

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 8 № 4

**Севастополь
2022**

**Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь:
ФГАОУ ВО СевГУ, 2022. – Т. 8. - № 4. – 92 с.: ил.**

В научный журнал «Энергетические установки и технологии», включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: тепловые и ядерные энергетические установки, электротехнические комплексы и системы, экологическая безопасность, химические технологии атомных станций, информационные технологии в энергетике, моделирование физических процессов, физика в ядерной энергетике, автоматизация процессов контроля и управления, судовые энергетические установки, холодильные установки, гидравлические энергоустановки, компьютерная инженерия и техническая диагностика.

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

Редакционная коллегия:

Якимович Б.А. (главный редактор), д.т.н., профессор;
Губарев Ф.А. (заместитель главного редактора), д.т.н., профессор;
Черкашина Н.И. (ответственный секретарь), к.т.н., доцент;
Кочнов О.Ю., д.т.н., профессор; *Федоровский К.Ю.*, д.т.н., профессор;
Копп В.Я., д.т.н., профессор; *Яковлев Л.А.*, д.х.н., профессор;
Олейников А.Н., д.т.н., профессор; *Завьялов В.М.*, д.т.н., профессор;
Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор; *Омельчук Ю.А.*, к.х.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.*, к.т.н., доцент;
Губин В.Е., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И.*, к.т.н., доцент;
Магдыч Е.А., к.т.н., доцент; *Кучерик Г.В.*, к.т.н., доцент;
Браславский Ю.В., к.т.н., доцент; *Кузнецов П.Н.*, к.т.н., доцент;
Козырь Д.А., к.т.н., доцент;

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Рекомендован к печати Ученым советом ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

© Издание ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки	5
<i>Зацаринная Т.Г., Аникевич К.П., Петула Т.Е.</i> Математическое моделирование системы автоматического регулирования (САР) уровня в компенсаторе давления	5
<i>Кузнецова Н.И., Тарасов Д.Д.</i> Обнаружение, контроли и диагностирование утечек жидкости на АЭС	11
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	15
<i>Артеменко И.Д., Кувишинов В.В., Шахова Н.В., Бордан Д.Ф., Скидан А.А.</i> Использование альтернативных источников энергии для резервных систем питания на основе судового электрооборудования	15
<i>Губин В.Е.</i> Технологии снижения углеродного следа угольных ТЭС	21
<i>Губин В.Е., Лавренчук А.А., Сперанский М.Ю., Пак А.Я.</i> Исследование электрических параметров прототипа технологической установки электродугового синтеза переменного тока в открытой воздушной среде	27
<i>Наишев Р.А., Кувишинов В.В., Бахтина Н.В., Березняк В.А., Тиман Д.И.</i> Использование термальных подземных вод для обеспечения хозяйственных нужд в коммунальном секторе Крыма и Севастополя	32
<i>Чепенюк А.А., Кувишинов В.В., Абейдуллин С.А., Жильцов А.С., Шахова Н.В.</i> Исследование возможности реконструкции автоматики электрической подстанции, с обеспечением собственных нужд от солнечных панелей	39
<i>Шестернева А.М., Дружин В.А.</i> Применение высокоэффективной технологии совместного использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии	44
<i>Якимович Б.А., Какушина Е.Г., Крастелёв О.М.</i> Геотермальные источники - путь к энергосбережению и снижению загрязнения окружающей среды	50
<i>Якимович Б.А., Какушина Е.Г., Малюк Е.Г.</i> Развитие энергетики России на основе интеллектуальных энергетических систем	54
Химические технологии	59
<i>Акимов А.М., Котельникова С.А.</i> Технология предотвращения образования минеральных отложений в системах очистки сточных вод предприятий	59
<i>Котельникова С.А.</i> Водородная энергетика: хранение водорода	64
<i>Кузнецова Н.И., Слива С.А.</i> Методы и средства обнаружения и контроля коррозионных повреждений при диагностировании технического состояния объекта	71
Физика в ядерной энергетике	83
<i>Довгаленко В.В.</i> Использование компьютерной эмуляции для изучения физики студентами – атомщиками	83
<i>Довгаленко В.В.</i> Дистанционное преподавание физики в ВУЗе для студентов направления подготовки «Атомные станции»	87

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant	5
<i>Zatsarinnaya T.G., Anikevich K.P., Petula T.E.</i> Mathematical modelling of the automatic level control system (AVC) in a pressure compensator	5
<i>Kuznetsova N.I., Tarasov D.D.</i> Detection, control and diagnosis of liquid leaks at NPP	11
Alternative and renewable energy sources	15
<i>Artemenko I.D., Kuvshinov V.V., Shakhova N.V., Bordan D.F., Skidan A.A.</i> Use of alternative energy sources for reserve power systems based on ship electrical equipment	15
<i>Gubin V.E.</i> Technologies to reduce the carbon footprint of coal-fired thermal power plants	21
<i>Gubin V.E., Lavrenchuk A.A., Speranskiy M.Yu., Pak A.Ya.</i> Investigation of the electrical parameters of the prototype of the technological installation of electric arc synthesis of alternating current in an open air environment	27
<i>Nashev R.A., Kuvshinov V.V., Bahtina N.V., Berezhnyak V.A., Timan D.I.</i> The use of thermal groundwater to meet household needs in the communal sector of the Crimea and Sevastopol	32
<i>Chepenyuk A.A., Kuvshinov V.V., Abeidulin S.A., Zhiltsov A.S.</i> Study of the possibility of reconstruction of relay protection and automation of an electrical substation 110/35/6 kV, with the possibility of connecting a solar power plant	39
<i>Shesterniova A.M., Druzhin V.A.</i> Application of highly efficient technology for the joint use of low-temperature and renewable energy sources	44
<i>Yakimovich B.A., Kakushina E.G., Krastelev O.M.</i> Geothermal sources - the way to energy conservation and reduction of environmental pollution	50
<i>Yakimovich B.A., Kakushina E.G., Malyuk E.G.</i> Development of Russian energy based on intelligent energy systems	54
Chemical technology of nuclear power plants	59
<i>Akimov A.M., Kotelnikova S.A.</i> Technology for preventing the formation of mineral deposits in wastewater treatment systems of enterprises	59
<i>Kotelnikova S.A.</i> Hydrogen energy: hydrogen storage	64
<i>Kuznetsova N.I., Sliva S.A.</i> Methods and means for detecting and controlling corrosion damage in diagnosing the technical condition of an object	71
Physics in nuclear power engineering	83
<i>Dovgalenko V.V.</i> Using computer emulation to study physics for nuclear students	83
<i>Dovgalenko V.V.</i> Distance teaching of physics at a university for nuclear students	87

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 681.58

Математическое моделирование системы автоматического регулирования (САР) уровня в компенсаторе давленияТ.Г. Зацаринная¹, К.П. Аникевич², Т.Е. Петула³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, biochip@mail.ru, anikonst@mail.ru,
t.evg.petula@gmail.com

Статья поступила 30.09.2022 г.; после доработки 04.10.2022 г.

Аннотация

В данной статье дана краткая характеристика системы компенсации давления, представлена функциональная схема САР уровня в компенсаторе давления (КД). Проведено математическое моделирование данной САР, реализованное в среде динамического моделирования технических систем SimInTech, и выполнен анализ основных показателей качества системы.

Ключевые слова: математическая модель САР, регулятор, система компенсации давления, компенсатор давления, SimInTech, показатели качества системы.

Mathematical modelling of the automatic level control system (AVC) in a pressure compensatorT.G. Zatsarinnaya¹, K.P. Anikevich², T.E. Petula³

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
biochip@mail.ru, anikonst@mail.ru, t.evg.petula@gmail.com

Received 30.09.2022 y.; received in final form 04.10.2022 y.

Abstract

In this article, a brief description of the pressure compensation system is given. The chart of level automatic control system (ACS) in the pressure compensator (PC) is presented. Mathematical modeling above mentioned ACS was made with use program soft SimInTech. The main quality indicators for ACS of level in the pressure compensator were calculated.

Keywords: mathematical model of the ATS, regulator, pressure compensation system, pressure compensator, SimInTech, system quality indicators.

Введение

Одна из функций системы компенсации давления - защита первого контура, заполненного жидким теплоносителем, от повышения давления при колебаниях температуры. Условно систему компенсации давления можно разбить на четыре подсистемы:

- подсистему компенсатора давления (КД) со встроенными устройствами, такими как

компенсатор давления с комплектом электронагревателей и элементами крепления, реализующую выше упомянутую функцию;

- подсистему импульсно-предохранительных устройств, предназначенную для исключения повышения давления в первом контуре выше уставок;
- подсистему впрыска, обеспечивающую впрыск в КД воды с целью поддержания заданного давления в первом контуре;

- подсистему локализации сброса из КД, необходимую для конденсации протечек насыщенного пара из предохранительных клапанов (ПК) КД и насыщенного пара, сбрасываемого из КД через ПК при их подрыве.

Первый контур не представляет собой полностью герметичную систему, из него, через различного рода неплотности, происходят небольшие протечки воды. Кроме того, в контур может попадать некоторое количество воды через уплотнения главного циркуляционного насоса (ГЦН). Изменения массы воды в контуре при неизменной ее температуре также приводят к колебаниям уровня в компенсаторе объема (КО). Его чрезмерное снижение может привести к оголению нагревателей и их пережогу, а повышение – к уменьшению объема пара в паровой подушке и связанному с этим увеличению колебаний давления при изменении температуры теплоносителя [1]. В связи с чем, по технологическим соображениям колебания уровня в КД ограничены и заданное его значение поддерживается регулятором уровня в зависимости в зависимости от средней температуры теплоносителя первого контура с точностью ± 150 мм в стационарных режимах и ± 300 мм в переходных путем воздействия на регулирующие клапаны и насосы системы подпитки-продувки. Для регуляторов, воздействующих на регулирующие клапаны подпитки и продувки, применяется пропорционально – интегральный (ПИ) закон регулирования.

