varepsilon^2)}, \quad (6)$$

где K – некоторое число, принимающее значения $0 \leq K \leq 1$.

Приравнивая правые части (5) и (6), получим уравнение относительно V_C , не представляющее особого интереса и не показанное в силу своей громоздкости, но исследуя его на экстремум, можно оценить предельное значение скорости V_C и представить её в более компактном виде в зависимости от дробного числа K :

$$V_c = \frac{ze^2}{m\alpha\sqrt{(1+\varepsilon^2)}} \sqrt{1-K} = V_0 \sqrt{1-K}. \quad (7)$$

В процессе диссипации потенциальной энергии электрона, путем излучения им фотонов, центробежная составляющая скорости уменьшается от максимального значения V_0

до некоторого промежуточного значения V_c , причем избыток момента импульса переходит в суммарный момент импульса целого числа излучаемых фотонов:

$$m(V_0 - V_c)r = N\alpha m \quad (8)$$

Излучение фотона электроном происходит в момент его максимального торможения в определенной точке орбиты с радиус-вектором \vec{r} , для модуля которого можно записать:

$$mV_c r = \alpha m \quad (9)$$

Выразив r из (9) и подставляя его в (8), получим:

$$V_c = \frac{V_0}{N + 1} \quad (10)$$

Если орбита, соответствующая данному V_c , устойчива и дальнейшей диссипации энергии не происходит, то для ее номера n можно записать:

$$n = N + 1. \quad (11)$$

Подставляя в (10), находим связь между V_0 и V_c :

$$V_c = \frac{V_0}{n}, \quad (12)$$

где $n = 1, 2, 3 \dots \infty$.

Значению $V_c = V_0$ соответствует параболическая орбита свободного электрона вблизи ядра с $\varepsilon=1$, с которой происходит его захват и переход в связанное состояние.

Сравнивая (12) и (7), определяем значение $K = 1 - \frac{1}{n^2}$ и, подставляя его в (6), получим:

$$E_{св1} = -\frac{z^2 e^4}{2m\alpha^2(1 + \varepsilon^2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right). \quad (13)$$

Полученное выражение квантования энергии не противоречит закону сохранения момента импульса электрона в центральном поле ядра, как это сделано в теории Бора. Причем квантование энергии объясняется как целочисленностью самого фотона, так и количеством излучаемых фотонов в процессе диссипации потенциальной энергии и перехода электрона в основное состояние (дно потенциальной ямы).

Тогда энергия фотона:

$$h\nu = E'_{св1} - E''_{св1} = W \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (14)$$

Излучение фотона многоэлектронным атомом хотя и будет определяться переходом электрона на более низкую дозволённую орбиту, но энергия фотона будет также зависеть не только от разности энергий связи данного электрона, но и всех остальных электронов, поскольку происходит автоматическая перестройка всей атомной структуры. Кроме этого, меняется энергия взаимодействия электронов между собой. Поэтому для любого электрона

сложного атома:

$$h\nu = E_0 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) + \Delta E, \quad (15)$$

где ΔE – некоторая функция n_1 и n_2 , а E_0 – энергия связи электрона в основном состоянии.

Если считать W функцией от n_1 и n_2 , то (14) предпочтительней любых других полуэмпирических выражений, поскольку целочисленность n_1 и n_2 позволяет легко интерпретировать спектральные линии. Изменение энергии связи данного электрона вносит решающий вклад в энергию излучаемого фотона, поэтому W должно быть достаточно близко к E_0 , как при однократной, так и двукратной ионизации гелиоподобного атома.

В связи с изложенным целесообразно составить таблицу значений $\Delta = \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}$, используя которую осуществляется анализ спектра. Для этого любая спектральная линия переводится в энергию фотона, выраженную в электронвольтах по формуле $E = \frac{12397,7}{\lambda, (\text{Å})}$, и из (14) находится W с использованием таблицы значений Δ . Таким образом для каждой линии спектра находятся значения W , а также n_1 и n_2 . Применяя данную методику, была проведена расшифровка некоторых спектральных линий гелия [2], показанных в табл. 1.

Таблица 1

n_1	n_2	Длина волны фотона, Å^0	W , эВ
1	3	584,33	23,87
3	5	7065,20	14,68
3	6	5875,63	25,32
3	7	5769,60	23,69
4	7	5460,73	53,94
4	8	4916,00	53,81
2	3	6678,15	13,36
2	4	4916,00	13,45
2	6	4120,82	13,54
2	7	4026,192	13,41

При малых n_1 и достаточно больших n_2 наблюдаются линии, соответствующие $W \approx 13,6$ эВ, то есть на высших орбитах электрона атом представляется водородоподобным.

Литература:

1. Самсонов А.В. О планетарной модели водородоподобного атома / А.В. Самсонов, А.А. Самсонов // II Всероссийская научно-практическая конференция «Энергоэффективность и энергосбережение»: сб. тр. научн.-практич. конф. – Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016.- том 2. - С. 52-55.
2. Физический энциклопедический словарь./под ред. Б.В. Введенского - М.: Государственное издательство «Советская энциклопедия», 1990.

Применение подогревателей низкого давления на АЭС

Семакин Вячеслав Александрович, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»,
Вандышева Анна Александровна, старший преподаватель кафедры «Атомная энергетика»
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Подогреватели низкого давления (ПНД), предназначены для увеличения экономичности турбины посредством отбора пара с разных ее ступеней, для подогрева конденсата и питательной воды, что нам даст сократить потери в конденсаторе и повышению термического КПД тепловых электрических станций и АЭС [1].

Существуют подогреватели двух основных типов: смешивающего (рисунок 1) и поверхностного (рисунок 2).

Основное условие эффективной работы подогревателей смешивающего типа - обеспечение равномерного распределения в аппарате взаимодействующих фаз (пара и воды). Применение смешивающих подогревателей термодинамически более выгодно, т.к. в них нет перепада температур в поверхности теплообмена и возможно нагреть воду до температуры насыщения греющего пара. И поскольку в них вообще отсутствуют цветные металлы. Эти подогреватели дешевле и проще по конструкции, чем подогреватели поверхностного типа. Но, с другой стороны, применение смешивающих подогревателей осложняется необходимостью использования конденсатных насосов после каждого смешивающего подогревателя, что осложняет и удорожает схему, особенно при высоком давлении пара в отборе [2].

В поверхностных подогревателях нагрев происходит через поверхность теплообмена, которой разделены "горячая" и "холодная" среды. По этой причине температура нагрева воды в поверхностном подогревателе постоянно ниже температуры конденсации греющего пара. При применении поверхностных ПНД откладывается коррозия в конденсатно-питательном тракте. Так же может откладываться на поверхностях теплообмена в парогенераторах двух контурных АЭС и реакторах одноконтурных АЭС. При этом ухудшается теплоотвод и снижается надёжность и тепло экономичность на АЭС. Из-за этого для теплообменных поверхностей ПНД используют материалы, обладающие высокой коррозионной стойкостью. К их числу относят латунь и нержавеющие стали. Латунь не дорогие и имеют высокую теплопроводность. Впрочем, поступление в воду оксидов меди

составляющих основу латуней, не допустимы для одноконтурных АЭС. Поэтому латунные ПНД применяют только в турбинных установках двух контурных АЭС. Однако в будущем возможно для применения для ПНД: перлитных, слабо легированных сталей. Выбор материала трубок теплообменника обуславливается от определенных параметров и в каждом случае свой. К данному вопросу стоит подходить с особой тщательностью, чтобы теплообменник прослужил максимально долго и эффективно.

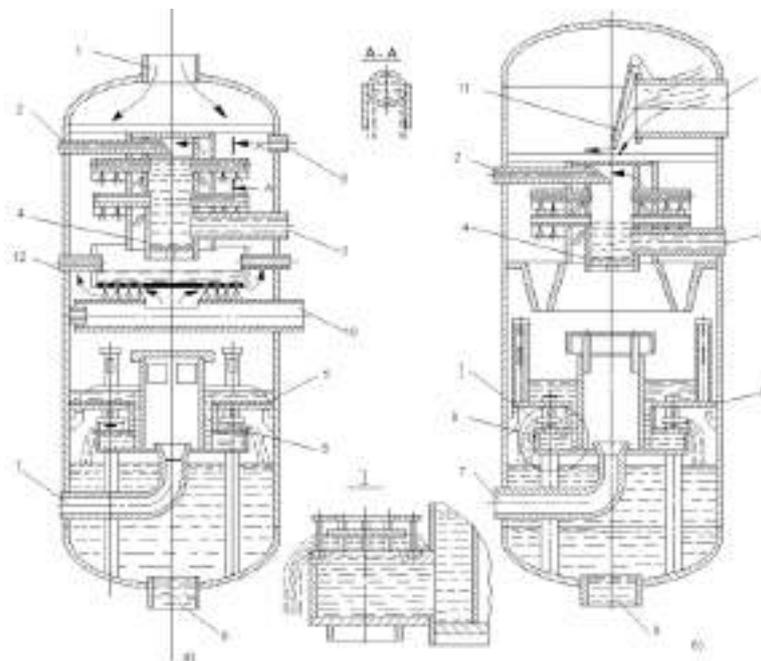


Рис.1. Вертикальные смешивающие подогреватели: 1 – подвод из отбора турбины; 2- отвод паровоздушной смеси; 3 – подвод основного конденсата; 4 – напорный коллектор; 5 – перегородка; 6 – водяной обратный затвор; 7 – аварийный перелив в конденсатор; 8 – отвод конденсата; 9 – подвод воды из обратного затвора; 10 – подвод пара из уплотнений турбины; 11 – паровой обратный затвор; 12 – слив из уплотнений питательных насосов

Повышение экономичности сетевых подогревателей может достигаться также:

- применением коррозионностойких материалов труб и трубных досок;
- обеспечением надежности и плотности закрепления труб;
- организацией приема пароводяных потоков, вводимых в подогреватель с целью ликвидации размывов теплообменных труб;
- поставкой трубных пучков с обеспечением необходимого контроля и высокого качества.

Работа подогревателей основана на теплообмене в результате омывания греющего пара трубок, внутри которых протекает сетевая вода. Подогреватель состоит из сварного корпуса и пары водяных камер верхней и нижней.

Подогреватель сетевой воды представляет собой теплообменник вертикального типа, основными составляющими которого являются: верхняя и нижняя (плавающая) водяные камеры, корпус, трубная система.

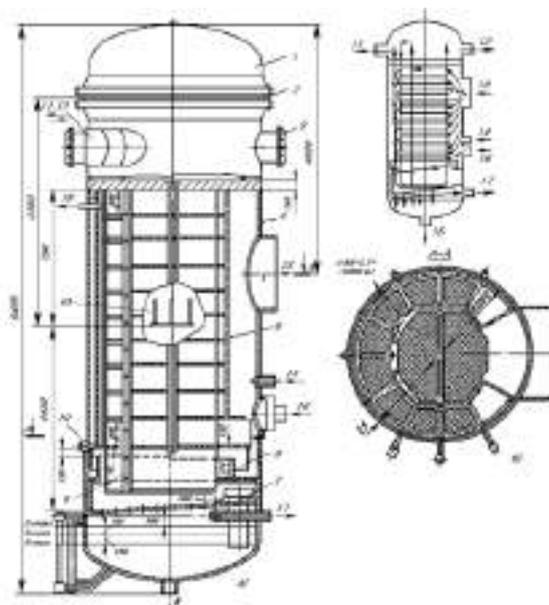


Рис.2. Подогреватель ПН-2300-25-7-IV (R-1200-240): 1 – водяная камера; 2 - мембранное уплотнение фланцевого разъема; 3 – рымы транспортировочные; 4 – корпус; 5 – трубная система; 6 – гидрозатвор; 7 – лоток (поддон); 8 – трубы каркаса трубной системы; 9 – отжимной болт; 10 – опоры; 11, 12 – вход и выход основного конденсата; 13 – подвод пара; 14 – подвод паровоздушной смеси; 15 – отвод конденсата греющего пара; 16 – подвод конденсата из подогревателя с более высоким давлением; 17, 18 – отвод паровоздушной смеси

При сборке частей применяется фланцевое соединение, которое обеспечивает потенциальность их осмотра в профилактических и ремонтных целях.

Вода проходит по патрубку А в водяную камеру 1, которая имеет стенки для организации многоходового движения жидкости. Количество ходов воды в U-образных трубках 4 ПНД обычно их бывает четыре или шесть. Концы трубок завальцованы в трубной доске 2, которая жёстко прикреплена к корпусу 3 и подвешена на своде водяной камеры с помощью крепёжных болтов. Подогретая питательная вода выходит из водяной камеры по патрубку Б, на рисунке 3 он показан в створе с патрубком А. Пар поступает в подогреватель по патрубку В. Внутри корпуса установлены промежуточные стенки для того чтобы организовывалось поперечное многоходовое движение пара. На рисунке 3 показан также патрубок Д для поступления дренажа из других ПНД.

Полный назначенный срок службы подогревателей – 30 лет.

При присутствии повреждений наружных и внутренних устройств теплообменников, испытывает ремонт без снятия его с фундамента. Нахождения неисправных трубок и места нарушения плотности вальцовки могут быть произведены путем осмотра трубной доски через лазовый люк перепускной, или распределительной камер. Неисправные трубки заглушаются, а не плотности вальцовочных соединений устраняются подвальцовкой. Допускается заглушка трубок не более 12...15% от количества их в одном ходу [3].

Среднее время восстановления работоспособности конденсаторов и ПНД (после

обнаружения нарушений в процессе эксплуатации) устраняются относительно быстро, в течение 15 ч, что говорит о достаточно высоком уровне ремонтпригодности трубных систем этих аппаратов.

Современные паротурбинные установки атомных электростанций представляют собой сложные системы, состоящие из большого количества элементов. И важное место среди них занимает теплообменное оборудование. И при улучшении их характеристик мы сможем значительно улучшить КПД паротурбинных установок. В связи с этим становится актуально модернизация подогревателей низкого давления включающее в себя: улучшение материала теплообмена трубок, обеспечение надежности и плотности закрепления труб организацией приема пароводяных потоков, вводимых в подогреватель с целью ликвидации размывов теплообменных труб, поставкой трубных пучков с обеспечением необходимого контроля и высокого качества. Все эти решения приведут в конечном итоге к экономии топлива, снижению стоимости оборудования.

Литература:

1. РД 34.40.508-85 Методические указания по эксплуатации поверхностных подогревателей турбоустановок ТЭС и АС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200056169/>. (Дата обращения 15.12.2017г.)
2. Поверхностные и смешивающие подогреватели [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mybiblioteka.su/1-66432.html/>. (Дата обращения 15.12.2017г.)
3. Сиситема регенерации низкого давления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vikidalka.ru/3-17559.html/>. (Дата обращения 15.12.2017г.)

СЕКЦИЯ 2

«ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 669.15

Условия работы конструкционных материалов в атомных энергетических установках в контакте с первым контуром

Киреев Е.А., ВИ НМК ОДМиТК

Балаковская атомная электростанция, г. Балаково

При выборе конструкционных материалов для ядерных энергетических установок необходимо принимать во внимание следующие основные условия:

1. Рабочую температуру;
2. Число и величину циклических изменений механических нагрузок и теплосмен;
3. Напряжение от механической нагрузки, которое в первую очередь определяется давлением теплоносителя при заданных геометрических формах и размерах элементов оборудования;
4. Нейтронное облучение;
5. Влияние теплоносителя на коррозионно-механическую прочность материалов;
6. Влияние химических соединений на материал
7. Влияние ионизирующего излучения

Для сосудов, работающих под давлением, входящих в состав водо-водяных ядерных энергетических установок, основополагающим выбором материала является обеспечение статической прочности.

Корпус реактора испытывает основную нагрузку от внутреннего давления теплоносителя.

При принятых в настоящее время значениях толщины корпусов и нормируемых коэффициентах запаса прочности конструкционные материалы должны иметь при рабочей температуре предел текучести не менее 300 Мпа и предел прочности не менее 400 Мпа с тенденцией к увеличению этих характеристик.

Заданные характеристики прочности должны обеспечиваться во всем сечении металлургических заготовок для современных корпусов реакторов.

Номинальные напряжения в корпусе реактора принимаются ниже предела текучести, однако местные напряжения в зоне геометрических неоднородностей, в частности в зоне патрубков, оказываются в несколько раз больше, следовательно, неизбежно возникновение в

этих местах упругопластических деформаций. Подобные нагрузки могут возникнуть и в гладкой части корпуса у отклонений от норм значительных размеров, например, шлаковых включений в сварных соединениях.

Периодические остановы и пуски реакторной установки, изменения мощности, гидроиспытания и др. вызывают циклическое упругопластическое напряжение отдельных участков корпуса реактора. Следствием циклического упругопластического нагружения может быть образование отклонений от норм (например, образование трещин).

В некоторых случаях необходимо считаться с возможностью существования исходного отклонения от норм. При консервативной оценке следует рассматривать постепенный рост исходного отклонения от норм, начиная с первого цикла. Кинетика процесса распространения отклонения от нормы при циклической нагрузке может существенно изменяться под влиянием теплоносителя.

При гидроиспытаниях эксплуатируемых корпусов, проводимых при повышенном давлении и температуре от 20 до 100⁰С, необходимо считаться с возможностью хрупких разрушений. Кроме гидроиспытаний, опасными могут оказаться режимы аварийного расхолаживания реактора. При этих процессах определяющей нагрузкой будут являться термические напряжения в стенках корпуса реактора, вызванные резким охлаждением внутренней поверхности.

Наиболее опасным следствием нейтронного облучения является ухудшение вязкости стали, применяемой при изготовлении корпуса реактора. Некоторое охрупчивание стали может происходить также при длительном пребывании в области рабочей температуры (тепловое охрупчивание), а также при воздействии циклических нагрузок. Определяющим, однако, является радиационное охрупчивание. Таким образом, радиационная стойкость стали является важной характеристикой и в значительной степени определяет ресурс работы корпуса реактора. Стремление к повышению радиационной стойкости приводит к введению определенных ограничений по содержанию легирующих и примесных элементов в корпусной стали. Особенно велико значение примесных элементов. Введение чистых шихтовых материалов и специальной технологии производства стали для корпусов реактора позволяет снизить содержание вредных элементов и обеспечить существенное повышение радиационной стойкости. Условия эксплуатации ядерной энергетической установки требует предотвращения образования и скопления продуктов коррозии в пределах первого контура. В противном случае возникнут дополнительные трудозатраты при ремонте оборудования первого контура из-за наличия продуктов коррозии.

Водно-химический режим первого контура должен обеспечивать:

1. подавление образования окислительных продуктов радиолиза теплоносителя при

работе энергоблока на мощности;

2. проектную коррозионную стойкость конструкционных материалов оборудования и трубопроводов в течение всего срока эксплуатации энергоблока;

3. минимальное количество отложений на поверхностях тепловыделяющих сборках в активной зоне и теплообменной поверхности парогенераторов;

4. минимизацию накопления активированных продуктов коррозии.

В связи с этим для изготовления основных трубопроводов и оборудования атомных станций стремятся применять конструкционные материалы с хорошими технологическими свойствами.

Литература:

1. ГНД 95.1.06.02. 001-02. Теплоноситель первого контура ядерных энергетических реакторов типа ВВЭР – 1000. Технические требования к качеству. Способы обеспечения качества.

2. Инструкции по ведению водно-химического режима 1 контура (ЮУ АЭС, ЗАЭС, РАЭС, ХАЭС).

3. Маргулова Т. Х., Мартынова О. И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. – М.: Высшая школа, 1987.

4. Хоршева М.И. Водоподготовка, спецхимочистка и химический контроль на атомных станциях. – Севастополь: СИЯЭ и П, 2000.

5. Деев В.И., Щукин Н.В., Черезов А.Л. Основы расчета судовых ЯЭУ: Учебное пособие / Под общей редакцией проф. В.И. Деева. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. –256с.

УДК 621.43

Основные показатели эксплуатационной надежности прецизионных деталей

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры «Атомная энергетика»,

Зайниев Валерий Олегович, 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

Современная тенденция увеличения веса и габаритных размеров при неуклонном росте энергонасыщенности машин в сочетании машин с необходимостью обеспечения приемлемой стоимости обуславливает необходимость поиска новых ресурсов обеспечения эксплуатационной надежности ответственных деталей и сборочных единиц транспортных дизелей. Последнее вызвано тем, что создание новых двигателей внутреннего сгорания, как правило, более продолжительно, чем создание машин, для которых они предназначены и, если учесть, что эти машины должны обладать определенной конкурентоспособностью, в дизелях приходится создавать высокие преимущества в сравнении с лучшими общепризнанными на международном рынке аналогами.

Однако однозначно задать оптимальную форму и размеры ответственных деталей и обеспечить, таким образом, высокую эксплуатационную надежность не всегда представляется возможным. Это связано с рядом трудностей, которые определяются, во-первых, наличием взаимосвязей, когда высоконагруженные элементы оказывают побочные воздействия на другие элементы и могут вывести их из строя и, во-вторых, широким разнообразием условий и напряженно-деформированных состояний, возникающих при реальном нагружении деталей.

В процессе эксплуатации дизелей и других машин приобретает закономерность изменения технического состояния их элементов (табл. 1). Как следует из таблицы 1, несмотря на различие в подходе авторов к причинам отказов, основная часть закономерных отказов обусловлена изнашиванием и усталостным разрушением.

Если исключить из рассмотрения выходы из строя дизелей вследствие резких нерасчетных перегрузок, грубых ошибок при проектировании, эксплуатации или неблагоприятного сочетания перечисленных факторов, то остальные случаи наступления предельных состояний можно отнести к одной из двух групп. В первую группу, типичную для несущих элементов, работающих при высоких условиях общей нагруженности, входят предельные состояния, наступившие в результате постепенного накопления в материале рассеянных повреждений, приводящих к зарождению и развитию усталостных трещин до опасных или нежелательных размеров. Если трещина не обнаружена своевременно, её развитие, как правило, приводит к аварийной ситуации.

Вторая группа включает предельные случаи, связанные с чрезмерным износом трущихся деталей и поверхностей.

Приведём сведения [4], дающие представления о характере отказов в высоконагруженной детали: подавляющее большинство отказов (94%) связано с возникновением усталостных трещин (табл. 2).

Таблица 1

Распределение отказов дизелей по причинам, %

Причины отказов	По данным		
	[1]	[2]	[3]
1	2	3	4
Изнашивание	40	50	41,4
Пластическая деформация	26	35	17,5
Усталостное разрушение	18		15,5
Тепловое разрушение	12	-	14,1
Коррозия	-	15	0,3
Прочие	4	15	3,2

По данным ООО «Дизельсервис», наблюдаемые в эксплуатации отказы транспортных дизелей 6ДМ-21А из-за усталостных трещин характеризуются результатами, приведенными в таблице 3.

Таблица 2

Характер отказа в форсированных дизелях

Характер отказа	Число отказов	%
1	2	3
Развитие трещин	215	94
Дефекты изготовления	5	2
Коррозия	1	-
Ошибка при эксплуатации	3	-
Ползучесть	3	4
Не установлен	2	-
Всего	229	100

Таблица 3

Коэффициент отказа основных узлов дизелей.

Узлы деталей	Коэффициент отказа
1	2
Блок, втулка цилиндра	0,03
Цилиндровая крышка	0,25
Поршневая группа	0,02
Коленчатый вал	0,01
Привод газораспределения, насосов	0,02
Регулятор скорости (золотник, поршень сервомотора)	0,10
Форсунки	0,07
Турбокомпрессор	0,04
Узлы цилиндрической крышки (седла, клапаны)	0,06
Система топливоподготовки	0,04
Трубопроводы	0,02
Пусковая система	0,04
ДАУ	0,04
Подшипники шатунные	0,24
Всего	1,00

Как видно из приведенной информации, наиболее слабыми узлами наряду с цилиндровой крышкой и шатунными подшипниками являются прецизионные детали регулятора скорости: золотник, поршень сервомотора. Применение системы очистки масла снизило износы узла «прецизионная деталь – втулка». Это позволило направлять транспортные дизели 6ДМ-21А в капитальный ремонт с зазорами в регуляторах, не достигших предельных износов. В этом случае основным критерием эксплуатационной надёжности регуляторов скорости является не износостойкость прецизионных деталей, а их усталостная прочность. Типичный вид усталостного повреждения поверхностного слоя поршня регулятора, представленный как пример на рисунке 1, золотника – на рисунке 2, может происходить из-за циклического изменения напряжений в поверхностном слое в процессе работы дизеля, работающего с циклическими нагрузками.



Рис.1. Усталостное выкрашивание поверхностного слоя прецизионной детали (нижнего поршня регулятора скорости)



Рис.2. Усталостное выкрашивание поверхностного слоя прецизионной детали (золотника регулятора скорости)

В дизелях 6ДМ-21А, поступающих в капитальный ремонт, выкрашивание антифрикционного слоя до 25% поверхности имеют 30-57% поршни, свыше 20% поверхности – 30-45% золотники.

При этом выкрашивание поверхностного слоя материала из-за усталостных явлений имеет более 40% поврежденных. В форсированных дизелях, работающих с циклическими

асимметричными нагрузками, прецизионные детали регулятора скорости находятся в особенно тяжелых условиях. Первая поверхностная усталостная трещина, появившаяся в поверхностном слое переменных по знаку упругопластических деформаций, будет расти из-за наличия начальных остаточных напряжений, изучение которых позволяет выяснить причину трещинообразования и наметить технологические пути повышения эксплуатационной надежности дизелей.

Литература:

- 1 . Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит. – М. : Мир, 1974. – 688 с.
- 2 . Козырев, С. П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С. П. Козырев. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
- 3 . Коднир, Д. С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин / Д. С. Коднир. – М.: Машиностроение, 1976. – С. 26-30.
- 4 . Хрущев, М. М. Абразивное изнашивание / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

УДК 681.514

Адаптивная система управления ступенчатым процессом врезного круглого шлифования

¹Мостовой Владимир Дмитриевич, аспирант кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника»;

²Бирюков Владимир Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Атомная энергетика»;

¹Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.

²Балаковский инженерно-технологический институт, г. Балаково;

Станки с ЧПУ обеспечивают автоматизацию и повышение точности выполнения техпроцесса обработки, но не снимают вопросов влияния деформации элементов упругой системы станка под действием сил резания, что приводит к дополнительным погрешностям обработки. Для обеспечения требований по точности приходится ограничивать режимы резания, что снижает эффективность использования современных дорогостоящих станков и обрабатывающих центров.

Для разрешения данного противоречия применяются адаптивные системы управления, обеспечивающие стабилизацию сил резания, деформаций упругих элементов

механических систем станков и других параметров при наличии переменных припусков, нестабильности механических характеристик материала заготовки, износе инструмента и других возмущающих воздействий, что позволяет повысить режимы резания без снижения точности.

Однако адаптивные системы управления имеют ограниченные возможности, что связано с динамическими характеристиками станков как объектов управления и элементов системы, а также с дисперсиями и спектрами возмущающих воздействий. Поэтому для решения поставленных задач обеспечения требуемой точности обработки без снижения производительности или повышения производительности обработки без снижения точности необходимо производить динамический синтез систем с учетом реальных динамических характеристик механических систем станков и спектральных характеристик возмущающих воздействий [1-7].

В данной работе методом математического моделирования проводится динамический синтез адаптивной системы управления процессом врезного круглого шлифования. Данная система является надстройкой над системой ЧПУ, обеспечивающей реализацию программы обработки.

Прототипом разрабатываемой системы управления является система числового программного управления процессом шлифования врезного круглошлифовального станка [1], структурная схема которой приведена на рисунке 1. Система включает реализованный на компьютере или микропроцессоре алгоритм управления ЧПУ, дискретные датчики положения элементов станка, привод главного движения, приводы подач, датчики скорости и положения, устройство связи компьютера с объектом управления УСО (на схеме не показано).

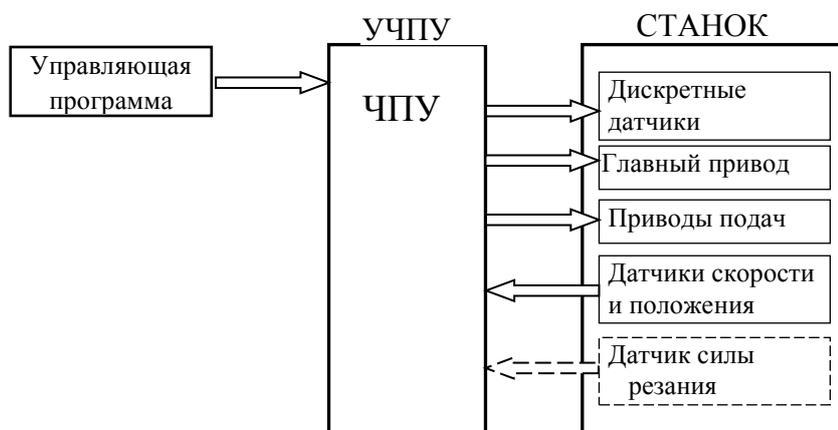


Рис. 1 Структурная схема системы управления процессом шлифования

Циклограмма программы обработки представлена на рис.2. Алгоритм управления рассматриваемой системы представлен в виде программы изменения скорости поперечной

подачи в пределах цикла обработки одной детали рис.2.