В ПИ-регуляторе компоненты И-регулятора и П-регулятора унифицированы, что позволяет использовать достоинства обоих типов: быстрый отклик регулятора интегрированного действия и восполнение остаточного отклонения системы регулятора пропорционального действия.

Таким образом, решение задачи качественного регулирования уровня в КД при работе блока в энергетическом диапазоне обеспечивает поддержание постоянной массы теплоносителя в первом контуре. В связи с чем, представляет интерес, рассмотреть на сколько качественно поддерживается уровень теплоносителя в КД на примере математической модели его САР.

Постановка задачи

В статье на основе анализа системы компенсации давления в первом контуре реализовать математическую модель САР уровня в компенсаторе давления и рассчитать основные показатели качества.

Описание исследования

Краткая характеристика системы компенсации давления. Функции системы компенсации давления состоят в следующем [2]: ограничение отклонения давления в первом контуре при работе на мощности и в переходных режимах; защита оборудования и трубопроводов первого контура от превышения давления выше допустимого; создание давления в первом контуре при разогреве; снижение давления в первом контуре при расхолаживании реакторной установки. Состав данной системы включает такое оборудование как: компенсатор давления УР10В01; «дыхательный» трубопровод, соединяющий нижнюю часть КД с горячей ниткой 4 петли ГЦК; трубопровод впрыска с арматурой, связывающий паровое пространство КД с холодной ниткой 1 петли ГЦК; трубопровод сброса парогазовой смеси с арматурой, соединяющий паровое пространство компенсатора давления с барботером; импульсные предохранительные устройства; барботер УР20В01; системы контрольно-измерительных приборов [3].

Соотношение водяного и парового объемов КД выбрано из условия, что ни в одном из проектных режимов, за исключением режимов аварийного разуплотнения первого и второго контуров, не происходит заброса пара в первый контур из КД и оголения электронагревателей КД.

Схема системы компенсации давления представлена на рисунке 1.

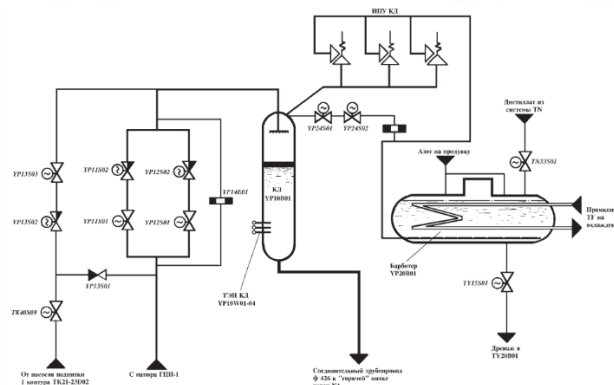


Рис. 1 Схема системы компенсации давления.

Принцип функционирования схемы заключается в следующем. Компенсатор давления обеспечен линией впрыска Ду175 с «холодной» ниткой 1 петли с напора ГЦН, служащей для уменьшения давления в 1 контуре при наличии паровой подушки. В сторону повышения давле-

ния в 1 контуре он снабжен электронагревателями. Трубопровод впрыска состоит из труб различных диаметров и запорной арматуры.

На трубопроводе впрыска 219х20 имеется разветвленный участок из двух параллельных линий 159х17 (так называемый “толстый” впрыск), на каждой из которых установлены две запорные задвижки Ду125: одна нормально открытая, другая нормально закрытая быстродействующая.

Параллельно разветвленному участку с запорной арматурой имеется байпасная линия 18х2,5 с дроссельной шайбой для постоянного протока теплоносителя, что позволяет поддерживать требуемую температуру трубопровода и одинаковое качество воды (концентрацию борной кислоты) в КД и первом контуре.

До и после разветвленного участка, т.е. в обвод его к трубопроводу 219х20 присоединена линия расхолаживания 133х14 (так называемый «тонкий» впрыск).

На линии расхолаживания имеются вентиль сильфонный запорный Ду100, клапан обратный поворотный Ду100, клапан регулирующий Ду100 и равнопроходный тройник для подключения трубопровода подпитки, по которому осуществляется впрыск теплоносителя в КД в режиме расхолаживания КД в случае, когда линия впрыска от холодной нитки ГЦТ не эффективна.

По линии расхолаживания также осуществляется «тонкое» регулирование давления в КД.

Водяной объем КО по соединительному «дыхательному» трубопроводу Ду350 сообщается с теплоносителем «горячей» нитки четвертой петли ГЦК. Во время работы РУ дыхательный трубопровод всегда находится в разогретом состоянии за счет замкнутой циркуляции теплоносителя по следующей схеме:

Дыхательный трубопровод КД → дренаж КД → дренаж 4 петли → на всас ГЦН-4 → дыхательный трубопровод КД →

Указанная связь нижних точек дыхательного трубопровода КД и всасывающего трубопровода ГЦН-4 при открытых воздушниках позволяет также использовать уровнемер КД для контроля уровня теплоносителя 1 контура при его дренировании ниже «горячих» петель.

Особенность моделирования работы КД заключается в том, что в различных режимах пар и вода в нем могут находиться как в равновесном, так и в неравновесном состоянии [4].

В установившемся режиме пар и вода находятся в равновесии, т.е. температура и давление в указанных средах одинаковы и соответствуют

их значениям на линии насыщения.

При аварийной ситуации, когда холодный теплоноситель поступает в КД, наступает неравновесный режим, при этом за счет работы нагревателей вода постепенно нагревается и достигает температуры насыщения. При пуске РУ сначала создается азотная подушка, которая затем постепенно вытесняется паром. Таким образом, следует рассматривать четыре комбинации состояния пара и воды:

- перегретый пар – насыщенная вода;
- перегретый пар – недогретая вода;
- ненасыщенный пар – недогретая вода;
- ненасыщенный пар – насыщенная вода.

Математическое моделирование КД как объекта регулирования выполнено, а его результаты представлены в источнике [4]. Математическая модель составлена с учетом следующих допущений:

- давление в КД принимается равным сумме парциальных давлений пара и азота;
- объемы, на которые разбивается КД, рассматриваются как объемы с сосредоточенными параметрами;
- давление во всех точках КД одинаково;
- процесс расширения пароводяной смеси считается равновесным;
- процесс сжатия считается неравновесным;
- сжатие пара происходит по линии насыщения, а температура воды в КД снижается за счет перемешивания с поступающей из контура холодной водой;
- конденсация пара, нагрев впрыснутой воды и испарение ее происходят мгновенно.

Контролируемые параметры в модели КД: давление, уровень, температура пара, температура воды. Для регулирования параметров реального КД на действующей АЭС применяют регуляторы уровня теплоносителя и давления в КД.

Упрощенная схема САР уровня теплоносителя в КД представлена на рисунке 2.

САР уровня в КД поддерживает заданное значение уровня теплоносителя в соответствии с ПИ-законом регулирования, воздействуя на исполнительные органы – регулирующие клапаны на линии подпитки первого контура.

Для реакторов ВВЭР 1000 регулирование уровня теплоносителя в компенсаторе давления обеспечивается двумя регуляторами: пуско-остановочным регулятором (в режимах пуска и останова) и штатным регулятором уровня – при работе на мощности. При математическом моделировании САР уровня в КД в программной

среде SimInTech предполагалось, что регулятор работает в штатном режиме.

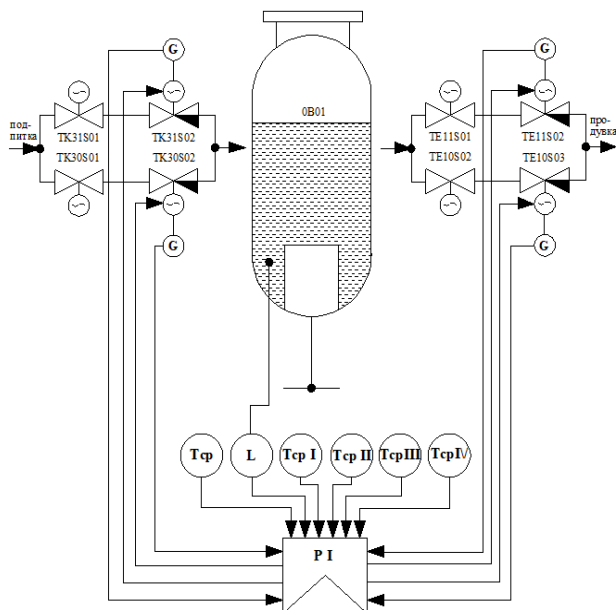


Рис. 2. Упрощенная схема САУ уровня теплоносителя в КД.

Математическая модель САУ уровня теплоносителя в КД

Функциональная схема САУ уровня в КД (рис. 3) составлена с учетом упрощенной схемы, представленной на рисунке 2.

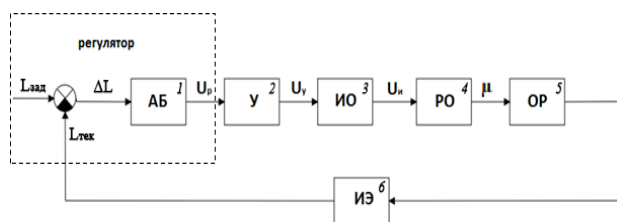


Рис. 3. Функциональная схема САУ уровня теплоносителя в КД.

В состав функциональной схемы входит регулятор, алгоритмический блок АВ для расчета воздействия в соответствии с ПИ-закон регулирования. На выходе регулятора формируется управляющее воздействие U_p в случае, когда отклонение уровня в КД ΔL , представляющее собой алгебраическую сумму текущего $L_{тек}$ и заданного $L_{зад}$ уровня, не равно нулю.