Система ЧПУ обеспечивает быстрый подвод шлифовального круга к заготовке со скоростью быстрого перемещения поперечного суппорта $V_{бп}$ (участок 1-2), переход на скорость чернового шлифования (участок 2-3) и сьем припуска при постоянной скорости поперечного суппорта V_{c1} (участок 3-4), переключение электропривода со скорости чернового шлифования на скорость чистового шлифования (участок 4-5), сьем припуска при постоянной скорости поперечного суппорта V_{c2} (участок 5-6), отключение электропривода поперечного суппорта (в точке 6), сьем припуска при неподвижном поперечном суппорте за счет упругих деформаций системы (участок «выхаживания» 6-7), включение на реверс электропривода поперечной подачи в конце «выхаживания» (точка 7) и быстрый отвод шлифовального круга от детали (участок 8-9).

Данная система ЧПУ является разомкнутой. Возникающие при наличии возмущений переменные силы резания и деформации упругой системы станка приводят к дополнительным погрешностям, что приводит к необходимости снижения скорости обработки и не позволяет использовать все возможности станка.

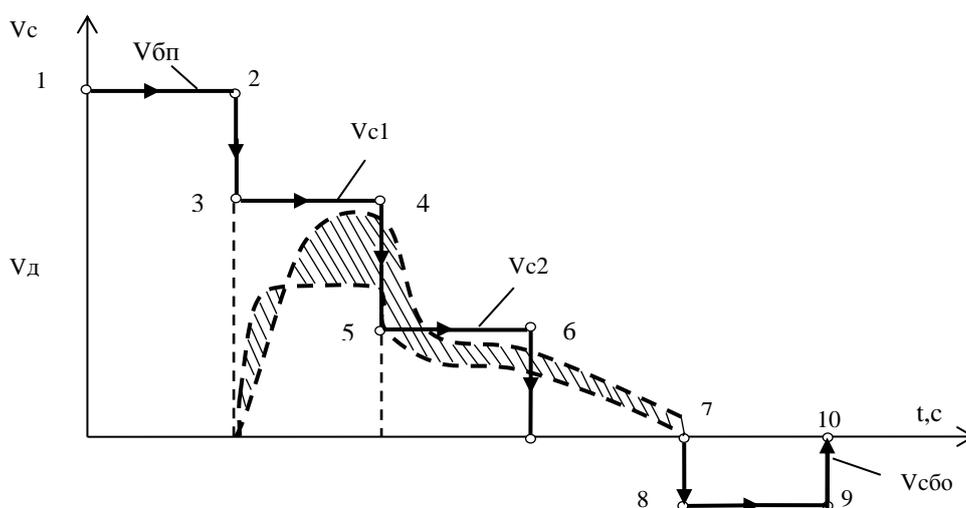


Рис.2. Циклограмма обработки одной детали

Предлагаемая система выполняется в виде надстройки над системой ЧПУ и дополнительно включает датчик силы резания и канал передачи информации от датчика к устройству ЧПУ (показаны на рис 1 штриховыми линиями). Система ЧПУ при переходе на шаг 5 – 6 передает управление системе стабилизации силы резания с дальнейшим уменьшением задания по силе резания на участке выхаживания. Система увеличивает скорость подачи при уменьшении припуска и уменьшает при его повышении. Таким образом, на участке 5 - 6 происходит компенсация влияния возмущающих воздействий. Это приводит к повышению точности обработки и уменьшению прижогов. Возврат управления системе ЧПУ производится в точке 7 при достижении заданного диаметра обрабатываемой

детали. При отклонении качественных параметров шлифования от заданных значений система управления верхнего уровня может корректировать заданные значения силы резания при шлифовании, продолжительность данной операции и программу снижения силы резания при выхаживании.

Работоспособность и эффективность системы управления исследовались методом математического моделирования в системе Simulink. Структурная схема системы с оценками параметров математических моделей элементов системы приведена на рисунке 3.

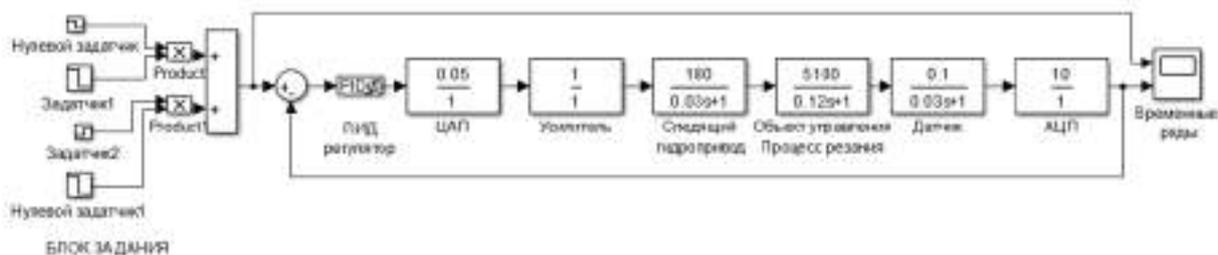


Рис.3. Структурная схема разрабатываемой системы управления в Simulink.

В качестве датчика силы резания предусмотрен тензодатчик типа SPA с нормирующим преобразователем. В качестве исполнительного механизма по поперечной подаче – следящий электрогидравлический привод.

Математическая модель процесса резания получена путём аппроксимации в электронных таблицах Excel экспериментальной кривой переходного процесса по силе резания при ступенчатом изменении поперечной подачи. Листинг программы представлен на рис.4.

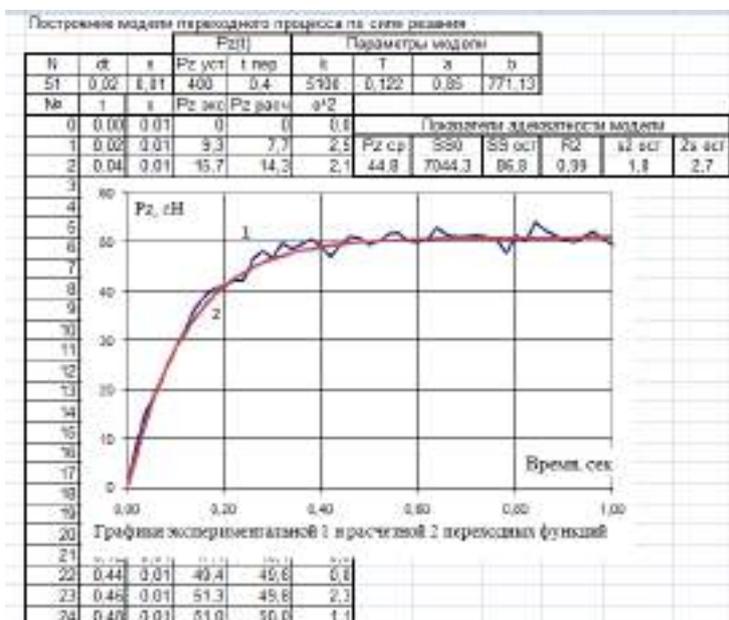


Рис. 4. Листинг программы построения математической модели объекта управления

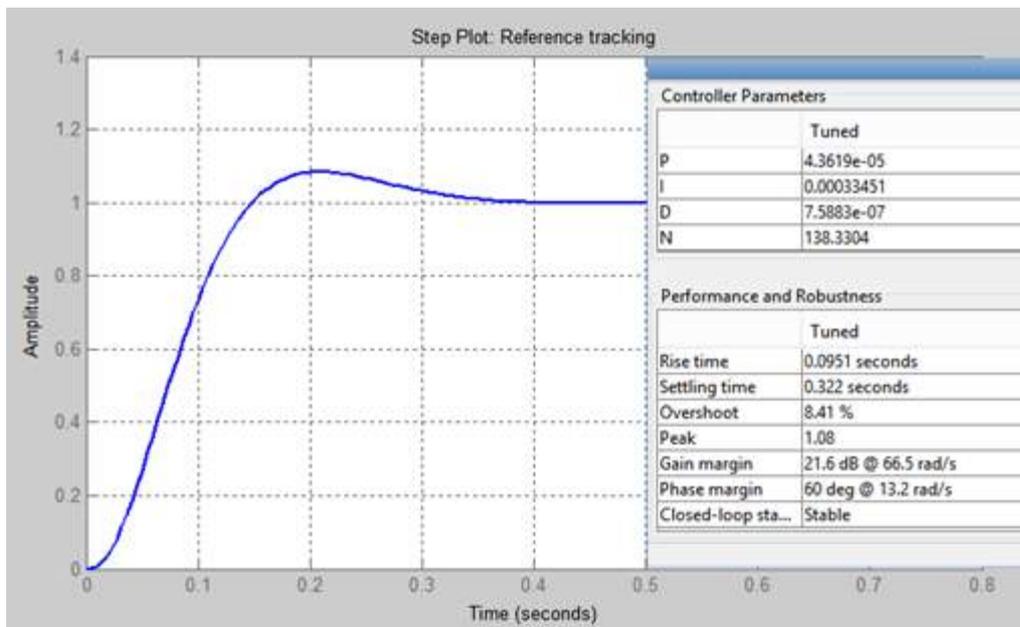


Рис. 5. Результаты настройки ПИД регулятора

На первом этапе моделирования производилась настройка ПИД регулятора при помощи функции PID-Tuner. График переходного процесса и показатели качества системы приведены на рис. 5.

На втором этапе моделирования производился анализ работоспособности системы управления при серии ступенчатого изменения задания. Результаты моделирования приведены в виде временных рядов задания и выхода системы управления на рис. 6.

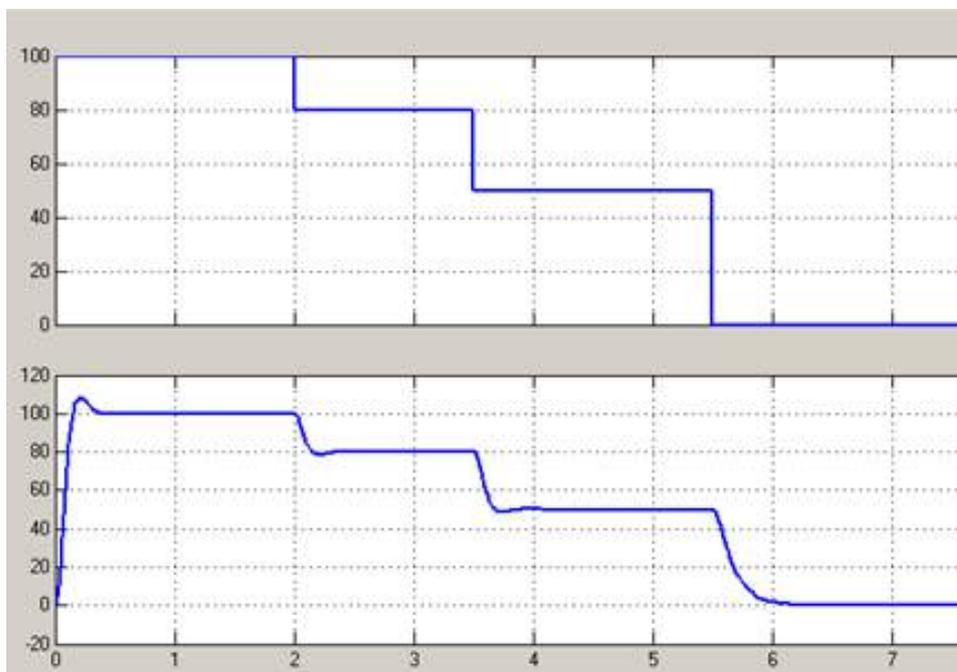


Рис. 6. Временные ряды задания (сверху) и выхода системы (снизу).

На третьем этапе проводилось моделирование при ступенчатом задании и квазигармоническом возмущающем воздействии на объект управления. Возмущение представлялось в виде суммы нескольких синусоид с частотами, определяющими частотный

диапазон возмущающих воздействий на силу резания. Результаты моделирования представлены на рисунке 7.

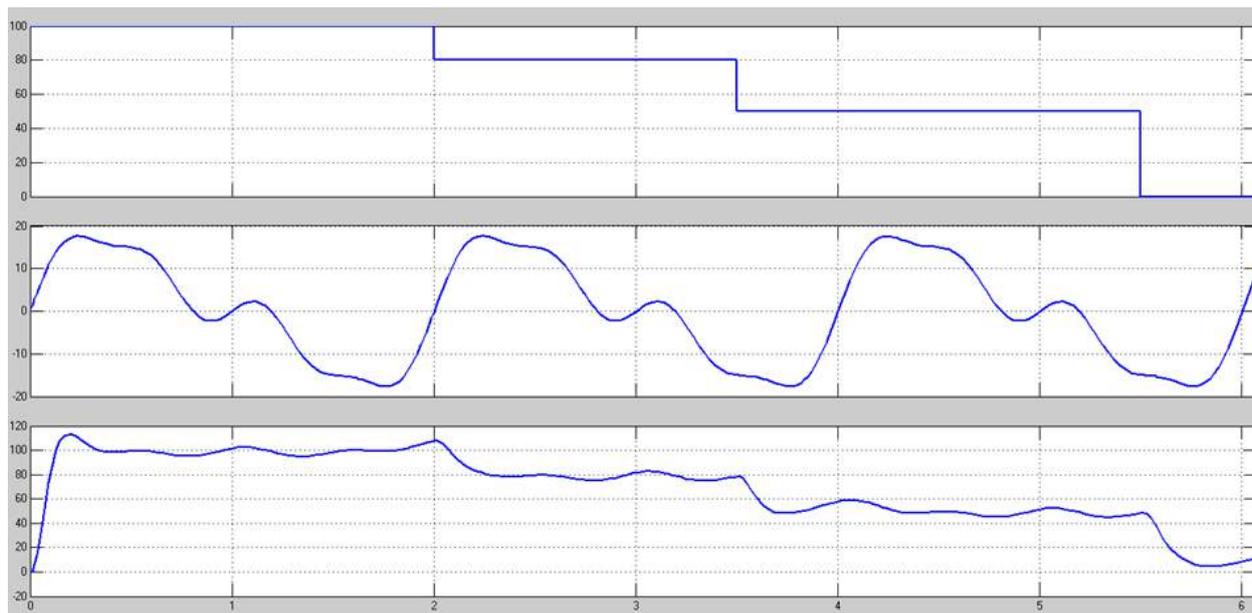


Рис. 7. Временные ряды задания (сверху), возмущения (средний) и выхода системы (снизу).

Результаты моделирования показали, что в области существенных частот система управления позволяет уменьшить влияние возмущающих воздействий и сократить амплитуду их колебаний с $\pm 17\text{Н}$ до $\pm 5\text{Н}$, то есть более чем в 3 раза, что позволяет повысить производительность и точность обработки.

При использовании современных систем ЧПУ на основе персональных компьютеров с открытой архитектурой данная адаптивная система может быть реализована в виде программы пользователя как подсистема системы ЧПУ.

Литература:

1. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. М.:Машиностроение. 1975. – 304 с.
2. Набилкин А.Ю. Многовязная система управления силой резания и положением резца по поперечной оси / С.А. Кравченко, А.Ю. Набилкин, В.П. Бирюков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №3 (58). Вып. 2. С. 201-205.
3. Набилкин А.Ю. Создание многомерной системы управления качественными показателями изделий при токарной обработке / А.Ю. Набилкин, С.А. Кравченко, В.П. Бирюков // Математические методы в технике и технологиях 24: материалы Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2011. С. 46-47.
4. Набилкин А.Ю. Многомерная система управления токарной обработкой нежестких валов / А.Ю. Набилкин, С.А. Кравченко, В.П. Бирюков // Математические методы в технике

и технологиях ММТТ 25: материалы Междунар. науч. конф.. Саратов: СГТУ, 2012. Т.10. С. 17-18.

5. Кравченко С.А. Повышение эффективности системы управления продольным профилем нежестких валов при токарной обработке / С.А. Кравченко, А.Ю. Набилкин, В.П. Бирюков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. №3 (34). Часть 1. С. 339-349.

6. Мостовой, В.Д. Уменьшение дисперсии ошибки системы управления силой резания путем повышения быстродействия управления/ В.Д. Мостовой, В.П. Бирюков, А.А. Игнатъев// Актуальные проблемы автоматизации и управления в технических и организационных системах – 2016-С. 130-138.

УДК 621.039.548

Энергосберегающие технологии в промышленности

Панкратова Юлия Сергеевна, студентка магистратуры специальности «Ядерная физика и технологии», кафедры «Ядерной физики», ДИТИ НИЯУ МИФИ;

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

Сегодня термин «энергосбережение» становится все более актуальным. Но есть много определений этого термина с разными объектами исследования. Энергоэффективность в мировой практике определяется как принятие научных, организационных, правовых, технических, оперативных и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и участие в экономическом обороте возобновляемых источников энергии.

Целью энергосбережения в целом является повышение энергоэффективности по всей стране, во всех ее городах и поселках во всех секторах, развитие экономики и улучшение экологической ситуации. Цель состоит в том, чтобы понять и определить, что можно сделать, какие действия предпринять и как все это возможно.

Сокращение потребления энергии обеспечит небольшие капитальные затраты для инвестиций в развитие инфраструктуры для подключения новых потребителей. Помощь в решении проблем, связанных с удалением санитарно-защитных зон, что влияет на выделение земли для новых потребностей в строительстве объектов генерации [1].

Важнейшая роль в повышении энергоэффективности, рациональном использовании энергетических ресурсов для снижения влияния человека на экологию природы - энергосберегающая технология.

В отрасли более 2/3 энергосберегающего потенциала находится в сфере потребления наиболее энергоемкие отрасли – химическая и нефтехимическая, топливная, строительная, деревообрабатывающая, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная, пищевая и легкая промышленность.

Значительные резервы экономики обусловлены несовершенством технологических процессов и оборудования, схем снабжения. Отсутствие внедрения новых энергосберегающих и безотходных технологий, уровень использования вторичных энергоресурсов, малая мощность технологических линий и агрегатов, использование неэффективного осветительного оборудования, нерегулируемая электрическая, неэффективная загрузка оборудования, низкая измерительные приборы оборудования, контроль и регулирование технологических и энергетических процессов, недостатки, присущие проектированию и строительству предприятий и отраслей, низкий уровень эксплуатационного оборудования, зданий и сооружений [2].

Примерно одна треть используется в машиностроительном котле и печном топливе для литейного производства,ковки и термического производства. Для технологических нужд используется около половины общего потребления тепла и около трети всего электроэнергии. Более трети всего электроэнергии предназначено для обработки [2]. Основными потребителями энергоресурсов в машиностроении являются мартеновская печь, купол, плавильная печь, тягачи (вентиляторы и вытяжные вентиляторы), нагревательные печи, сушилки, прокатные станы, оборудование для гальванотехники, сварочные машины, сельское хозяйство для прессы.

Причинами низкой эффективности использования топливно-энергетических отраслей машиностроения являются низкий технический уровень работы печи, продукция высокого содержания металла, большие металлические отходы при ее обработке, небольшой уровень извлечения отработанного тепла, иррациональная структура используемой энергии, значительные потери в тепловых и электрических сетях.

Более половины резервов энергосбережения может быть реализовано в процессе плавки и литья металлов [3]. Остальные сбережения, связанные с улучшением процессов обработки металлов, в том числе за счет повышения уровня автоматизации, увеличивают использование менее энергоемких по сравнению с металлами и пластмассами других конструкционных материалов.

Крупнейшими потребителями топлива в промышленности являются производство

взрывных и прокатных станков, энергоемкость ферросплавов, добыча полезных ископаемых, прокат стали, производство кислородной и электротехнической стали, тепловая мощность - производство кокса.

Основные направления энергосбережения в этих секторах [4]:

1. Использование эффективных облицовочных и изоляционных материалов и печей, сушилок и тепловых труб;
2. Применение тиристорных частотных преобразователей в процессах индукционного нагреваковки и термической продукции;
3. Реализация энергосберегающих лакокрасочных материалов (с низкой температурой сушки, с водой, с высоким содержанием твердых веществ);
4. Снижение потребления энергии при обработке металлов (замена процессов горячего формования путем экструзии и холодного тиснения);
5. Использование прокатки вместо изготовления зубчатых колес в машинах для подбивки;
6. Более широкое использование методов порошковой металлургии;
7. Использование ЧПУ (компьютерное числовое управление), робототехника и гибкие производственные структуры;
8. Сокращение энергопотребления литья путем сокращения брака.

Сегодня энергоэффективность и энергосбережение рассматриваются в качестве ключевых областей экономического роста во всем мире. Проблема энергосбережения особенно остро стоит потому, что ряд предприятий, городов и регионов сталкивается с нехваткой энергии и различными ограничениями в связи с сокращением природных ресурсов, нехваткой генерирующих мощностей и отсутствием широкого применения экологически чистых технологий. Проблема энергоэффективности и энергосбережения требует комплексного подхода и особенно актуальна в областях недвижимости и строительства, производства электроэнергии и тепла, энергии в промышленности и транспортном секторе.

Литература:

1. Самойлов М. В. Основы энергосбережения: Учеб.пособие / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. 2-е изд., стереотип. – Мн.: БГЭУ, 2002. – 198 с.
2. Безруков П. П. Стандартизация энергопотребления – основа энергосбережения / П. П. Безруков, Е. В. Пашков, Ю. А. Церерин, М. Б. Плущевский // Стандарты и качество. 1993.
3. Исаченко В.П.. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С Сукомел. – М.:энергоиздат,1981.

4. Голубкова Б. Н. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б. Н. Голубкова. – М.: Энергия, 1979.

5. Арсеньев Г.А. Тепловое оборудование и тепловые сети / Г.А. Арсеньев. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

УДК 669.15

Техническое предложение по повышению эффективности энергетической установки с реактором типа ВВЭР

Разуваев А.В. д.т.н., доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика»

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

Целью данного аналитического исследования является повышение надежности и экономической эффективности эксплуатации работы двух контурной ядерной энергетической установки с реактором типа ВВЭР за счет модернизации ее гидравлической схемы первого контура.

Проанализируем ее гидравлическую схему первого контура ядерной энергетической установки [1, 2, 3] имеющей компенсатор давления, упрощенная схема представленной на рисунке 1.

В данной схеме обращает на себя внимание то, что горячая вода не проходит через компенсатор давления, а в качестве источника пара применяются электрические нагреватели, (например, в контуре реактора ВВЭР 1000 используется 4 блока по 6 кассет трубчатых электронагревателей с мощностью по 100 кВт каждый, суммарная мощность подогревателей 2400 кВт).

Первое, это то, что при циркуляции воды по первому контуру, отсутствует циркуляция горячей воды через компенсатор давления и при этом возникают термические напряжения при работе трубопроводов систем и оборудования первого контура за счет возникающего перепада температур. Нагрев объема воды в компенсаторе давления осуществляется электрическими нагревателями, что в свою очередь расходуется электроэнергия на собственные нужды.

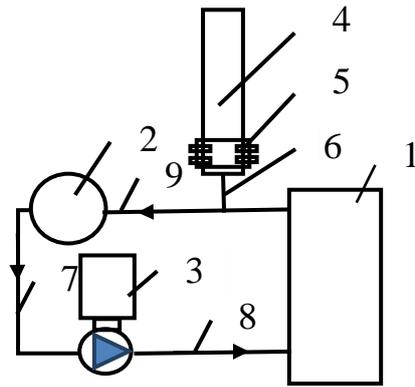


Рис. 1. Принципиальная упрощенная гидравлическая схема первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки: 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – главный циркуляционный насос; 4 - компенсатор давления; 5 - трубчатые электронагреватели; 6 – трубопровод к компенсатору давления; 7 – трубопровод парогенератор – главный циркуляционный насос; 8 трубопровод главный циркуляционный насос – реактор; 9 – трубопровод реактор - парогенератор

В инструкции по эксплуатации В - 320 имеются требования по обеспечению перепада температур в системах первого контура [4].

Тем самым необходимо при работе обеспечивать эти перепады температур, что влечет за собой их контроль, работу системы автоматики и работу электрических нагревателей 5, что влечет за собой потребление выработанной электроэнергии и снижению КПД самой энергетической установки.

Такие обстоятельства приводят к снижению надежности и экономичности самой электрической станции.

Техническое предложение заключается в создании первого контура системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки повышению ее надежности и экономичности путем установки компенсатора давления параллельно реактору, через который обеспечивается циркуляция части воды первого контура.

В ней компенсатор давления подключен параллельно реактору, предлагаемая схема включения компенсатора давления в первый контур системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки представлена на рис 2.

При этом часть горячей воды проходит через компенсатор давления и тем самым, испаряясь, уже создает давление пара в компенсаторе давления, равным давлению насыщения пара при соответствующей температуре. Таким образом, создается часть давления для поддержания необходимого давления пара в компенсаторе давления, а значит, нет необходимости включать трубчатые электронагреватели либо уменьшить их количество, что в свою очередь ведет к экономии электроэнергии и снижению стоимости изготовления электронагревательного устройства.

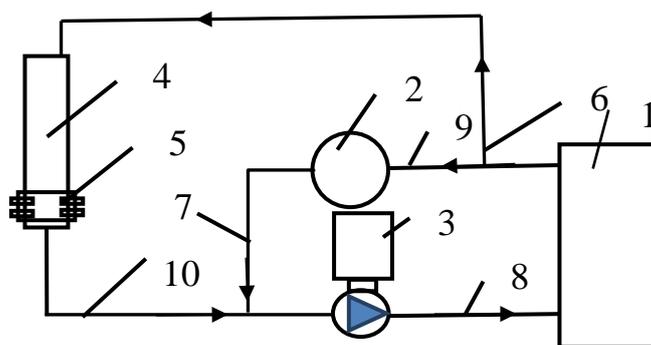


Рис. 2. Предлагаемая схема включения компенсатора давления в первый контур системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки: 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – главный циркуляционный насос; 4 – компенсатор давления; 5 – трубчатые электронагреватели; 6 – трубопровод к верхней части компенсатора давления; 7 – трубопровод парогенератор – главный циркуляционный насос; 8 – трубопровод главный циркуляционный насос – реактор; 9 – трубопровод реактор – парогенератор; 10 – трубопровод от нижней части компенсатора давления на вход главного циркуляционного насоса.

При этом трубчатые электронагреватели 5 могут использоваться для поддержания необходимого давления до необходимого, но с учетом уже созданного давления пара при циркуляции и испарении воды в объеме компенсатора давления. Причем при изменении температуры воды, поступающей в компенсатор давления 4, будет изменяться и давление в нем, а это будет зависеть от нагрузки на реакторе 1.

Далее, при прохождении горячей воды через компенсатор давления будут прогреваться сам корпус компенсатора давления и все трубопроводы и системы первого контура, что приведет к выравниванию их температур, а значит и к снижению внутренних термических нагрузок действующих на них, и как следствие приведет к повышению надежности всей системы.

Тем самым предлагаемое техническое решение, а именно включение компенсатора давления параллельно реактору в первом контуре системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки способствует повышению надежности и экономичности ядерной энергетической установки относительно имеющегося в настоящее время решения. Конечно же, предстоит проведения ряд мероприятий и анализов условий работы по обоснованию этого.

Литература:

1. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учеб. пособие / С.М. Дмитриев, Д.Л. Зверев, А.Г. Орлов [и др.] / под общ. ред. С.М. Дмитриева; НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2008. – 458 с.

2. Т. Х. Маргулова Атомные электрические станции. Издательстве по атомной технике (ИздАТ), пятое издание, 1994, 269 с

3. Конструирование основного оборудования АЭС: учеб. пособие / С.М. Дмитриев, В.А. Фарафонов / под общ. ред. С.М. Дмитриева; НГТУ им Р.Е. Алексеева, Издание 2-ое дополненное и переработанное, 2009, С 509

4. Инструкция по эксплуатации реакторной установка В-320 (с реактором ВВЭР - 1000) ИЭ.4.УА.РЦ-2/01 от 2000 г.

УДК 669.15

Анализ свойств материалов, применяемых в ядерных энергетических установках при их эксплуатационных параметрах

¹Разуваев А.В. д.т.н., доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика»,

²Киреев Е.А., ВИ НМК ОДМиТК, ¹Акинфиева А. А., студентка специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»

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

²Балаковская атомная электростанция, г. Балаково

С целью повышения надежности и экономической эффективности проводится анализ эффективности применения технического предложения по модернизации двух контурной атомной энергетической установки путем включения компенсатора давления параллельно реактору.

В связи с этим необходимо проработать ряд вопросов, которые бы технически обосновано подтвердили уровень эффективности рассматриваемого технического предложения. Это заключается в том, чтобы проанализировать зависимость давления, плотности от повышения температуры воды, проанализировать параметры применяемых материалов, которые используются при изготовлении основного оборудования (реактора, парогенератора, технологических труб).

Давление насыщенного пара возрастает с увеличением температуры, не зависимо от объема. Отсюда можно делается вывод, что давление зависит лишь от температуры.

Эту зависимость установили экспериментально. При постоянном объеме лишь в идеальных газах наблюдается пропорциональность - закон Шарля. Для насыщенного пара зависимость давления от температуры не является пропорциональной.

С увеличением температуры жидкость начинает испаряться быстрее (скорость

молекул увеличивается), между жидкостью и паром нарушается равновесие, плотность пара начинает возрастать. Концентрация молекул также возрастает. Так продолжается до тех пор, пока процесс конденсации уравновесит процесс испарения. Это можно увидеть из формулы Клапейрона-Менделеева $p = nkT$, где k – постоянная Больцмана ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

В данном случае представляется интересным в общем то известную зависимость давления насыщения пара от температуры воды, представленную на рис.1.

Кроме того при этом следует учитывать, что необходимо поддерживать такое давление воды при котором вода бы не кипела, а еще при этом запас этого давления должен быть обеспечивать температуру на 25 градусов выше чем температура насыщения – т.е. вскипание в контуре. Это требование необходимо для обеспечения надежной циркуляции воды в первом контуре энергетической установки. Для этого существует система поддержания необходимого давления пара в компенсаторе давления с помощью тепло – энергетических подогревателей и блока управления этим процессом.