Управляющие импульсы регулятора U_p усиливаются в блоке усилителя $У$ до уровня достаточного для включения электродвигателя исполнительного механизма (ИО). Под действием

управляющего сигнала исполнительного органа U_i орган регулирования (РО), т.е. регулирующий клапан (РК), переместится в заданном направлении на величину μ , тем самым, приводя к увеличению (уменьшению) расхода теплоносителя и, следовательно, к изменению уровня в КД до заданного значения. В регуляторе уровня реализуется ПИ-закон регулирования, однако, из-за ввода в регулятор отрицательной обратной связи регулятор будет работать по П-закону, обеспечивая перемещение регулирующего органа с переменной скоростью. Динамические свойства САУ уровня в КД описываются следующими передаточными функциями:

- объекта регулирования:

$$W(p) = \frac{k}{T_p + 1}$$

- усилителя:

$$W(S) = \frac{U(S)}{U_p(S)} = k.$$

- электрического механизма однооборотного (МЭО) совместно с РК:

$$W(S) = \frac{k}{S}.$$

В качестве алгоритма функционирования алгоритмического блока принят ПИ-закон регулирования с передаточной функцией:

$$W(S) = k_{\Pi} + \frac{k_I}{S}.$$

Таким образом, на основе функциональной схемы САУ (рис.3) структурную схему исследуемой модели САУ уровня в КД можно реализовать в виде, представленном на рис. 4.

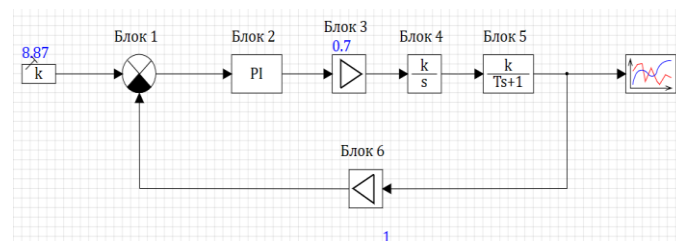


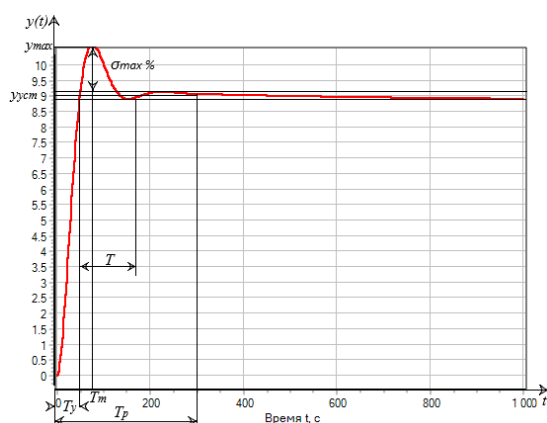
Рис.4. Структурная схема модели САУ уровня теплоносителя в КД.

Числовые значения коэффициентов, принятые для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значение свойств блоков структурной схемы

Блок	Свойство	Значение
	Заданное значение	$k = 8870$ мм
1	Весовые множители для каждого из входов	$[1;-1]$
2	Пропорциональный коэффициент	$k_n = 2,7$
	Интегральный коэффициент	$k_u = 0,005$
3	Коэффициент усиления	$k = 0,7$
4	Коэффициент усиления	$k = 0,05$
5	Коэффициент усиления	$k = 0,5$
	Постоянная времени	$T = 20$
6	Коэффициент усиления	$k = 1$

Числовые значения коэффициентов в структурной модели подбирались в процессе моделирования. График переходного процесса представлен на рис. 5. Анализ графика показывает, что САР, рассчитанная для поддержания уровня в КД является устойчивой, график переходного процесса - монотонный.

**Рис.5.** График переходного процесса в САР уровня в КД.

Данный переходный процесс характеризуется следующими основными показателями качества:

1) динамическими:

- временем регулирования, характеризующим быстроту затухания переходного процесса $T_p = 300$ с;
- время установления, по истечении которого управляемая величина в первый раз достигает своего установившегося значения $T_y = 50$ с;
- время максимального перерегулирования

$T_{MAX} = 25$ при котором $y = y_{MAX} = 10,67$;

- перерегулирование – отношение максимального отклонения регулируемой величины Δy_{MAX} относительно своего установившегося значения в направлении, противоположном начальному отклонению σ_{MAX}

$$\sigma_{max} = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100 = \frac{10,67 - 9,07}{9,07} \cdot 100 = 17,64\%$$

- период колебаний регулируемой величины $T = 103$ с - время, в течение которого осуществляется одно колебание регулируемой величины;

- частота колебаний $f = 1/T = 1/103 = 0,009$;

- число колебаний регулируемой величины за время переходного процесса T_p должно быть ограничено $k = T_p/T = 300/103 = 2,9$;

- максимальное динамическое отклонение по возмущению в единицах регулируемой величины $\delta = 5\%$;

2) статическими:

- статическая ошибка $\varepsilon_{ст}$, т.е. ошибка регулирования после окончания переходного процесса $\varepsilon_{ст} = 0,11$

- относительное значение статической ошибки

$$\Delta'_{ст} = \frac{\Delta_{ст}}{y_{зад}} = \frac{y_{зад} - y_{уст}}{y_{зад}} = \frac{8,87 - 9,07}{8,87} = 0,02$$

Исходными данными для моделирования САР были следующие:

- максимальный шаг интегрирования 0,001 с;
- минимальный шаг интегрирования 0,0001 с;
- конечное время расчета 1000 с;
- относительная ошибка 0,0001;
- абсолютная ошибка $1e-6$;
- метод интегрирования «Адаптивный 1».

Заключение

Представленная в данной статье краткая характеристика системы компенсации давления дает представление об основных ее задачах и функциях. Одна из функций системы компенсации давления состоит в защите первого контура от повышения давления при колебаниях температуры, которая реализуется работой регуляторов уровня и давления. Упрощенная схема САР

уровня теплоносителя в КД представлена в статье, с учетом данной схемы были разработаны функциональная схема и структурная схема математической модели САР уровня в КД. Математическая модель позволила получить переходный процесс, анализируя который были рассчитаны основные его показатели качества: время регулирования $T_p=300$ с и максимальное динамическое отклонение по возмущению в единицах регулируемой величины $\delta=5\%$, а также перерегулирование, которое не превышает 20 % ($\sigma_{max} = 17,64\%$), в связи с чем коррекция САР уровня теплоносителя в КД не проводилась.

Список литературы

1. URL: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/avtomaticheskoe-upravlenie-i-zaschita-teploenergeticheskikh-ustanovok-aes-29.html> (дата обращения: 27.09.2022).
2. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник/Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.: ил. — (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 3).
3. Основное оборудование реакторного отделения. — Балаково: БАЭС, ЦПП, 2000. — 178 с.
4. Демченко В.О. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. — Одесса: Астропринт — 2001. — 308 с.

References

1. <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/avtomaticheskoe-upravlenie-i-zaschita-teploenergeticheskikh-ustanovok-aes-29.html> (application date: 27.09.2022).
2. Thermal and Nuclear Power Plants: Handbook / Edited by V.A. Grigoriev. A. Grigoriev, V.M. Zorin. - 2nd edition. - Moscow: Energo-atomizdat, 1989. - 608 p., ill. - (Thermal power engineering and heat engineering; Kn. 3).
3. Osnovnoe oborudovanie reaktornogo otdelenia [The Main Equipment of Nuclear Unit Compartment]. - Balakovo, 2000. -382 p.
4. Demchenko V.O. Avtomatizatsiya i modelirovanie tekhnologicheskikh protsesov AES i TES. [Automation and modeling of technological processes of NPP and TPP]. Odessa, Astroprin, 2001, 308 p.

УДК 621.311.25

Обнаружение, контроли и диагностирование утечек жидкости на АЭС

Кузнецова Н.И.¹, Тарасов Д.Д.²

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия., ¹nika100452@gmail.com, ²tarasov_danil@mail.ru

Статья поступила 26.10.2022 г.; после доработки 28.10.2022 г.

Аннотация

Статья посвящена анализу систем контроля течей, а также диагностированию утечек на АЭС. В настоящее время используются различные виды контроля за течами в трубопроводах и технологических каналах. Чтобы данный контроль был точным и непрерывным на АЭС используют два вида контроля течей: СКТВ (система контроля течей влажностным методом) и САКТ (система акустического контроля течей). В работе произведен анализ работы системы контроля течей.

Ключевые слова: обнаружение, СКТВ, САКТ, ЗВ, диагностирования, течь, ГЦТ.

Detection, control and diagnosis of liquid leaks at NPP

N.I. Kuznetsova¹, D.D. Tarasov²

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹nika100452@gmail.com, ²tarasov_danil@mail.ru

Received 26.10.2022 y.; received in final form 28.10.2022 y.

Abstract

The article is devoted to the analysis of leak control systems, as well as the diagnosis of leaks at nuclear power plants. Currently, various types of leak control in pipelines and process channels are used. In order for this control to be accurate and continuous, two types of leak control are used at nuclear power plants: SKTV (moisture method leak control system) and SACT (acoustic leak control system). The work analyzes the operation of the leak control system.

Keywords: detection, SKTV, SACT, pollutant, diagnosing, leak, HCT.

Введение

Атомные электростанции являются одним из важнейших узлов в современной энергетике. Они вырабатывают более 20% всей электроэнергии, которая идёт к потребителям. Для того чтобы АЭС работали стабильно и надёжно на них располагается огромное количество оборудования и систем, которые контролируют различные параметры.

На энергоблоках типа ВВЭР-1000 установлено более 4000 тысяч точек контроля. Измерения во всех этих точках важны для объективного контроля за технологическим процессом.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Таким образом, целью статьи является анализ используемых на АЭС видов контроля течей и разбор принципа действия их.

Изложение основного материала исследования

Назначение системы

Система влажностного контроля течи теплоносителя реакторной установки предназначена для контроля герметичности оборудования и трубопроводов и своевременного обнаружения

течи теплоносителя первого контура РУ при работе энергоблока на различных уровнях мощности при нормальной эксплуатации и с нарушениями нормальной эксплуатации, а также в режиме «малая» течь теплоносителя первого контура.

Цель создания системы

Повышение уровня безопасности и надежности эксплуатации РУ путем оснащения энергоблока средствами, обеспечивающими на ранней стадии обнаружение течей теплоносителя первого контура.

Объект диагностирования

Основное оборудование и трубопроводы технологических систем РУ: ГЦТ, трубопровод соединительный системы компенсации давления.

Описание принципов диагностирования течей

Обнаружение течей оборудования и трубопроводов основывается на измерении и обнаружении влажности и температуры в воздухе в местах расположения датчиков. Принцип измерения основывается на электрическом сенсоре, применяемый в СКТ.

Контроль течей проводится по сигналам зондов выносных (ЗВ), которые расположены по всему трубопроводу. В случае обнаружения течи, оценивается места и расход течи. Также измеряются характеристики воздушной среды внутри теплоизоляции трубопроводов. Схема установки зондов представлена на рис. 1.

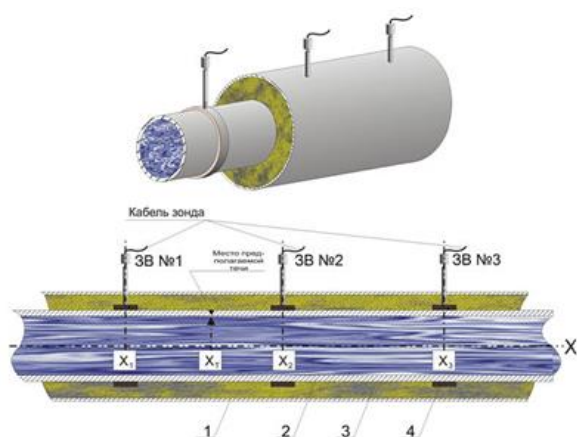


Рис. 1 Схема установки зондов влажности выносных на трубопроводах.

1 – кожух теплоизоляции, 2 – трубопровод, 3 – тепловая изоляция, 4 – устройства крепления ЗВ

Отбор воздуха из под кожуха производится с помощью вытяжных патрубков, которые уста-

новлены на верхней части трубопровода, на концах которых расположены выносные зонды (рис.1). В случае течи, паровоздушная смесь будет заполнять пространство под кожухом и поступать в вытяжные патрубки.

Размещение первичных преобразователей СКТ

Датчики подсистемы контроля влажности (ПКВ) размещаются на оборудовании верхнего блока, на ГЦТ, на трубопроводах системы компенсации давления.

Три датчика находятся в плитах воздушного коллектора, два датчика на трубопроводах воздушника, три датчика на БЭР и один – в ЦЗ.

Схематично места установки зондов влажности выносных ЗВ на оборудовании ВБ представлены на рис. 2.

На трубопроводах ГЦТ располагаются 36 зондов влажности выносных. Схема расположения датчиков представлена на рис. 3.

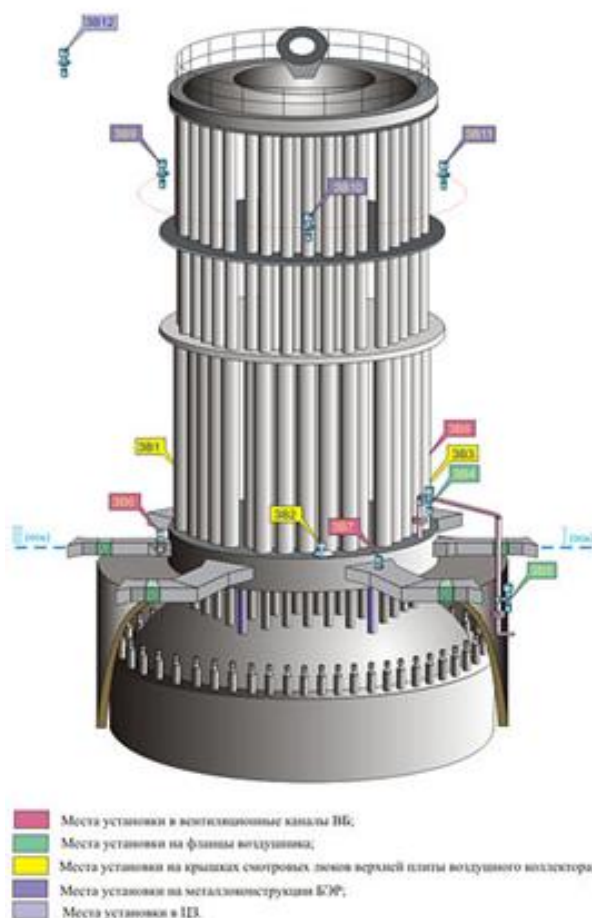


Рис. 2. Схема расположения зондов влажности выносных подсистемы ПКВ на оборудовании ВБ.

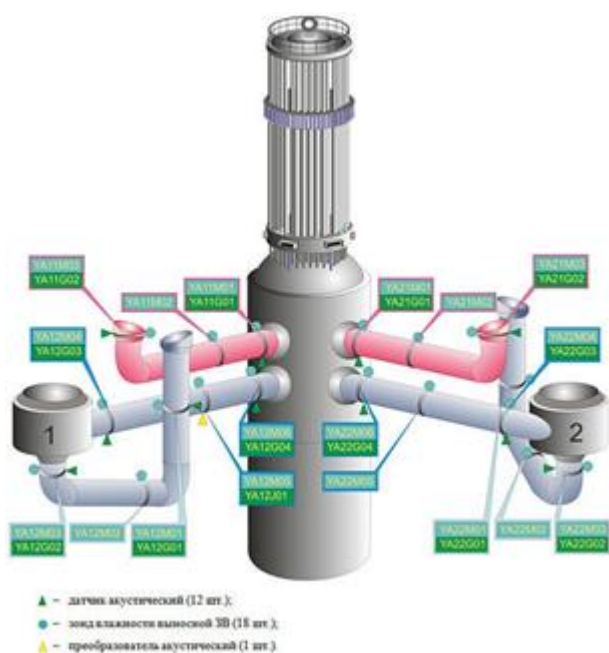


Рис. 3. Схема расположения первичных преобразователей СКТ на ГЦТ петли 1 и 2.

Датчики акустические подсистемы ПАК размещаются на ГЦТ, на трубопроводах системы компенсации давления и трубопроводах САОЗ.

Описание системы и основные принципы построения

КТС СКТВ построен на основе блока системного базового БСБ-02Р (промышленный компьютер), к которому подключены измерительные каналы и модули управления.

В состав комплекса технических средств (КТС) СКТВ входят следующие основные элементы:

- зонды выносные (СКТВ-ЗВ) с сенсорами влажности и температуры и узлами их крепления;
- кабельные линии связи (КЛС) от датчиков до входных устройств измерительной аппаратуры;
- шкаф кроссовый;
- ПТК СКТВ на базе устройства информационно-измерительного УИ-13ВЦ.

Первичный преобразователь

Первичные преобразователи (зонды выносные) предназначены для измерения локальных значений температуры и влажности воздуха, выходящего из подизоляционного пространства трубопроводов.

Зонд выносной состоит из трубки из нержавеющей стали, к нижнему концу трубки приварена изоляционная вставка с металлическими

контактами, к которым припаивается сенсор влажности и сенсор температуры.

Для защиты от механических повреждений, сенсоры закрываются металлическим цилиндрическим колпачком с прямоугольными прорезями. Верхняя часть трубки оканчивается корпусом зонда, в котором устанавливается монтажная плата

Конструкция зонда выносного представлена на рисунке 4.

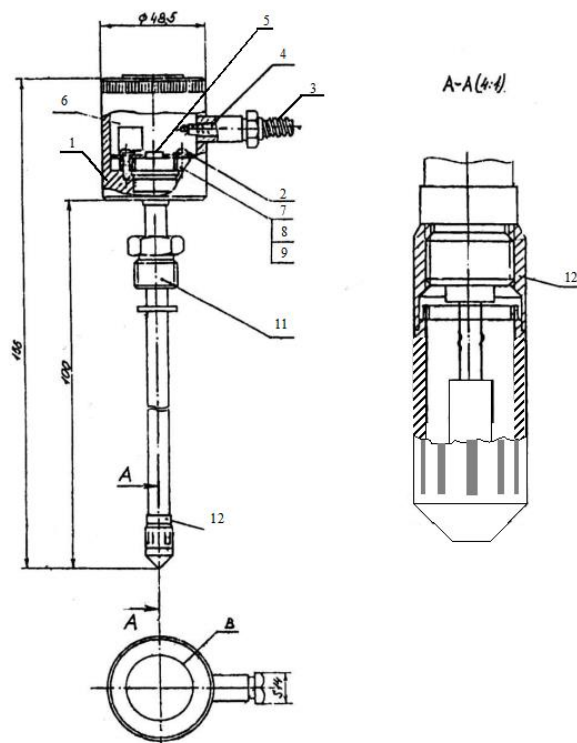


Рис. 4 Конструкция зонда выносного

Устройство информационно-измерительное УИ-13ВЦ

УИ-13ВЦ включает в себя:

- устройство электротехническое модульное УТМ-02 КБПК.426474.005;
 - базовый системный блок БСБ-02Р КБПК.426469.002;
 - блоки усилителей-преобразователей БУП-17ВЦ и БУП-18ВЦ;
- модули УСО: модули аналогового ввода МАВ-01.1ВЦ, МАВ-01.2ВЦ.