При дальнейшем анализе представляем условия работы и свойства материалов основных изделий энергетической установки.

Корпус реактора работает в весьма жестких условия, а именно: высокое давление, скорость движения теплоносителя, мощные потоки радиационного излучения и высокая температура теплоносителя. Вода является коррозионно-активной средой. Основной материал корпуса — сталь 15Х2НМФА (15Х2НМФА-А), толщина цилиндрической части корпуса (без наплавки) — 192,5 мм, масса — 324,4 т.

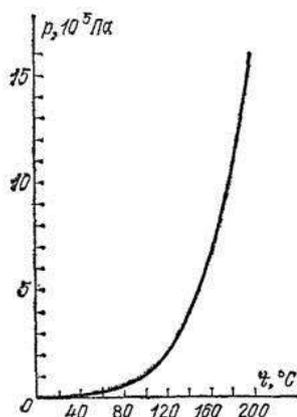


Рис. 1. Зависимость давления насыщенного пара воды

Как уже отмечалось, работа основного оборудования первого и второго контуров атомной энергетической установки представляет достаточно высокие параметры и в частности по температуре.

При этом следует отметить, что с повышением температуры предел прочности и предел текучести материалов резко уменьшается, так например: для углеродистой стали – 460 - 480 °С, для перлитной стали – 550 – 560 °С, для аустенитной стали – 640 – 650°С.

Условия работы различных материалов и их параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Марки сталей технологических труб в зависимости от температуры среды.

Класс стали	Допустимая температура, °С	Коэффициент теплового расширения, мм/(м · К)	Теплопроводность, кДж/(м · ч · К)
Углеродистая (сталь 20)	100 — 450	0,0123 — 0,0145	184 — 146
Легированная перлитная	450 — 580	0,0133 — 0,0147	142 — 115
Мартенситно-ферритная	500 — 700	0,0121 — 0,0126	100 — 99
Аустенитная	100 — 400	0,0171 — 0,0186	50 — 78,5
	500 — 700	0,0186 — 0,0195	80,5 — 95

Кроме того, имеется и такой параметр как допустимые скорости прогрева и расхолаживания материалов для изготовления технологических трубопроводов энергетической установки. Такие параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2

Допустимые скорости прогрева и расхолаживания трубопроводов в зависимости от их диаметра (град/мин).

Процесс	Диаметр трубопровода x толщина стенки, мм				
	219x29	273x36	325x43	275x62.5	219x52
Разогрев	10	8	5	3	4
Охлаждение	8	6	5	2	3

При выборе конструкционных материалов для ядерных энергетических установок необходимо принимать во внимание следующие основные условия: рабочую температуру; число и величину циклических изменений механических нагрузок и теплосмен; напряжение от механической нагрузки, которое в первую очередь определяются давлением теплоносителя при заданных геометрических формах и размерах элементов оборудования; нейтронное облучение; влияние теплоносителя на коррозионно-механическую прочность материалов; влияние химических соединений на материал и ионизирующего излучения.

Для сосудов, работающих под давлением, входящих в состав водо-водяных ядерных энергетических установок, основополагающим выбором материала является обеспечение статической прочности.

Корпус реактора испытывает основную нагрузку от внутреннего давления теплоносителя.

При принятых в настоящее время значениях толщины корпусов и нормируемых коэффициентах запаса прочности конструкционные материалы должны иметь при рабочей температуре предел текучести не менее 300 Мпа и предел прочности не менее 400 Мпа с тенденцией к увеличению этих характеристик.

Заданные характеристики прочности должны обеспечиваться во всем сечении

металлургических заготовок для современных корпусов реакторов.

Номинальные напряжения в корпусе реактора принимаются ниже предела текучести, однако местные напряжения в зоне геометрических неоднородностей, в частности в зоне патрубков, оказываются в несколько раз больше, следовательно, неизбежно возникновение в этих местах упругопластических деформаций. Подобные нагрузки могут возникнуть и в гладкой части корпуса у отклонений от норм значительных размеров, например, шлаковых включений в сварных соединениях.

Эти данные и дальнейший анализ в этом направлении позволит проработать комплекс мероприятий по обоснованию описанного в начале статьи технического предложения по повышению технико-экономического эффекта после применения его на энергетической установке.

Литература:

1. Игнатов В. И., Шутиков А. В., Рыжков Ю. А., Копьев Ю. В., Рыжов С. Б., Беркович В. Я., Семченков Ю. М., Аминов Р. З., Хрусталеv В. А. Повышение номинальной мощности энергоблоков Российских АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. — М.: Наука, 2009. — № 11. — С. 63—66.
2. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000, 2002, с. 223—261
3. Шкаровский А., Рябинин Ю. Повышая эффективность. Внедрение 18-месячного топливного цикла на АЭС с ВВЭР // журнал «Концерн Росэнергоатом». — 2010. — № 7. — С. 32—42.

УДК 621.43

Точка безубыточности при определении эффективности газопоршневой мини-ТЭЦ

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

Костин Дмитрий Александрович, ассистент 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, все большую актуальность приобретают проблемы, связанные с энергетикой. С одной стороны это увеличение потребления энергии, как во всем мире, так и в нашей стране. С другой стороны, все чаще встает вопрос об ограниченности и истощении

топливных ресурсов, в частности, углеводородного топлива: нефти, угля и газа. В связи с этим, остро возникает вопрос о необходимости их экономии. Также, по разным оценкам, от 60 до 70 % территории России не охвачены централизованным электроснабжением.

В сложившихся условиях перспективным решением является использование комбинированных систем энергоснабжения на базе малых ТЭЦ (мини-ТЭЦ). Использование мини-ТЭЦ позволяет получить заметную экономию топлива, повысить эффективность систем энергоснабжения, сократить потери при транспортировке энергии.

Эффективность работы мини-ТЭЦ зависит от средней мощности, на которой она работает. Чем выше мощность, тем ниже удельный расход топлива и связанные с ним затраты, а следовательно, выше экономическая эффективность применения мини-ТЭЦ. Но поскольку установка работает на разных режимах, в зависимости от нагрузки потребителя, то необходимо определить такую среднюю эксплуатационную мощность мини-ТЭЦ, при которой суммарный удельный расход топлива всеми агрегатами будет минимальный, а значит работа мини-ТЭЦ наиболее эффективной.

Рассматривая сооружение мини-ТЭЦ как инвестиционный проект, следует понимать, что его реализация возможна только при условии получения приемлемого уровня экономической эффективности, который выражается в снижении расходов на оплату электро- и тепловой энергии [1].

Оценка экономической эффективности применения мини-ТЭЦ проводилась по методике оценки эффективности инвестиционных проектов на основании следующих критериев: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности инвестиций (ИД); срок окупаемости инвестиций [2]. Однако в данном случае эта методика была адаптирована под особенности объектов малой энергетики. Она учитывает среднюю эксплуатационную мощность установки (а не номинальную, как в большинстве расчетов), а также наличие резервного источника для покрытия пиковых нагрузок или использования при выходе из строя одного из основных.

Наряду с основными показателями эффективности инвестиционных проектов (ЧДД, ИД, срок окупаемости) не менее важным показателем является точка безубыточности.

Точка безубыточности в денежном выражении — такая минимальная величина дохода, при которой полностью окупаются все издержки (прибыль при этом равна нулю).

Перед тем, как найти точку безубыточности, необходимо сначала понять, какие из затрат относятся к постоянным, а какие к переменным, поскольку они являются обязательными компонентами для расчета, причем важно правильно их разделить.

К постоянным затратам можно отнести капитальные затраты на сооружение мини-ТЭЦ: стоимость самой когенерационной установки, стоимость проектных работ, стоимость

блок-контейнера или строительства здания под мини-ТЭЦ, стоимость монтажных работ, затраты на проектирование, монтаж и пуско-наладочные работы газопровода, стоимость обучения обслуживающего персонала, а также стоимость дополнительного источника теплоты в виде газовой котельной блок-контейнерного исполнения.

К переменным затратам относятся: основные и дополнительные материалы, комплектующие, топливо, основная и дополнительная заработная плата основных рабочих (с отчислениями) и др.

Величину точки безубыточности возможно рассчитать в двух выражениях: натуральном и стоимостном [3].

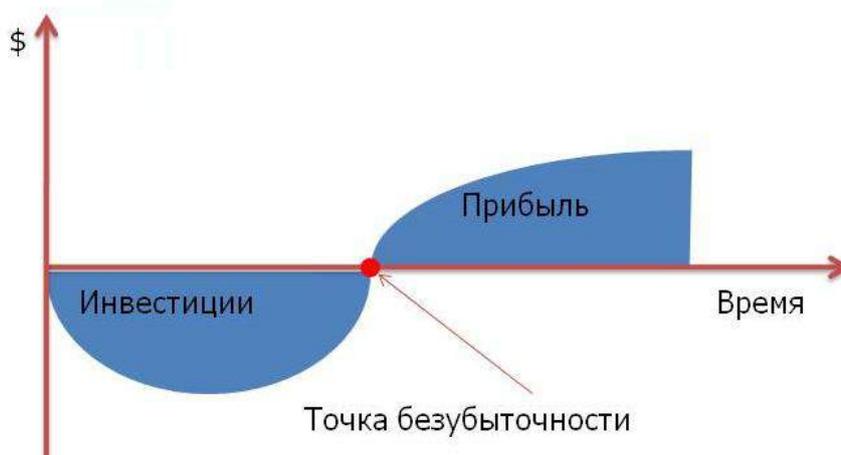


Рис. 1. Точка безубыточности в теории

В натуральном выражении точка безубыточности (ТБУ) рассчитывается при помощи следующих показателей:

- цена товара (услуги, работы) (Ц) – в нашем случае, в качестве товара выступает количество произведенной электрической и тепловой энергии;
- постоянные затраты на производство (ПЗО);
- переменные затраты на единицу товара (ПЗЕ).

Рассчитать ТБУ в натуральном выражении возможно по следующей формуле:

$$\text{ТБУ} = \frac{\text{ПЗО}}{\text{Ц} - \text{ПЗЕ}}.$$

Для получения значения стоимостного выражения ТБУ используются следующие показатели:

- выручка (доходы) (В) или цена (Ц);
- переменные затраты на объем производства (ПЗО) или переменные затраты на единицу товара (ПЗЕ);
- постоянные затраты на объем производства или продаж (ПЗО).

Сначала вычисляется маржинальный доход и его часть (доля) в выручке (коэффициент маржинального дохода).

Размер маржинального дохода (МД) вычисляется как разница между размером выручки и величиной переменных затрат на объем продаж.

$$\text{МД} = \text{В} - \text{ПЗО} .$$

Так как цена определяется как величина выручки на единицу товара ($\text{Ц}=\text{В}/\text{О}$, где О – объем продаж), рассчитать маржинальный доход возможно как разницу между ценой товара и переменными затратами на единицу товара.

$$\text{МД} = \text{Ц} - \text{ПЗЕ} .$$

Коэффициент маржинального дохода (КМД) вычисляется по следующей формуле:

$$\text{КМД} = \frac{\text{МД}}{\text{В}}$$

или (если маржинальный доход вычислялся исходя из цены):

$$\text{КМД} = \frac{\text{МД}}{\text{Ц}} .$$

Оба варианта вычисления коэффициента маржинального дохода дадут один и тот же результат. ТБУ в стоимостном выражении (порог рентабельности) вычисляется по следующей формуле:

$$\text{ТБУ} = \frac{\text{ПЗ}}{\text{КМД}} .$$

В данном случае по итогам расчета получится критическая сумма выручки, при которой прибыль будет равна нулю.

Точка безубыточности показывает эффективность коммерческого проекта и позволяет оценить целесообразность построения мини-ТЭЦ на стадии предпроектных работ.

Литература:

1. Костин, Д.А. Оценка экономической эффективности когенерационной установки для ВУЗа / А.В. Разуваев, Д.А. Костин, Э.Ф. Кочеваткина // ВЕСТНИК Саратовского государственного технического университета - № 4 (73) Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, - 2013. - С 115-121
2. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: Учебное пособие. – М.: Дело, 2002. – 888 с.
3. Что такое точка безубыточности и ее расчет [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://svoedelo-kak.ru/ekonomika/tochka-bezubytochnosti.html>.

Анализ возможного способа повышения количества водорода в компенсаторе давления

Разуваев А.В. д.т.н., доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика»,

Костин Д.А., ассистент кафедры «Атомная энергетика»,

Семина Д.С., студент специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»

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

Был проведен предварительный анализ информации из сети «Интернет» [1, 2, 3] по параметрам работы первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки, в частности, выделения и накопления водорода в паровой части компенсатора давления.

Наиболее распространённым конструкционным материалом тепловыделяющих сборок, используемых в качестве ядерного топлива в реакторах, являются сплавы циркония.

Пароциркониевая реакция - экзотермическая химическая реакция между цирконием и водяным паром, которая идёт при высоких температурах. В частности, реакция может происходить в активной зоне ядерного реактора с водяным теплоносителем, а также замедлителем при её перегреве в условиях контакта циркониевых конструктивных элементов с водой.

В случае тяжёлой аварии с нарушением отвода тепла температура горения топлива может достигать больших значений за счёт остаточного тепловыделения остановленного реактора. В активной зоне даже не кипящих реакторов при этом образуется пар, который по достижении 861 °С вступает в реакцию с цирконием. В результате образуется водород в количестве около 0,491 литра на грамм прореагировавшего циркония и выделяется большое количество тепла — 6530 кДж/кг.

Скорость реакции существенно зависит от температуры, количества подводимого к реагирующей поверхности пара и времени реакции. Причём в реальных условиях количество подводимого пара значительно ниже, чем расчётное, так как подвод пара к поверхности затруднён. В реакции участвуют лишь близкие к поверхности слои пара, при этом образующийся в результате реакции водород препятствует подводу пара к поверхности. На поверхности образуется плёнка ZrO_2 , которая также тормозит реакцию.

Главным фактором выделения водорода в первом контуре является радиолиз теплоносителя под воздействием остаточного гамма-излучения активной зоны. При наличии

в теплоносителе первого контура аммиака идет его разложение с образованием водорода и азота. При отсутствии в теплоносителе аммиака идет разложение воды с образованием водорода кислорода и перекиси водорода. Образующиеся при радиолизе теплоносителя газы находятся в растворенном состоянии.

Условием образования газового объема является снижение давления до уровня, при котором содержание газов в теплоносителе превышает предел их растворимости в следующих режимах работы и состояниях реакторной установки ВВЭР-1000:

- переходные режимы со снижением давления;
- «холодное» состояние;
- останов для ремонта.

Увеличение концентрации растворенного водорода вследствие радиолиза теплоносителя первого контура происходит в состояниях:

- «холодное» состояние;
- останов для ремонта.