Функциональные устройства и модули

Устройство электротехническое модульное УТМ-02

Устройство электротехническое модульное УТМ-02 выполнено в виде напольного шкафа. Шкаф обеспечивает возможность подвода кабелей электропитания и сигнальных кабелей снизу, из-под фальшпола или кабельного канала. Шкаф имеет средства крепления к перекрытиям здания

для обеспечения сейсмостойкости.

Блоки усилителей-преобразователей БУП-17ВЦ, БУП-18ВЦ

Блок БУП обеспечивает выполнение основных функций по вводу, первичной аналоговой обработке сигналов Изделия и тестирования измерительных каналов.

Модуль усилителей-преобразователей УП-01ВЦ

Модуль УП-01ВЦ предназначен для усиления и первичной аналоговой обработки сигналов напряжения.

Модуль коммутации К-01ВЦ

Модуль К-01ВЦ предназначен для подачи питания на обмотку выбранного реле, которое переключает штатные сенсоры влажности и температуры на эквиваленты сенсоров влажности и температуры при проверке работоспособности линий связи и усилителей-преобразователей зондов.

Выводы из этого исследования

Исходя из изложенного выше, можно сделать заключение, что обнаружение, контроль и диагностика течей на АЭС является важной частью системы диагностики. Для этого на АЭС используется большое количество датчиков и точная система, помогающая своевременно выявить неполадку и устранить её. В случае, если мы не будем контролировать и заблаговременно обнаруживать все течи, то к примеру, может радиоактивная среда первого контура будет выходить и загрязнять окружающую атмосферу.

Дальнейшие перспективы в этом направлении

СКТВ допускает возможность дальнейшего развития и модернизации, предусматривающей расширение её функций в процессе разработки и эксплуатации в рамках возможности программно-технических средств.

Список литературы

1. Аникевич К.П. Структурная схема АСУ ТП: учебн. пособие. / К.П. Аникевич. - Севастополь : СИЯЭ и П, 2001. - 128 с.
2. Инструкция по использованию системных блоков СКТВ.
3. Руководство по эксплуатации СКТВ.

References

1. Anikevich K.P. Structural diagram of automated process control systems: textbook. allowance. /K.P.

Anikevich. - Sevastopol: SIYaE i P, 2001. - 128 p.

2. Instructions on the use of system blocks of SKTV.
3. Operation manual for SKTV

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.92

Использование альтернативных источников энергии для резервных систем питания на основе судового электрооборудованияАртеменко И.Д.¹, Кувшинов В.В.², Шахова Н.В.³, Бордан Д.Ф.⁴, Скидан А.А.⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, leftysingle@gmail.com, VVKuvshinov@sevsu.ru,
nvshakhova@sevsu.ru, bordan79@mail.ru, a.a.skidan@sevsu.ru

Статья поступила 14.11.2022 г.; после доработки 16.11.2022 г.

Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения систем резервного питания судового электрооборудования при помощи использования фотоэлектрических кремниевых панелей в качестве зарядных устройств для аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: аварийно-предупредительная сигнализация, аккумуляторные батареи, фотоэлектрическая система, автономная система электроснабжения, солнечные батареи.

Use of alternative energy sources for reserve power systems based on ship electrical equipmentArtemenko I.D.¹, Kuvshinov V.V.², Shakhova N.V.³, Bordan D.F.⁴, Skidan A.A.⁵

Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia
leftysingle@gmail.com, VVKuvshinov@sevsu.ru, nvshakhova@sevsu.ru,
bordan79@mail.ru, a.a.skidan@sevsu.ru

Received 14.11.2022 y.; received in final form 16.11.2022 y.

Abstract

The issues of providing backup power systems for ship electrical equipment using photovoltaic silicon panels as battery chargers are considered.

Key words: alarm, storage batteries, photovoltaic system, autonomous power supply system, solar panels.

Введение

Любая современная система на судах имеет дублирующую для повышения живучести и автономности судна. Однако самым уязвимым местом остаются резервные источники питания, т.к. самыми распространёнными являются аккумуляторные батареи и источник заряда у них один – общесудовая электрическая сеть.

Использование альтернативных источников энергии позволит повысить эффективность и время работы резервных источников питания, т.к. в случае, если произойдёт обесточивание общесудовой сети альтернативные источники энергии смогут повысить время работы резервных батарей, что даст экипажу больше времени на выявление и устранение причин неисправно-

сти обесточивания. К тому же использование таких источников энергии позволяет продублировать систему энергоснабжения от аварийного дизель-генератора, что повышает надёжность судна в целом.

В современных условиях жёстких требований к экологическим нормам, использование альтернативных источников энергии также позволит снизить выброс вредных веществ в атмосферу, т.к. очень часто аварийный дизель-генератор редко обслуживается и качество его выхлопных газов далеко от экологических норм.

Использование комбинированных альтернативных источников энергии позволит разработать новую методику использования генерирующих установок для обеспечения автономности работы и надёжности систем судового электрооборудования, увеличить эффективность работы резервных аккумуляторных батарей, описать используемые системы генерации энергии на основе альтернативных источников энергии на якорной стоянке судна или в порту как основного источника потребления.

Использование комбинированных альтернативных источников энергии позволит повысить время работы резервных аккумуляторных батарей, даст возможность использовать эти источники как основные во время якорной стоянки или стоянки в порту, что сократит использование традиционных топливных ресурсов и улучшит экологическую обстановку.

Постановка задачи

Современное судно представляет собой сложный технический комплекс с широким использованием различных электрифицированных и автоматизированных технических средств. При этом под судовыми техническими средствами подразумеваются основные и вспомогательные устройства, предназначенные для выполнения определённых функций, к которым относятся:

- снабжение потребителей необходимым видом энергии;
- обеспечение движения и маневрирования судна;
- предотвращение аварий и борьба с их последствиями.

Судовая электроэнергетическая система (СЭС), предназначенная для выработки, распределения и потребления электрической энергии, относится к наиболее важным техническим средствам судна. Современные суда имеют электростанции мощностью от нескольких сотен до 10–

20 тыс. кВт, обеспечивающие питанием электроприводы различных судовых механизмов, сети освещения, системы отопления, навигационное оборудование. В настоящее время на судах автоматическое управление используется в самых различных установках и системах и, в частности, в электроэнергетических.

Соответственно, чтобы было легче и удобнее контролировать все параметры СЭС и электрооборудования судна, повысить общий уровень безопасности, необходимо разработать и внедрить систему аварийно-предупредительной сигнализации. Аварийная сигнализация позволяет контролировать параметр предельно допустимого значения, при котором дальнейшая работа оборудования может привести к аварии. Предупредительная сигнализация оповещает обслуживающий персонал о достижении контролируемым параметром определенного заданного значения. После срабатывания предупредительной сигнализации у персонала еще имеется время для выявления причин и устранения неполадок.

Результаты исследований

Переходные процессы в СЭС возникают, как правило, при возникновении аварийных режимов (короткое замыкание, повреждение приводного двигателя, повреждение системы регулирования частоты и напряжения, обрыв фаз и т.п.).

Такие режимы связаны с естественным старением электрооборудования, небрежной технической эксплуатацией или случайными процессами. Наибольшую опасность представляют короткие замыкания.

Короткие замыкания в электроэнергетических системах происходят вследствие нарушения изоляции их элементов, возникающих в результате:

- естественного старения (износа), своевременно не выявленного путём профилактических испытаний или каких-либо повреждений в эксплуатации;
- механического повреждения;
- повреждений изоляции при перенапряжениях;
- ошибочного действия эксплуатационного персонала в результате невыполнения ими правил технической эксплуатации, эксплуатационных инструкций и правил по технике безопасности.

При осуществлении упрощённых схем электрических соединений понижающих подстанций

или при снижении сопротивления изоляции подстанций ниже допустимых норм используют специальные аппараты – короткозамыкатели, которые создают преднамеренные короткие замыкания в целях быстрых отключений ранее возникающих повреждений.

Таким образом, наряду с короткими замыканиями случайного характера в системе имеют место также преднамеренные короткие замыкания, вызываемые действием установленных короткозамыкателей.

В зависимости от места возникновения и продолжительности повреждения его последствия могут иметь местный характер или, напротив, могут отражаться на всей системе.

Так, например, при коротком замыкании в удалённой точке величина тока короткого замыкания составляет лишь незначительную долю номинального тока питающих генераторов и возникновение такого короткого замыкания воспринимается ими как небольшое увеличение нагрузки. Сильное снижение напряжения получается вблизи места трёхфазного короткого замыкания, в то время как в других точках системы наблюдается едва заметное снижение напряжение, причём от действия автоматического регулирования возбуждения оно быстро восстанавливается до нормального. Следовательно, при рассматриваемых условиях опасные последствия короткого замыкания проявляются лишь в ближайших к месту короткого замыкания частях системы.

При срабатывании системы аварийной сигнализации вспомогательное оборудование работает в автономном режиме и при прекращении подачи электрической энергии на судне вследствие аварии, в частности из-за короткого замыкания, может быть полностью отключено. Это происходит вследствие централизованного электроснабжения судна от одного генерирующего участка, который при аварии может быть отключен, обесточив всё судно.

В представленной работе предложена система автономного электроснабжения отдельных узлов судового электрооборудования (в частности система аварийно-предупредительной сигнализации), в которой для генерации энергии используются фотоэлектрические панели и системы накопления электрической энергии.

Аварийно-предупредительная сигнализация (АПС) обеспечивает формирование и вывод обобщенных аварийных сигналов на блоки обобщенной сигнализации (сигнальные колонки, панели обобщенной сигнализации), а также выпол-

няет расшифровку аварийных сигналов на мониторах судовых компьютеров, указывающих на неисправность или другое ненормальное состояние механических и электрических установок судна. На рис. 1 представлена схема АПС.

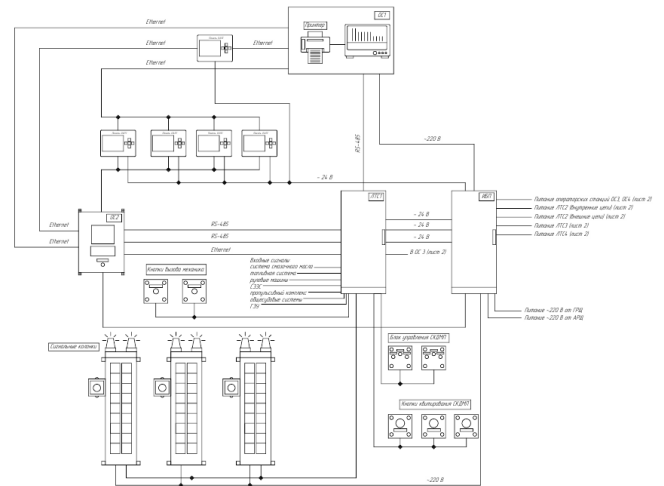


Рис. 1. Структурная схема системы аварийно-предупредительной сигнализации (АПС).

Система состоит из:

- Локальных технологических станций (ЛТС), которая обеспечивает прием и обработку входных дискретных и аналоговых сигналов и формирует выходные дискретные сигналы.

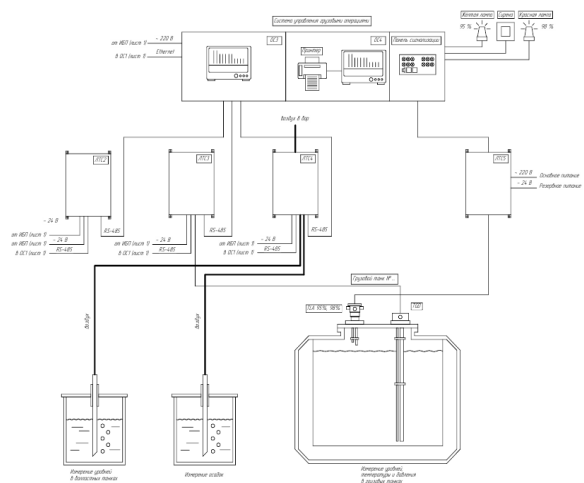


Рис. 2. Продолжение структурной схемы системы АПС

- Операторских станций (ОС), представляющих собой панельный компьютер, клавиатуру со встроенным трекболом и интерфейсное оборудование, которое обеспечивает отображение информации о состоянии

оборудования судна. Операторские станции, установлены в рулевой рубке и машинном отделении.

- Панели обобщенной аварийно-предупредительной сигнализации, которые устанавливаются в следующих помещениях:
 - рулевой рубке;
 - каютах механиков;
 - общественных помещениях;
- Сигнальных колонок с ротационными лампами жёлтого цвета и сиренами, которые установлены в машинном отделении.
- Шкафа ИБП, который содержит источник бесперебойного питания, к которому подключено оборудование, и который обеспечивает работу системы при отсутствии электроснабжения до 30 минут.
- Датчиков TGD и датчиков уровня, которые обеспечивают измерение уровня, температуры, избыточного и перепада давления, вычисления плотности хранимых или перевозимых в закрытых или открытых ёмкостях жидких сред.

В состав общесудовой АПС входит система контроля дееспособности машинного персонала (СКДМП). В состав СКДМП входят следующие элементы:

- контроллер СКДМП (установлен в ЛТС1);
- блоки управления СКДМП с ключом включения и кнопками «вход» и «выход», которые расположены в тамбурах на входах в машинно-котельное отделение
- кнопки квитирования СКДМП.

Входные сигналы принимаются и обрабатываются программируемыми логическими контроллерами (ПЛК).

Программы верхнего уровня операторских станций (ОС) по интерфейсу RS-485 обмениваются информацией с ПЛК.

Преобразователь интерфейсов ПИ-485-P35-Eх предназначен для подключения к системам сбора данных, работающих по интерфейсу/протоколу RS-485/Modbus RTU, полевых измерительных устройств с HART-протоколом (датчиков давления, температуры, уровня, сигнализаторов уровня и т.п.).

Изделие выполняет функции:

- источника питания с гальванической развязкой подключенных измерительных устройств;
- ведущего HART-устройства, осуществляющего опрос, конфигурирование и диагностику измерительных HART-устройств в соответствии с заданными командами

HART-протокола;

- барьера искробезопасности ;
- конвертера, осуществляющего преобразование интерфейсов и форматов данных между HART и RS-485/Modbus RTU;
- ведомого устройства Modbus, при обмене с системами сбора данных.

Преобразователь интерфейсов представляет собой вычислительное устройство (микроконтроллер), оснащенный двумя интерфейсами RS-485 с поддержкой протокола Modbus RTU и 4 линиями для подключения измерительных HART-устройств.

На экране операторских станций отображаются текущие значения контролируемых параметров и текущие аварийные сигналы.

С экранов операторских станций производится управление судовыми механизмами по заданным алгоритмам. Информация о текущем управляющем воздействии передается по сети в ПЛК, откуда и происходит включение, отключение или регулирование параметров соответствующих судовых механизмов.

С экранов операторских станций также осуществляется квитирование текущих сигналов АПС.

Возникающие сигналы АПС распечатываются на принтере аварийных сообщений.

Система обрабатывает следующие типы сигналов:

- входные сигналы (беспотенциальные сигналы - «сухой» контакт, аналоговые сигналы (4-20 мА));
- выходные сигналы (беспотенциальные сигналы - «сухой» контакт).

Дискретные входные сигналы обрабатываются программой контроллера как сигналы аварийно-предупредительной сигнализации, сигналы индикации состояния контролируемых параметров или сигналы управления.

Для большинства сигналов АПС разомкнутое состояние контакта или отсутствие потенциала соответствует аварийному состоянию сигнала.

- Параметры дискретных входных сигналов:
- Задержка (в секундах) используется для исключения ложного срабатывания придребезге контактов. По умолчанию, задержка составляет 0,5 секунды.

- Группа сигналов обобщенной АПС (ОАПС). Составной (обобщенный) сигнал активизируется при возникновении любого сигнала из группы.
- Блокировка – наличие условия, при котором сигнал не вызывает срабатывание аварийно-предупредительной сигнализации.

Аналоговые входные сигналы обрабатываются программой контроллера как сигналы индикации контролируемых параметров.

Параметры аналоговых входных сигналов:

- Диапазон – интервал значений измеряемой физической величины, соответствующий изменению величины входного сигнала от минимума до максимума;
- Уставка – значение физической величины, при котором происходит срабатывание АПС (при использовании аналоговых входных сигналов для формирования сигналов АПС);
- Задержка (в секундах) используется для исключения ложного срабатывания АПС, вызванное кратковременным воздействием внешних факторов (качка, запуск судового оборудования и т. д.). По умолчанию, задержка составляет 0,5 секунды.
- Группа сигналов обобщенной АПС (ОАПС). Составной (обобщенный) сигнал активизируется при возникновении любого сигнала из группы (при использовании аналоговых входных сигналов для формирования сигналов АПС).
- Блокировка – наличие условия, при котором сигнал не вызывает срабатывание аварийно-предупредительной сигнализации (при использовании аналоговых входных сигналов для формирования сигналов АПС). Система имеет дискретные выходные сигналы.

Параметры дискретных выходных сигналов:

- Задержка (в секундах). По умолчанию, задержка составляет 0,5 секунды.
- Блокировка – наличие условия, при котором сигнал не вызывает срабатывание выходного реле.

После подачи питания на компьютер операторской станции ОС, автоматически загружается операционная система и управляющая программа ИСУТС.

После загрузки управляющей программы, появляется основной экран операторской станции.

Все функции управления и контроля

осуществляются с операторской станции. Операторская станция является основным средством, обеспечивающим контроль уровней и температуры в танках и представление необходимой информации оператору. Работа оператора с системой осуществляется при помощи встраиваемой клавиатуры с трекболом. Обмен информацией между операторской станцией и локальной технологической станцией осуществляется по интерфейсу RS-485.

Вся информация о работе системы отображается на экране операторской станции. Переход от одного видеокadra к другому производится нажатием соответствующих кнопок на панели управления.

Оснащение узлов различных энергосистем судна фотоэлектрическими панелями гарантирует бесперебойное питание на протяжении длительного времени. Это повышает стабильность системы и позволяет избежать аварийного обесточивания вследствие аварий.

На рис. 3 приведена схема фотоэлектрической системы малой генерации электроэнергии. Эта система оснащена контроллером заряда-разряда аккумуляторных батарей. Для оптимальной работы контроллера, в этой схеме, использован метод ТТМ (точки отслеживания максимальной мощности), который значительно повышает эффективность работы солнечных батарей.

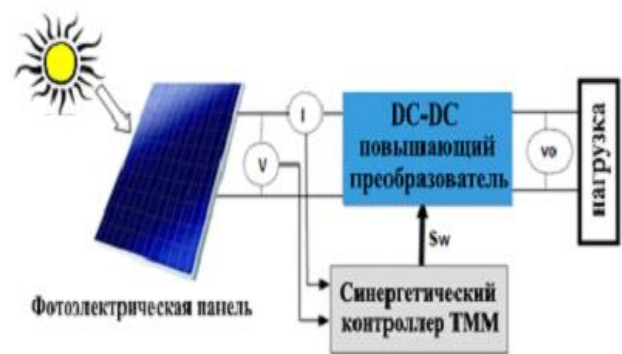


Рис. 3. Схема фотоэлектрической зарядной системы для бесперебойной работы судового электрооборудования.

Предложенная схема реально повышает характеристики фотоэлектрической системы и способствует, как более быстрому заряду аккумуляторов, так и более качественной работе вспомогательного оборудования и повышению надежности эксплуатации солнечной установки.