В «холодном» состоянии выделение водорода в газообразном виде происходит в паровом объеме компенсатора давления. В состоянии «останов для ремонта» и в переходных режимах выделение газообразного водорода происходит в полостях оборудования реакторной установки.

Скапливающиеся в паровом объеме компенсатора давления газы ухудшают упругие характеристики паровой подушки, что приводит к повышению давления в контуре, особенно в динамических и переходных режимах

Водород, входящий в состав растворенных газов и скапливающийся в паровом объеме компенсатора давления, ухудшает водородную безопасность первого контура. Содержание водорода в любом объеме не должно превышать 3% объема парогазовой смеси, что предотвращает возможность ее самовозгорания [1, 2, 3].

Недостаток паровых компенсаторов давления реакторных установок ВВЭР-1000 заключается в том, что для них необходимо производить постоянную сдувку парогазовой смеси из верхней части парового объема компенсатора давления, принимать эту парогазовую смесь во внешние системы и восполнять потери теплоносителя вместе с необходимым объемом содержащихся в нем химических элементов.

В реакторной установке ВВЭР-1000 сдувки парогазовой смеси из компенсатора давления в барботер составляют в стационарном режиме 250 кг/ч. Потери теплоносителя первого контура периодически восполняют. Для поддержания необходимого водно-газового и химического режима теплоносителя первого контура добавляют в контур воду со специальными добавками: аммиак, гидразин-гидрат для реакторов ВВЭР, водород - для

зарубежных АЭС.

Для выполнения сдувок парогазовой смеси и поддержания необходимого водно-газового и химического режима теплоносителя первого контура в реакторных установках ВВЭР-1000 функционируют разветвленные внешние системы, включающие барботер, холодильники для охлаждения парогазовой смеси и конденсации пара, комплект оборудования для восполнения потерь теплоносителя, система автоматического дозирования аммиака и пр.

Существует конструкция компенсатора давления, который содержит в паровом объеме устройство для конденсации пара, выполненное в виде разбрызгивающего устройства [4].

Его особенностью является применение устройства для конденсации пара, имеющего развитую теплообменную поверхность в виде движущихся капель холодной воды, активно контактирующих с парогазовой смесью парового объема. При этом вместе с процессом охлаждения парогазовой смеси и конденсации пара осуществляется растворение газов в каплях охлаждающей воды и конденсате пара.

Недостаток такого компенсатора давления заключается в том, что капли охлаждающей воды и конденсата пара падают на зеркало кипящей воды, испаряются и растворенные в них газы вновь возвращаются в паровой объем компенсатора давления.

Также существует модель компенсатора давления, в котором с целью экономии электроэнергии установлен поверхностный теплообменник, предназначенный для поддержания температурного режима придонного водяного слоя за счет подогрева паром, поступающим из парового объема компенсатора давления.

Этот поверхностный теплообменник выполняет одновременно функцию холодильника для конденсации пара. Вместе с паром в этот холодильник может поступать и газ, скапливающийся в паровом объеме компенсатора давления. Этот газ, частично в растворенном в конденсате виде, а при большом содержании газа в парогазовой смеси - в виде газовых пузырей, вместе с конденсатом возвращается в контур всасывания главного циркуляционного насоса.

Недостаток данного компенсатора давления с холодильником для конденсации пара заключается в том, что циркуляция пара через него осуществляется за счет перепада давления между компенсатором давления и всасывающим трубопроводом циркуляционного насоса. Поступление газа на лопатки рабочего колеса насоса приводит к возникновению кавитации, срыву циркуляции и разрушению рабочего колеса насоса. Поэтому в данном компенсаторе давления вход пара в холодильник предусмотрен из нижней части парового объема, в котором концентрация газов в паре весьма мала, а в тракте циркуляции пара через

холодильник предусмотрен запорный клапан, отключающий его в режимах работы с большим содержанием газа в паровом объеме компенсатора давления.

Следовательно, возможно повышение содержания водорода в паровой части компенсатора давления в связи с появившимся расходом горячей воды от реактора через компенсатор давления.

На основании проведенного анализа данных о возможности повышения эффективности первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки предлагается установку компенсатора давления осуществить параллельно реактору.

Литература:

1. Паровой компенсатор давления [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/225/2254626.html>

2. Выделение водорода из теплоносителя первого контура РУ ВВЭР-1000 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://doc.knigi-x.ru/22biologiya/152971-1-videlenie-vodoroda-teplonositelya-pervogo-kontura-vver-1000-rukovoditel-temi-martinov-dokladchik-rabenkov-vve.php>

3. Пароциркониевая реакция [Электронный ресурс] – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пароциркониевая_реакция

4. Авторское свидетельство SU 1017108 G 21 D 1/02. Система компенсации давления атомной энергетической установки / Мальцев Б.К., Коршунов А.С. №1017108; заявл. 16.10.1981; опубл. 30.12.1985

СЕКЦИЯ 3
«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

УДК 693.5

Аддитивные технологии в строительстве

Меланич В.М., кандидат технических наук, доцент кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»

Коптилов В.А., студент направления «Строительство»

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

Сущность технологии 3D-печати или аддитивного производства заключается в таком способе создания объекта, когда материал наносится последовательно, поэтому расходуется его столько, сколько необходимо для создания требуемых форм. Процессом управляет компьютер, в чьей памяти заложена трёхмерная модель будущего объекта, нарезанная на тонкие слои-сечения. Устройство, подающее материал движется по траекториям, заданным компьютером, слой за слоем, конструируя будущий объект.

В России также развиваются строительные технологии 3D-печати. Вопрос об их внедрении является весьма актуальным и целесообразным. Следует отметить следующие преимущества аддитивных технологий в строительстве:

1. сокращение сроков строительства, благодаря отсутствию необходимости в специализированной оснастке и оперативности изменений в проекте на этапе производства;
2. возможность и экономическая целесообразность мелкосерийного производства;
3. сокращение потерь и отходов производства, экологичность;
4. возможности для упрощения логистики, сокращения времени поставок, уменьшения объемов складских запасов;
5. создание разнообразных архитектурных решений.

В последнее время работы по освоению аддитивных технологий активно развиваются Роскосмосом, Государственными корпорациями «Ростех», «Росатом».

В настоящий момент главными направлениями развития аддитивных технологий в России являются:

- создание исходных материалов и оборудования;

- разработка комплексных технологий аддитивного строительства;
- формирование сети центров коллективного пользования, в том числе для проведения испытаний, сертификации и стандартизации материалов и конструкций аддитивного производства.

Наряду с прикладными задачами, в развитии аддитивного строительства заметное место должны занимать следующие направления фундаментальных и поисковых научных исследований:

- разработка методов проектирования объектов строительства с учетом возможностей аддитивных технологий;
- разработка требований к материалам, используемым в послойном синтезе;
- создание 3D-принтеров с требуемыми параметрами;
- оптимизация технологических процессов при строительстве;
- исследования основных физико-механических характеристик и конструкционной прочности конструкций, изготовленных с использованием послойного синтеза.

Технология трёхмерной печати предусматривает тесную совместную работу машины и материала. В связи с этим необходимо иметь оборудование, отвечающее высоким стандартам по способности перекачивать и подавать бетонную смесь с определенной скоростью выгрузки и геометрической точностью. Для обеспечения надлежащего качества перекачки формируемая смесь должна обладать относительно низкой пластической вязкостью и низким пределом текучести. В рассматриваемой технологии особую роль отводят «скорости печати», которая должна быть оптимальной, позволяющей ранее наложенным слоям набрать начальную прочность и достаточно быстрой для того, чтобы обеспечить надлежащее сцепление между отдельными слоями. Второй важной составной частью технологии является создание материала с требуемыми технологическими свойствами: изменение реологических свойств формируемых смесей во времени и в требуемых параметрах для перекачки, подачи и укладки бетонной смеси в изделие с учетом скорости выгрузки и геометрических размеров печатающей головки; обеспечение процессов твердения формируемых смесей в требуемом времени.

Для создания стабильного технологического процесса необходимо разработать композиционное вяжущее и подобрать заполнители, обеспечивающие необходимые технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства затвердевшему материалу. Разработанные укладываемые смеси должны обладать требуемыми технологическими и физико-механическими характеристиками:

- способность к перекачиванию;
- время схватывания и температурная динамика;

- способность к экструзии и удобство производства;
- прочность на сжатие, на растяжение, на изгиб.

Строительный 3D-принтер в своей работе использует технологию экструдирования (трёхмерная экструзия), при которой каждый новый слой строительного материала выдавливается из принтера поверх предыдущего слоя по заложенному программой контуру, вырастая стены здания практически любой формы из специальных видов бетонных смесей.

Поверхность, на которой создается объемное изделие, имеет размеры, задаваемые величиной хода «сопла» 3D-принтера. Толщина слоя, наносимого за один прием, должна быть около 3-5 см. При больших толщинах возможно оплывание слоев. Нанесение последующих слоев бетонной смеси зависит от скорости ее твердения, определяемой температурой воздуха, видом вяжущего, наличием добавок (ускорителей и пластификаторов). То есть, состав бетонов нужно проектировать таким образом, что бы он быстро схватывался и не растекался, иначе верхний слой будет разрушать нижний.

В настоящее время за рубежом и в России выявлены следующие проекты строительства с применением 3D технологий:

В Шанхае изготовлено десять 3D-печатных домов, каждый площадью 200 квадратных метров. Благодаря технологии 3D-печати из цемента компании WinSun, один такой дом стоит всего 4800 долларов. Компания WinSun несколько лет работала над технологией строительной 3D-печати и за это время зарегистрировала 77 национальных патентов. Огромный 3D-принтер длиной 150 метров, шириной 10 метров и высотой 6.6 метров использует цемент и стекловолокно, чтобы возводить дома за несколько часов. Как и обычные 3D-принтеры, он «печатает» здания слой за слоем, снизу вверх. Интересно, что вместо новых строительных материалов компания использует строительные и промышленные отходы и отвалы.

По оценкам WinSun, сочетание 3D-печати домов с использованием переработанных промышленных материалов сократит расходы на строительство в 2 раза.

Российская компания ApisCor завершила проект по 3D-печати одноэтажного здания в городе Ступино.

Старт стройки был дан в декабре 2016 года. Спустя 2 месяца проект подошел к своему завершению. Скорость печати составляла 7-10 метров в минуту. Обобщая, средний дом площадью 100 квадратных метров можно напечатать за 1-2 дня. По расчетам компании ApisCor экономия на возведение коробки здания достигает от 40 до 70 процентов по сравнению с традиционных блочным строительством (табл. 1).

Принтер ApisCor позволил напечатать не только несущие конструкции, но и несъемную опалубку для ленточного фундамента, которая заливалась тяжелым бетоном. В

фундаменте демонстрационного дома использовалась обычная стальная арматура, как в традиционном строительстве.

Таблица 1

Сравнение с традиционным строительством

	Газоблоки	Apis Cor
Логистика материалов	-	Меньше в 3.7 раза
Материал на 1м ² стены	1м ³ газоблоков	0.267 м ³ смеси
Скорость строительства 1 м ³ стеновой конструкции	3,56 чел/часа	0,85 маш/часа. Увеличение скорости до 6 раз
Стоимость 1м ²	4445 руб	1556 руб

Одной из особенностей проекта является конструкция стен с дополнительной камерой для заливного или надувного утеплителя. Для того, чтобы связать основную стену с фасадной также использовалась арматура, но этот раз стеклопластиковая, поскольку у неё гораздо ниже коэффициент теплопроводности. Кроме того, при возведении здания применялось горизонтальное армирование: каждые 30-40 сантиметров стеновые конструкции перемежались слоем стеклопластиковой арматуры, которую сверху запечатывал принтер.

Малоформатный 3D-принтер запущен в серийное производство в Ярославле. Особенность принтера в том, что он смонтирован на базе штатного прицепа, к легковому автомобилю грузоподъёмностью 750 кг, что позволяет оперативно доставить его к месту печати, быстро установить и подготовить к работе. Малоформатный принтер S-2020 предназначен для печати бетоном малых форм и элементов беседок, всевозможных ландшафтных построек непосредственно на месте.

В компании Behrokh Khoshnevis (Южно-Калифорнийский Университет) заявили, что в 2010 году NASA оценили технологию 3D-печати для применения в строительстве баз на Марсе и Луне. По прошествии трёх лет, в 2013 году NASA финансирует небольшое исследование в университете для дальнейшего развития 3D-технологии. Потенциал применения этой технологии включает в себя строительство лунной структуры, при этом может быть использовано на 90 % материалов, имеющихся на Луне, и только 10% материала будут привезены с Земли.

Для выстраивания технологического процесса важным моментом является архитектура самого здания. Перспективным направлением может быть строительство двухэтажных арочных домов, что решит проблему перекрытий и позволит строить быстро и недорого.

Аддитивные технологии имеют огромный потенциал в деле снижения затрат на создание самых разнообразных архитектурных форм и видов продукции, сокращения сроков

и стоимости строительства, снижения отходов, упрощения логистики. Несмотря на многие положительные особенности 3D-печати, внедрение данных технологий в России еще не достигло значительного уровня. Это объясняется особенностями самой технологии производства. Существует потребность в создании моделей отечественных устройств 3D-печати, в разработке методов контроля и общей системе национальных стандартов. Применение технологии аддитивного производства для возведения зданий и сооружений позволяет существенно сократить затраты за счет снижения расхода материалов и повышения производительности, открывает новые творческие подходы для архитектурного облика наших городов.

Литература

1. <http://apis-cor.com/3d-printer> - Официальный сайт компании ApisCor.
2. <http://fastsalttimes.com/sections/obzor/1200.html> - Сайт с информацией о принтере WinSun.

УДК 693.5

Композитные материалы для аддитивных технологий

Меланич В. М., кандидат технических наук, доцент кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Ремизова Л. А., студентка направления «Строительство»

Чесноков Н.Д., студент направления «Строительство»

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

Аддитивные технологии (АМ – Additive Manufacturing) достаточно длительный период развивались медленно, и настоящий прорыв отмечают примерно с 2010 года. АМ - технологии нашли применение во многих отраслях: машиностроении, медицине, энергетике, а также в строительстве.

Для успешного применения АМ – технологий в строительстве необходимо применять последние достижения в трех направлениях: информационные технологии (программное обеспечение процесса), робототехника (конструкции, узлы и агрегаты 3D принтера) и материаловедение (рецептуры и свойства материала, в данном случае – бетона, из которого будет возведен будущий объект).

На сегодняшний день многие вопросы в первых двух областях уже решены благодаря тому, что они являются общими для всех 3D принтеров, в какой бы области они не применялись. Иная картина открывается, когда речь заходит о применении 3D принтера в строительстве, и необходимости применения специальных бетонов, которые бы обеспечивали безопасную эксплуатацию зданий, их прочность и долговечность.