Выводы

Разработанная методика использования фотоэлектрических систем с накопителя энергии при совместной работе со стандартными резервными батареями судна позволяет значительно поднять эффективность работы судовых систем и надежности эксплуатации судового электрооборудования.

Использование различных источников накопления и генерации электрической энергии с учётом специфики судна, в частности использование фотоэлектрических панелей для зарядки ёмкостных аккумуляторов позволяет неограниченно долго использовать вспомогательное оборудование судна при полном отключении стандартных систем генерации энергии на судне (т.к. работа бесперебойного электроснабжения от стандартных аварийных аккумуляторов отграничена несколькими часами).

Предложенная схема обеспечения судового электрооборудования позволяет также без использования стандартных судовых генераторов обеспечивать работу в период стоянки судна при помощи солнечных батарей.

Список литературы:

1. Судовые системы автоматики и их компоненты - СПб.: ООО "Валком", 2020. - 80с.
2. Интегрированная система управления техническими средствами судна - СПб.: ООО "Валком", 2019. - 40с.
3. Богомолов В.С. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация /В.С. Богомолов. – М.: Мир, 2006.– 320 с.
4. Баранов А.П. Автоматическое управление электроэнергетическими установками /А.П. Баранов. - М.: Транспорт, 1981. – 246 с.
5. Анализ направлений повышения эффективности электроснабжения гупгс "Севастопольский Морской порт" // Кувшинов В.В., Гусева Е.В., Черкашина Н.И., Лепеха О.Г., Ивантеев И.С. // Естественные и технические науки. 2022. № 3 (166). С. 163-166.
6. Моделирование режимов работы фотоэлектрической системы // Абдали Л.М., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Коровкин Н.В., Бордан Д.Ф. // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2021. Т. 24. № 3. С. 78-87.
7. Методы тестирования наземных фотоэлектрических модулей // Сухенко А.К., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Бордан Д.Ф., Нашев Р.А. // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 3. С. 56-63.
8. Возможности аккумулирования электрической энергии // Зайченко В.М., Кувшинов В.В., Су-

хенко А.К., Бордан Д.Ф., Жиганов И.Г. // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 3. С. 50-55.

References

1. Ship automation systems and their components - St. Petersburg: ООО "Val-kom", 2020. - 80s.
2. Integrated control system for the ship's technical facilities - St. Petersburg: Valkom LLC, 2019. - 40p.
3. Bogomolov V.S. Ship electric power systems and their operation /V.S. Bogomolov. - M.: Mir, 2006. - 320 p.
4. Baranov A.P. Automatic control of electric power installations /A.P. Baranov. - M.: Transport, 1981. - 246 p.
5. Analysis of directions for increasing the efficiency of power supply of the Sevastopol Sea Port State Unitary Enterprise // Kuvshinov V.V., Guseva E.V., Cherkashina N.I., Lepekha O.G., Ivanteev I.S. // Natural and technical sciences. 2022. No. 3 (166). pp. 163-166.
6. Modeling of operating modes of a photovoltaic system // Abdali L.M., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Korovkin N.V., Bordan D.F. // Bulletin of IzhGTU named after M.T. Kalashnikov. 2021. V. 24. No. 3. S. 78-87.
7. Methods for testing ground-based photovoltaic modules // Sukhenko A.K., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Bordan D.F., Nashev R.A. // Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 3. S. 56-63.
8. Possibilities of electric energy storage // Zaichenko V.M., Kuvshinov V.V., Sukhenko A.K., Bordan D.F., Zhiganov I.G. // Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 3. S. 50-55.

УДК 62-626.3

Технологии снижения углеродного следа угольных ТЭС

В.Е. Губин

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
г. Севастополь, 299053, Россия, VEGubin@sevsu.ru

Статья поступила 21.11.2022 г.; после доработки 23.11.2022 г.

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме повышения экологической эффективности тепловых электрических станций, работающих на угле. Приведен краткий обзор современных энергетических проектов с полной утилизацией CO₂. Рассмотрены результаты промышленных испытаний экспериментального образца газогенераторной установки с получением синтез-газа из бурого угля. Предложена новая технологическая схема полного экологического замыкания жизненного цикла угля за счет сочетания разработанной и испытанной линии газификации с технологическими решениями цикла Аллама.

Ключевые слова: газификация, синтез-газ, бурый уголь, диоксид углерода, цикл Аллама, тепловая электрическая станция.

Technologies to reduce the carbon footprint of coal-fired thermal power plants

V.E. Gubin

Sevastopol State University,
Sevastopol, 299053, Russia, VEGubin@sevsu.ru

Received 21.11.2022 y.; received in final form 23.11.2022 y.

Abstract

The article is devoted to the actual problem of increasing the environmental efficiency of coal-fired thermal power plants. A brief review of modern energy projects with full utilization of CO₂ is given. The results of industrial testing of an experimental unit of a gas-generator plant with the production of synthesis gas from brown coal are considered. A new technological scheme for a complete environmentally friendly closure of the life cycle of coal is proposed by combining the developed and tested unit of gasification with the technological solutions of the Allama cycle.

Keywords: gasification, synthesis gas, brown coal, carbon dioxide, Allam cycle, thermal power plant.

Введение

Принятое в 2015 году Парижское соглашение, которое направлено на усиление глобального реагирования на угрозу изменения климата для удержания прироста глобальной средней температуры на уровне 2 °С, стало новым драйвером низкоуглеродного развития мировой экономики [1].

Тренд на снижение доли углеводородной энергетики в общем мировом энергобалансе и введение трансграничных углеродных налогов

является серьезным вызовом для России – одного из крупнейших поставщиков нефти, газа и угля в мире. В условиях наступившего энергоперехода для России критически важно сохранить текущую долю рынка энергоресурсов и обеспечить сокращение издержек на их производство при минимизации углеродного следа за счет создания и применения новых технологических решений, так или иначе включающих технологии частичного или полного улавливания углерода [2]. Уголь, являясь один из основных источников

выбросов CO₂, остается доминирующим стратегическим сырьем, обеспечивающим дешевой энергией развивающиеся страны.

Экологические ограничения становятся все более важным фактором, влияющим на развитие угольной отрасли. Их ужесточение приводит к росту как капитальных, так и операционных затрат в угольной генерации – за счет увеличения экологических платежей и затрат по внедрению мер подавления выбросов и очистки дымовых газов.

Удешевление альтернативных источников и введение «углеродных» платежей может начать вытеснять угольную генерацию экономически, а увеличение доли возобновляемых источников энергии еще и создает технические вызовы – ведь угольная генерация в результате должна становиться более гибкой и маневренной. В этой ситуации компромиссный путь могли бы обеспечить чистые угольные технологии: современные угольные станции имеют очень низкие показатели выбросов – на уровне газовых, очень эффективны и в разы маневреннее.

Но стоимость этих систем нивелирует всю дешевизну угля в сравнении с другими источниками энергии. А технологии улавливания и захоронения CO₂ (CCS - Carbon Capture and Storage) пока не получили широкого распространения из-за высоких затрат на транспортировку и закачку, ограниченных возможностей применения и возможных последующих негативных влияний – опасности выбросов газа в атмосферу, стимулирования сейсмической активности и т.д.

Несмотря на возрастающую тенденцию вытеснения угля из генерации энергии, самые неблагоприятные прогнозы сохраняют его долю в мировом энергобалансе на уровне 19-23% к 2040 году [3].

Постановка задачи

Решить экологические вызовы с одновременным сохранением и преумножением потенциала угольного топлива позволит внедрение комплексных экоэнергетических системных проектов полного жизненного цикла с полной утилизацией CO₂.

Существует ряд технологий, позволяющих реализовать данный подход с использованием ископаемого жидкого и/или газообразного топлива [4], таких как циклы Граца, Аллама, Матиата и др. Все указанные технологии основаны на кислородном сжигании топлива с последующей выработкой энергии в цикле Брайтона.

Чрезвычайно актуальной является задача отработки указанных циклов с использованием в качестве сырья твердых топлив, в частности угля.

Основная часть

Цикл Аллама работает как рекуперативный с высоким давлением, использующий транскритическую рабочую жидкость CO₂ с режим кислородно-топливного горения. Этот цикл начинается с сжигания газообразного топлива с кислородом и горячей рециркулированной сверхкритической рабочей жидкостью CO₂ под высоким давлением в камере сгорания. Рециркулируемый поток CO₂ служит с одной стороны для понижения температуры пламени сгорания до приемлемого уровня, с другой стороны для разбавления продуктов сгорания таким образом, что рабочая жидкость цикла представляет собой преимущественно CO₂. Давление в камере сгорания может достигать примерно 30 МПа, а сырье для сжигания состоит из примерно 95% рециркулируемого CO₂ по массе. Камера сгорания обеспечивает выхлоп под высоким давлением, который может подаваться в турбодетандер, работающий при перепаде давлений от 6 до 12.

Выход из детандера выходит в виде докритической смеси CO₂, преимущественно смешанной с водой, полученной при сжигании. Эта жидкость поступает в теплообменник экономайзера, который охлаждает выходную часть детандера до температуры ниже 65 °С против потока CO₂, который возвращается в камеру сгорания. После выхода из теплообменника экономайзера выхлоп детандера дополнительно охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды, с помощью центральной системы охлаждения, что позволяет удалять жидкую воду из рабочей жидкости и рециркулировать для полезного использования.

Оставшаяся рабочая жидкость, представляющая собой почти чистый CO₂, затем поступает на этап сжатия и откачки. Система сжатия состоит из обычного центробежного компрессора с промежуточным охлаждением и давлением на входе ниже критического давления CO₂. Рабочая жидкость CO₂ сжимается и затем охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды, в доохладителе компрессора. На этом этапе сочетание сжатия и охлаждения рабочего тела позволяет достичь плотности, превышающей 500 кг/м³. В этом состоянии поток CO₂ можно перекачивать до необходимого высокого давления сгорания с помощью многоступенчатого центробежного насоса. Наконец, рабочая

жидкость под высоким давлением отправляется обратно через теплообменник экономайзера для повторного нагрева и возврата в камеру сгорания.