В части рецептурного обеспечения аддитивных технологий в строительстве на сегодняшний день наблюдается серьезный пробел. При ближайшем рассмотрении вопроса, создание мелкозернистых бетонов, которые отвечали бы всем строгим требованиям, оказывается непростым.

В большинстве случаев операторы 3D принтеров пытаются использовать существующие сухие строительные смеси. Эти смеси могут иметь различное первоначальное назначение – от клеевых составов до штукатурных смесей, но совершенно очевидно, что они не обеспечивают весь комплекс требуемых свойств в виду иного применения. Для широкого и уверенного внедрения 3D-технологий в практику строительства необходим комплексный подход к разработке рецептуры мелкозернистого бетона.

Для разработки состава сухой строительной смеси для строительного 3D принтера и уточнения задачи исследования необходимо определиться с требованиями, которые должны представляется к тому бетону, как на стадии смеси, так и в затвердевшем состоянии. При этом можно условно выделить типовые требования и требования, обусловленные особенностями технологии (табл. 1).

Большинство смесей, используемых в 3D печати в качестве вяжущего материала используют портландцемент. В дополнении к основному компоненту используют различные добавки: суперпластификаторы и замедлители твердения. В качестве заполнителя используется песок. Для того чтобы уменьшить диаметр сопла 3D принтера, используется песок с необходимым размером частиц. Водоцементное отношение составляет 0,5, средняя величина предела прочности при сжатии – 18,9 МПа [4].

Особый интерес представляют эффективные композиты нового поколения на основе многокомпонентных систем с микро-, ультра- и нанодисперсными наполнителями в сочетании их с добавками. Для этих целей предлагается быстротвердеющий реакционно-порошковый бетон, армированный стальной или полимерной микрофиброй, особенностью которого является отсутствие крупного заполнителя без потери в соотношении вяжущая/твердая составляющие, а также высокие эксплуатационные характеристики (бетон класса В60 и более) [1].

Основные требования к смесям для 3D принтера

Требования к материалу	Общие требования	
	Типовые	Обусловленные особенностями технологии
Требования к смеси	Связность (сплошность).	Формоустойчивость. Способность полноценной гидратации в тонком слое. Регулируемость сроков схватывания.
Требования к затвердевшему бетону	Прочностные характеристики в проектном возрасте. Деформационные характеристики (начальный модуль упругости, ползучесть). Морозостойкость.	Регулируемость кинетики твердения. Обеспечение прочности сцепления между соседними слоями. Ограничение усадочных деформаций.

В последнее время разработан целый спектр строительных композитов на основе быстротвердеющих водостойких композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) модифицированных различными видами минеральных добавок. С целью получения не расслаивающихся бетонных смесей на основе КГВ для применения в технологии послойного синтеза, применяют комплексные химические добавки, включающие замедлители сроков схватывания, супер- и гиперпластификаты, способные обеспечить возможность регулирования и управления структурообразованием в пластичном состоянии.

Высокодисперсные наполнители с удельной поверхностью не менее 500-600 м²/кг, получаемые тонким измельчением техногенного сырья - кварцевый песок, туф, мел и др. способствуют эффективному управлению процессами внутреннего структурообразования композитов, обеспечивая высокое качество изделий на их основе [2].

Во Владимирском государственном университете ведутся разработки грунтобетона, который можно будет применять в качестве материала для печати. В состав смеси входит глинистый грунт, магниальное вяжущее, в качестве затвердителя используется раствор сульфата магния. Для повышения водостойкости композита используется дигидрофосфат калия. Стоимость грунтобетона в 5-7 раз ниже стоимости бетона, применяемого в технологии трехмерной печати, при равных прочностных характеристиках [3].

Широкое применение в 3D технологиях может найти цементная смесь с фиброволокном.

Добавление фибры в бетон позволяет достичь сразу нескольких целей:

- армирование бетона, вплоть до полной замены армокаркаса на фиброволокно, обеспечивая тем самым жёсткость и прочность конструкции, уменьшая её вес и снижая расходы на создание армокаркаса;

- повышение пластичности цементных растворов, что особенно важно для равномерной подачи смеси через печатающую головку строительного принтера;
- уменьшение удельного веса смеси, позволяющее наносить большое количество слоёв при печати;
- повышение износостойкости бетонных изделий, при полном застывании бетона;
- защищенность от внешнего воздействия влаги и агрессивных веществ. Капилляры, образующиеся в процессе дегидрации бетона, заполняются фиброволокном, не позволяющим проникать в бетон влаге из вне.

Применение фиброволокон позволяет получить подвижность смеси, печатать элементы сравнительно большей высоты. Однако лабораторные испытания контрольных образцов показали, что прочность относительно невелика: при сжатии в возрасте 28 суток 1,6 МПа, а прочность на растяжение при изгибе чуть менее 1МПа.

Совершенно понятно, что применение металлической арматуры, при армировании возводимых зданий в привычном понимании, при печати на строительном 3D принтере вызывает трудности. Частично эта проблема решается применением фиброволокна, частично путем привычного армирования в технологические пустоты стен при сборке зданий с последующей заливкой бетоном. Не исключается возможность горизонтального армирования – укладки арматуры или плоских армокаркасов между слоями изделий в процессе печати.

3D- технологии, несомненно, окажут огромное влияние на развитие строительной отрасли. Значительный экономический эффект связан с меньшим количеством труда, необходимого для строительства.

Литература

1. Калашников В.И. Как превратить бетон старого поколения в высокоэффективный бетон нового поколения // Бетон и железобетон. 2012. №1. С. 82-89.
2. Елистраткин М.Ю., Лесниченко Е.Н. и др. К вопросу о возможных практических реализаций послойного формирования строительных изделий и конструкций // Международная научно-техническая конференция. Белгород. 2016.
3. Рамазанов А.А. Грунтобетон в закладке фундамента // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3 (30). С. 43-47.
4. Khoshnevis B., Hwang D. Mega-scale fabrication by contour crafting // Int. Industrial and Systems Engineering, vol11. №3. 2006

Материаловедческие исследования трубного пучка парогенератора ОПГ-1 реактора БОР-60

Панкратова Юлия Сергеевна, студентка магистратуры специальности «Ядерная физика и технологии», кафедры «Ядерная физика», ДИТИ НИЯУ МИФИ;
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Димитровград

В составе реакторной установки БОР-60 эксплуатируется микромодульный парогенератор обратного типа ОПГ-1. Время работы в парогенерирующем режиме к настоящему времени составило ~188000 ч. Установленный ресурс парогенератора – 200000 ч. Для обоснования продления срока эксплуатации парогенератора необходима оценка состояния элементов установки.

Основное отличие ОПГ-1 от парогенераторов традиционной конструкции, заключается в том, что натрий циркулирует в трубном пучке, а вода и пар – в корпусе. Парогенератор ОПГ-1 состоит (по проекту) из семи нерегулируемых секций, соединенных коллекторами по натрию, воде и пару. Каждая секция объединяет три модуля: подогревательный (водяной экономайзер), паропроизводящий (испаритель) и перегревательный (пароперегреватель) элементов [1-2].

Для материаловедческих исследований из каждого модуля парогенератора были вырезаны фрагменты из центральных и периферийных трубок.

После вырезки секции из парогенератора проводился визуально-оптический осмотр трубок. Выявлено, что все поверхности покрыты слоем отложений. Цвет, характер, их концентрация меняется по высоте секции.

В зоне пароперегревателя количество отложений минимально. Максимальная загрязненность поверхности трубок рыхлыми отложениями приходится на экономайзерный участок и достигает величины ~300 г/м². Максимальная толщина (~200-220 мкм) плотных многослойных отложений обнаружена на трубках испарительного модуля в зоне кризиса кипения. Проведена консервативная оценка скорости коррозии металла теплообменных трубок на различных участках. Скорость общей коррозии на участке пароперегревателя составляет 0,001 мм/год., на испарительном участке составляет 0,006 мм/год; на экономайзерном участке составляет 0,005 мм/год.

Наряду с общей коррозией на наружной поверхности всех исследуемых трубок по

высоте секции было обнаружено язвенное поражение металла.

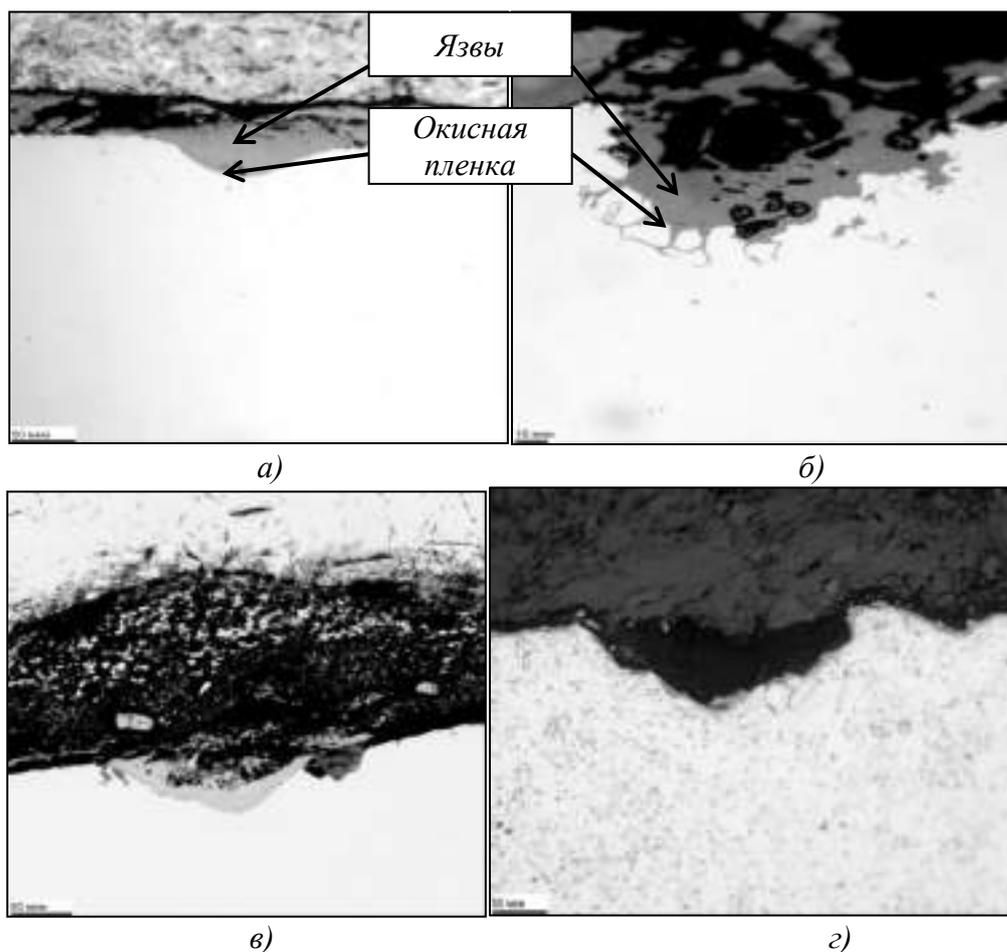


Рис. 1 – Язвенные коррозионные поражения металла теплообменных трубок со стороны пара и воды различных фрагментов секции: а) фрагмент Ф1 пароперегревателя; б) фрагмент Ф3 (зона кипения); в) фрагмент Ф4 испарителя, з) фрагмент Ф7 экономайзера

На участке пароперегревателя обнаружены единичные язвы, глубиной не более 50-60 мкм. Наиболее крупные язвы наблюдались на фрагментах испарителя. Максимальная глубина язвенной коррозии в испарительной зоне (кризиса кипения) достигает ~250 мкм.

Установлено, что в зоне пароперегревателя практически все исследуемые язвы запассивированы, дно их покрыто плотной окисной пленкой. В зоне испарителя и экономайзера язвы в большинстве своем «развивающиеся» по границам зерен. На рисунке 1 приведен вид язвенных поражений материала теплообменных трубок.

При исследовании не обнаружено признаков взаимодействия материала с натрием

На основании проведенных исследований показано, что состояние материала теплообменных трубок после 188000 часов эксплуатации не являются критичным для продления работы парогенератора в сверхпроектные сроки. Полученные экспериментальные данные по параметрам коррозионных повреждений материала будут использованы для обоснования продления срока эксплуатации ОПГ-1.

Литература:

1. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки на быстрых нейтронах: Учебное пособие / Н. Г. Рассохин. – М.: Атомиздат, 1972. – 384 с.
2. Технический проект II-го экспериментального парогенератора 30 МВт для БОР-60: отчет. – Брно, 1977. – БО-ОТН-3-140-77, ЧССР. – 14 с.

УДК 624.014

Стальные резервуары из сборных элементов для объектов атомной энергетики

Ращепкина Светлана Алексеевна, проф. РАЕ, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»

Ращепкина Алена Алексеевна, студентка группы ДИЗН-41 Саратовского государственного
технического университета, г.Саратов

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

Объекты тепловой и атомной энергетики имеют в своем составе хранилища различных веществ, в состав которой входят резервуары для нефти.

Цилиндрическая стенка является основным несущим элементом стального резервуара и рассчитывается по методике предельных состояний за исключением резервуаров с избыточным давлением выше 70 кПа. Мультицилиндрический резервуар состоит из стеновых панелей, стоек и сферической либо плавающей кровли [1].

Эффективное использование метода рулонирования для резервуаров низкого давления большого объема (до 200 тыс.м³) может быть достигнуто при строительстве цилиндрических резервуаров со стенкой состоящей из отдельных цилиндрических панелей небольшого радиуса (до 15...20м), поэтому толщина листа может быть принята в пределах допустимой для рулонирования (до 16...18мм). Стык рулонов выполняется через жесткий элемент - контрфорс, который передает внутреннее боковое давление на фундамент, а сверху - на кольцевую обвязку в виде балок или ферм.

Объекты тепловой и атомной энергетики имеют в своем составе резервуары заданного типа и объема. Применение мультицилиндрического резервуара рассмотренного типа должно обеспечить экономичность строительства и надежность при их эксплуатации.

Рассмотрим расчет мультицилиндрического резервуара при следующих исходных

данных: расчетное сопротивление стали $R_{wy}=290$ МПа, коэффициент условий работы $\gamma_f = 0,8$, стенка состоит из девяти поясов, высота пояса 2000 мм, $\rho = 0,0009$ кг/см³, $\rho_{изб} = 0$. Для гладкого цилиндрического вертикального резервуара объемом 60000 м³ радиус принят равным $R=33$ м. Для сравнения рассчитаем толщину панели стенки мультицилиндрического резервуара при переменном радиусе (рис.1).

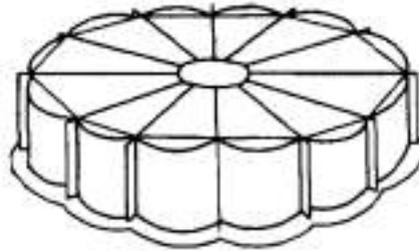


Рис.1. Мультицилиндрический резервуар большого объема

Таблица

Значения толщины t панели резервуара при заданной нагрузке q и радиусе R .

R \ q (h)	8 м	12 м	16 м	20 м	33 м
17,64 (2м)	1	1	1	1	2
35,28 (4м)	1	2	2	3	4
52,92 (6м)	2	2	3	4	6
70,56 (8м)	2	3	4	6	8
88,2 (10м)	3	4	5	7	10
105,84 (12м)	3	5	6	8	12
123,48 (14м)	4	6	7	10	15
141,12 (16м)	4	7	8	11	17
158,76 (18м)	5	7	9	12	19

Анализ таблицы показал, что при использовании мультицилиндрической конструкции со стеновыми панелями уменьшенного радиуса получаем значительную экономию металла. Однако в таблице не учитывается минимальная толщина стенки с учетом припуска на коррозию. Также необходимо произвести проверку изгибающих моментов, возникающих в местах сопряжения панелей стенки.

В вертикальных мультицилиндрических резервуарах соединение стеновых панелей происходит под небольшим углом. При заполнении резервуара в этих стыках возникают значительные местные напряжения и деформации.

Рассмотрим замкнутую полосу единичной ширины толщиной t , состоящей из n одинаковых круговых полос радиуса R , соединённых между собою под углом 2γ . Из условия равенства периметра кругового пояса цилиндрической емкости проектного радиуса R_0 и периметра замкнутой полосы получим зависимость (рис.2):

$$R = R_0 / (1 + n \gamma / \pi).$$

Определим изгибные деформации этой полосы под воздействием внутреннего давления

интенсивностью q .

Изгибающий момент M в поперечном сечении нагруженной полосы и её кривизна $1/\rho$ находятся из выражения

$$M = M_0 + \frac{q(R_0^2 - R^2)}{2};$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2d \left(R^2 \frac{d\varphi}{dS} \right)}{d(R^2)}.$$

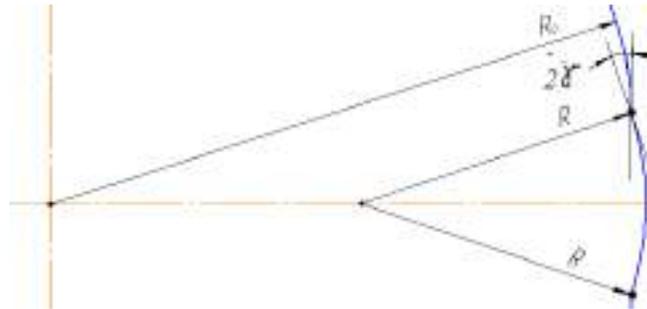


Рис.2. Фрагмент поперечного сечения емкости

Точка 0 – начало полярной системы координат – совпадает с центром замкнутой полосы, M_0 – изгибающий момент в середине круговой полосы ($\varphi = 0$).

После ряда преобразований [2] изгибающий момент по краям цилиндрической панели можно определить по выражению:

$$M_k = \frac{qR^2}{8a[2(am + P) - 1]},$$

где

$$P = (\sqrt{x_0} - \sqrt{x_k} \cos \gamma)(x_0 - x_k). \quad (a)$$

$$m = \frac{(1 - \cos \gamma)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{R_0}{R} \right)^2}{a^{\frac{1}{2}}}, \quad (б)$$

С учётом выражений (а) и (б) момент определится:

$$M_k = \frac{qR^2}{2a^{\frac{1}{2}}} (1 - \cos \gamma)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

где $a = \frac{qR^3}{8EJ} = 1,5 \left(\frac{\sigma_0}{E} \right) (R/t)^2$, $\sigma_0 = \frac{qR}{t}$,

При малых углах $\gamma < 8^\circ$ и $n > 6$, можно принять

$$(1 - \cos \gamma)^{\frac{1}{2}} = \gamma / \sqrt{2},$$

и тогда получим изгибающий момент и наибольшие изгибные напряжения у краев цилиндрической панели, определяемые из линейной теории

$$M_k = \sqrt{qREJ} \gamma \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^{\frac{1}{2}},$$

Напряжения вдоль опорного контура цилиндрической панели определяются:

$$\sigma = \frac{M_k}{W} \leq R_y, \text{ где } W = \frac{1 \text{ см} \cdot t^2}{6}.$$

Построим графики зависимости « t - σ » при следующих данных: $n = \text{const} = 20$, $R_0 = \text{const} = 33 \text{ м}$; $q = \text{const} = 158,76 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}$.

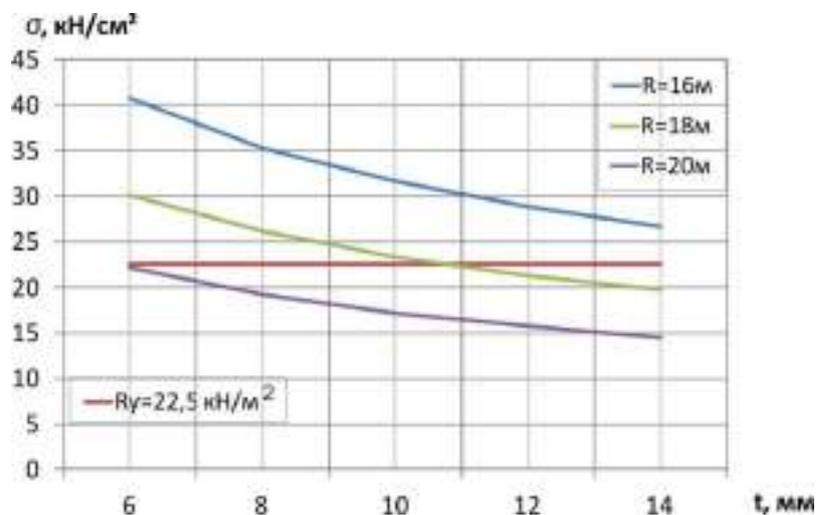


Рис.3. График зависимости напряжений от толщины стенки t и радиуса панели R

Анализируя представленный алгоритм и графики (рис.3) можно сделать вывод о том, что величина напряжений, возникающие в стыке панелей зависит от трех факторов: соотношения R_0/R ; количества стеновых панелей n ; - толщины панели t .

При этом, первый и второй факторы определяют угол сопряжения панелей 2γ (рис. 3).

Выводы. В результате проведенной работы можно отметить следующее.

- при сооружении мультицилиндрических резервуаров большого объема достигается высокая экономическая эффективность;

- величина напряжений, возникающие в стыке панелей зависит от радиуса емкости, радиуса панели, толщины стеновых панелей и их количества, что необходимо учитывать при проектировании.

Литература

1. Ращепкина С.А. Емкость для хранения различных веществ энергетической промышленности /С.А. Ращепкина, А.А. Гейдебрект // Энергоэффективность и энергосбережение. Сборник статей научно-практической конференции. М.: НИЯУ МИФИ. Изд-во: БИТИ НИЯУ МИФИ 2016. – С. 151-153.

2. Ращепкина С.А. Проектирование вертикальных цилиндрических резервуаров. / С.А. Ращепкина, А.А. Землянский, Л.А. Землянский // Учебное пособие. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015. 104 с.

Экспериментальные исследования металлического полого элемента на моделях

Ращепкина Светлана Алексеевна, профессор РАЕ, 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 основе создания полого элемента лежит деформация предварительно сваренных между собой по продольным и поперечным кромкам двух полос требуемой ширины и длины. Рассматриваемый тип стоек – это полые чечевицеобразные гладкие замкнутые оболочечные самонесущие элементы практически неограниченной длины и постоянной толщины по поперечному и продольному сечениям. Деформацию полос производят сжатым воздухом, подаваемым через штуцер в пространство между полосами. За счет пластических свойств и конечной изгибной жесткостью стали полосы остаются в деформированном состоянии и после снятия избыточного давления [1]. В результате из плоских заготовок образуется стержневой элемент полого поперечного сечения (рис.1). Автором был проведен аналитический расчет и дано сравнение с экспериментальными данными ряда моделей.

Рассмотрим случай когда концы стержня имеют шарнирные концы (при этом, концевые сечения закреплены от перемещений в плоскости поперечного сечения и свободны от нормальных напряжений). Если продольные сжимающие силы проходят через центр тяжести поперечного сечения стержня (рис.1), то стержень находится в условиях центрального сжатия [2]. Предполагаем, что моменты M_x и M_y равными нулю. Кроме того, центр тяжести совпадает с центром изгиба стержня и поперечное сечение стержня имеет две симметрии (рис.1). Следовательно, центр изгиба совпадает с центром тяжести. Для координат центра изгиба имеем: $a_x = a_y = 0$. Тогда будем иметь::

$$\left. \begin{aligned} EI_y \xi^{IV} + P \xi'' &= 0, \\ EI_x \eta^{IV} + P \eta'' &= 0, \\ EI_\omega \theta^{IV} + (r^2 P - GI_d) \theta'' &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Так как решение системы будет в виде:

$$(P_x - P)(P_y - P)(P_\omega - P) \cdot r^2 = 0.$$

То для трех сил P_1, P_2, P_3 получаем следующие соотношения:

$$P_1 = P_x; P_2 = P_y; P_3 = P_\omega.$$

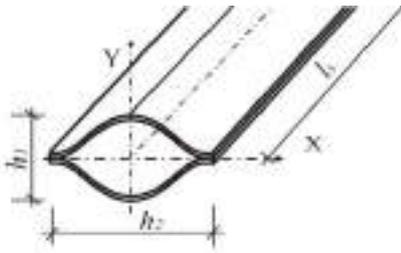


Рис. 1. Сформированное поперечное сечение модели из латуни

Проведенный анализ [3] показал, что критические силы кручения P_{ω} очень велики по сравнению с P_x и P_y , поэтому ими можно пренебречь. Тогда имеем только эйлеровы критические силы. Так как сечение симметричное (рис.1), то критическая сила общей устойчивости стержневого полого элемента определится:

$$P_x = N_{cr} = k_1 k \pi^2 \frac{EI_x}{\lambda_s^2},$$

где k_1 и k коэффициенты, зависящие соответственно от размеров полого стержневого элемента и его длины, а также вида концевых участков; I_x – момент инерции сечения стержня полого поперечного сечения:

$$I_x = n_1 \beta_1 t_s h_s^3.$$

где n_1 и β_1 – коэффициенты, принимаемые по номограмме, составленной автором в зависимости от величины давления сжатого воздуха необходимого для создания полого элемента заданных размеров [3].

Для проведения экспериментального исследования были изготовлены модели из рулонной латуни Л63 толщиной 0,28мм: длина полос $L=700$ мм, толщина полосы $t=0,28$ мм, ширина полос 100мм. Модуль упругости латуни $E=1,1 \cdot 10^5$ МПа.

Для проведения исследований было сформировано 5 моделей полых стержневых элементов. Испытание моделей осуществлялось в прессе (рис.2). Нагрузка подавалась осесимметрично вдоль полой оболочки ступенями по 2500 Н.

Создание моделей производилось давлением сжатого воздуха p , подаваемым между полосами. После формирования оболочки (заданных размеров), избыточное давление снималось, а концевые участки модели обрезались на расстоянии 50мм. В результате образовались оболочки со следующими размерами: длиной $h=600$ мм, с размерами сечения высотой $h_1=2b=60$ мм и шириной $h_2=2a=65$ мм.

Эксперимент выявил интенсивные горизонтальные перемещения как по ширине поперечного сечения полых элементов, так и по высоте модели; причем, при силе сжатия более 3,5 кН началось медленное изменение формы полых элементов; практически во всех моделях наиболее интенсивные изменение формы наблюдались в нижней их части.



Рис.2. Модель полого стержневого элемента: а – схема расположения приборов; б – модель после испытания

Следует заметить, что по середине поперечного сечения полого стержневого элемента перемещения увеличивались, а по ребрам уменьшались (продольные ребра изгибались и перемещались к центру модели). Заметных изменений формы моделей не наблюдалось до осевой сжимающей нагрузки в 350 кг, только при большей нагрузке в моделях в приопорной зоне появились складки и вмятины.

Анализ графиков (рис. 3) показал:

- с увеличением размеров полого элемента критические усилия относительно оси х-х увеличиваются (теоретическая кривая), а относительно оси у-у уменьшаются; критическая точка, при которой происходит потеря устойчивости – $P_x=3,8\text{кН}$;

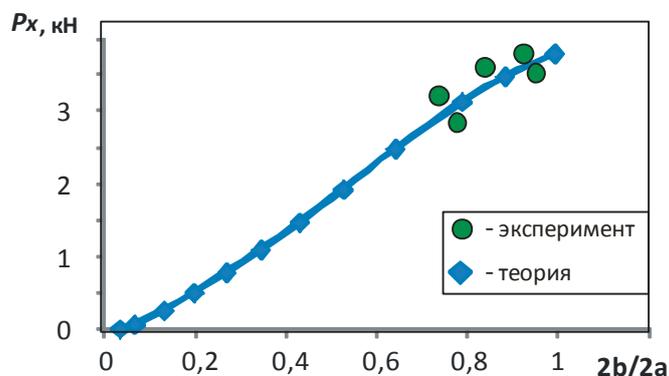


Рис. 3. Зависимость « $Z=2b/2a - P_x$ »

- потеря устойчивости определенная теоретически имеет близкие значения с данными эксперимента, представленного пятью моделями;

- при $Z=2b/2a=0,92$ (для модели ЛМ2-2) потеря устойчивости произошла при величине сжимающей нагрузки равной $P_x = 3,75$ кН;

- разброс экспериментальных данных критической силы $N_{cr} = P_x$ (для пяти моделей) находится в пределах от 2,85 до 3,75 кН, что составляет:

$$(3,75-2,85)*100\%/3,75 = 24\%;$$

при большем количестве моделей сходимость теоретических и экспериментальных данных явно будет выше.

Таким образом, исследования на моделях из латуни показали:

- полое поперечное сечение, сформированное из листового металла, может нести большую нагрузку;
- напряжения в основном сечении оболочки небольшие; разрушалась только приопорная зона, где появились складки и вмятины;
- экспериментальные данные показали хорошую сходимость с расчетом.

Полученные результаты можно использовать при проектировании стоек полого поперечного сечения в сооружениях различного назначения, в частности на объектах тепловой и атомной энергетики.

Литература:

1. Ращепкина С.А. К вопросу технологии производства новых металлических конструкций / С.А. Ращепкина // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. Спецвыпуск, 2009, №3. С.147-150.
2. Ращепкина С.А. К вопросу определения параметров формообразования мини-оболочек металлических емкостей / С.А. Ращепкина // Вестник гражданских инженеров. Санкт-Петербург, 2010, №2. С.54-60.
3. Ращепкина С.А. Проблемы устойчивости полых стержневых элементов в специальных сооружениях / С.А. Ращепкина // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий. Сборник статей II Международной научно-практической конференции. М.: НИЯУ МИФИ, Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. 2016. С.179-182.