Чистый продукт CO_2 , полученный в результате добавления топлива и кислорода в камеру сгорания, удаляется из потока высокого давления; на этом этапе продукт CO_2 находится под высоким давлением и высокой чистотой, готов к секвестрации или утилизации без необходимости дальнейшего сжатия. Упрощенная технологическая схема для этого цикла представлена на рис. 1.

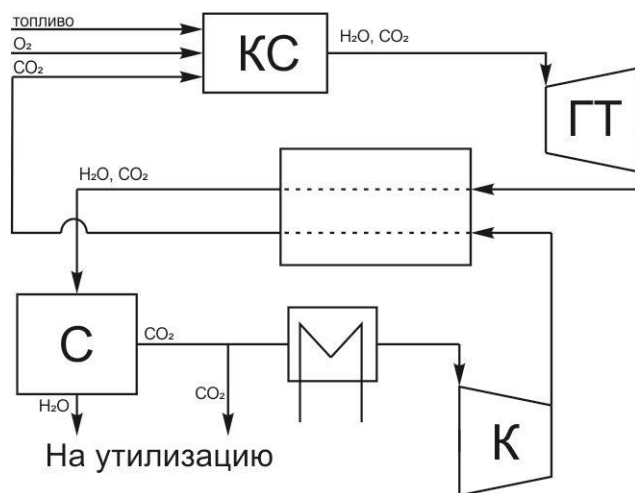


Рис. 1. Принципиальная схема установки, работающей по циклу Аллама [7].

При прочих равных, цикл Аллама обладает наибольшей эффективностью [5] – порядка 57-59 % – при практически полном улавливании выделяющегося диоксида углерода, а также обладает высокой степенью технологической готовности. Так, в 2021 разработчик технологии цикла Аллама 8 Rivers Capital анонсировал 4 проекта, планируемых к пуску к 2025 году [6].

Практическая реализация подобных проектов с использованием твердых топлив, преимущественно угля, была сильно заторможена в свете проблем проекта Кемпер (Миссисипи, США) [8], что продемонстрировало необходимость обширных опытно-промышленных испытаний перед промышленным внедрением такого уровня инновационных технологий, а также подвело к тому факту, что большинство данных технологий имеют низкий уровень технической готовности.

Системы на основе совмещения технологий газификации угля по поточной технологии Шелл и цикла Аллама были предложены в работах

[9,10]. Принципиальная схема подобных установок приведена на рис. 2. Характерной особенностью схемы является использование не только водяного пара для регулирования температуры синтез-газа за газификатором, но и диоксида углерода. Для данных систем расчетная эффективность находилась на уровне 40-42 %, что, тем не менее, значительно выше аналогичных систем с полным улавливанием диоксида углерода.

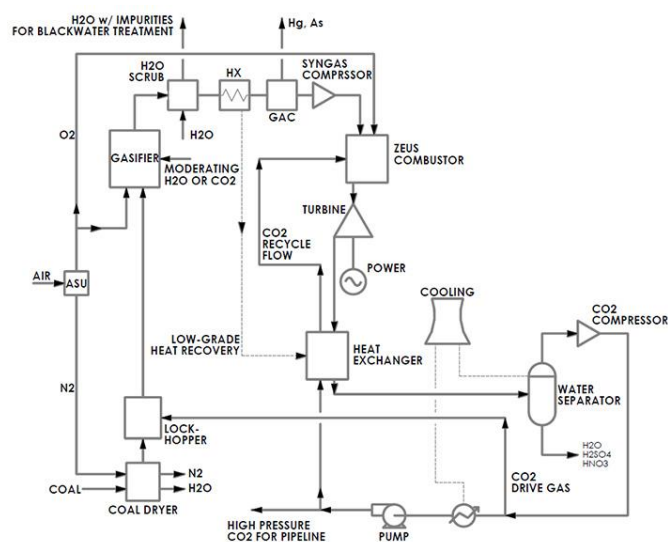


Рис. 2. Принципиальная схема энергетической установки с газификацией угля.

В настоящее время отечественные технологии энергетической газификации твердых топлив, несмотря на значительные компетенции исследователей в данной области, крайне ограничены [11]. На высокой стадии технологической готовности, соответствующей уровням TRL6-7, находятся два решения – поточный газификатор ОАО «НПО ЦКТИ» [12] и горновая газогенераторная установка, разработанная учеными Национального исследовательского Томского политехнического университета и ООО «Всероссийский теплотехнический институт» [13].

Технология горновой газификации осенью 2019 года прошла опытно-промышленные испытания на экспериментальном образце в условиях максимально близких к промышленным [13] в течение более 200 ч (внешний вид опытно-промышленной установки приведен на рис. 3).

Для проведения комплексных испытаний опытно-промышленной установки газификации угля в отдельном здании был создан специальный стенд, включающий в себя, наряду с экспериментальным образцом газогенераторной установки цех приема и хранения угля, его измельче-

ния и фракционирования, компрессорную станцию, собственную электроподстанцию со всей необходимой инженерной инфраструктурой. Общая площадь постройки составляет 1240 м², общая площадь помещений – 2410 м², максимальная высота всего сооружения – 28 м.

В качестве исходного топлива использовались четыре марки угля, в том числе и бурый уголь марки Б разреза “Балахтинский”. Усредненный расход угля составил 4 тонны топлива в час в режиме периодической загрузки.



Рис. 3. Внешний вид опытно-промышленного стенда газификации твердых топлив [13].

В результате газификации угля был получен синтез-газ с объемным расходом до 17 тысяч нм³/ч. Состав синтез-газа (в % от объема) при работе на буром угле составлял: CO₂-3,7; CH₄-9,7; CO-30,2; H₂-7,9; N₂-35,5. Теплота сгорания полученного синтез-газа составила 1947 ккал/м³. По результатам испытаний были идентифицированы основные «узкие» места технологии, ожидаемое время работы установки в режиме нормальной эксплуатации составляло порядка 70 тыс. ч. Полученные в ходе испытания характеристики синтез-газа подтверждают возможности его эффективного энергетического применения взамен неэкологичного прямого сжигания. Однако при использовании синтез-газа в традиционном паротурбинном или газотурбинном цикле сохраняется негативное воздействие на окружающую среду в виде дымовых газов, содержащих CO₂.

Полное экологичное замыкание жизненного цикла угля в предлагаемой схеме может достигаться за счет сочетания разработанной и испытанной линии горновой газификации с технологическими решениями цикла Аллама. Синтез-газ после газификатора должен пройти через систему очистки от твердых частиц и сернистых соединений, губительных для газовой турбины и

прочего технологического оборудования, в первую очередь, нагнетателей. Достоинством технологических решений предлагаемой технологии является высокая допустимая температура очищаемого потока газа, что приводит к значительной экономии теплоты за счет отсутствия необходимости глубокого охлаждения потока. Учитывая являющиеся неотъемлемым свойством процесса более низкие температуры синтез-газа, получаемого в результате горновой газификации твердого топлива, совмещение данных технологий позволит значительно снизить потери энергии в ходе технологических процессов.

Газификация и сжигание синтез-газа будут осуществляться в присутствии кислорода, водяного пара и рециркулируемого сверхкритического CO₂ под высоким давлением [14] для снижения концентрации в потоке прочих удаляемых веществ. Рабочее тело после системы газификации и газоочистки совершает работу в газовой турбине, после которой поступает в высокотемпературный рекуператор-регенератор теплоты. На выходе из рекуператора-регенератора рабочее тело охлаждается для конденсации и удаления влаги, а также удаления избыточного диоксида углерода, направляемого на утилизацию/захоронение, а рециркулируемый поток CO₂ сжимается и возвращается в камеру сгорания через рекуператор. В зависимости от способа утилизации и необходимого давления CO₂ данный поток может удаляться из цикла либо до, либо после компрессора. Помимо диоксида углерода из потока на этой стадии могут удаляться также оставшиеся примеси, способные негативно повлиять на технико-экономические характеристики энергетической установки в целом.

Ключевая особенность цикла Аллама заключается в том, что теплота CO₂ передается сразу из двух источников - высокопотенциального, обеспечиваемого сгоранием синтез-газа, и низкопотенциального, с температурой менее 400 °С, обеспечиваемого за счет теплообменников охлаждения на линии очистки синтез-газа и рециркулятора-рекуператора. Дополнительно часть низкотемпературной теплоты, необходимой для обеспечения высокой эффективности, может быть получена, например, от охлаждения элементов тепловой схемы, таких как, например, воздухоразделительная установка.

Заключение

Таким образом, рассматриваемое техническое решение позволяет получить энергию из

низкосортного угля с нулевыми выбросами CO₂. Практическая отработка метода на опытно-промышленном стенде газификации твердого топлива послужит основой для глубокой энергетической переработки угля. Предварительные оценки и результаты проведенных ранее испытаний позволяют сделать выводы о пригодности разработанного горнового газификатора для надежной работы в составе технологического цикла Аллама с нулевыми выбросами диоксида углерода. Ключевыми отличиями проведенных ранее испытаний от необходимых для верификации возможности работы в парокислородных условиях, необходимых для цикла Аллама, является, в первую очередь, работа в условиях кислородной газификации с дополнительным дутьем диоксидом углерода. В результате данного процесса будет генерироваться синтез-газ с высоким содержанием диоксида и монооксида углерода, а также водорода. Возможное повышение температуры производимого газа будет регулироваться с помощью расхода рециркулируемого диоксида углерода. В опытной установке его нагрев будет осуществляться за счет рекуперации теплоты линии охлаждения синтез-газа, которая уже присутствует в установке. Также для более корректного исследования процесса непосредственно газификации потребуются его реализации в условиях более высокого давления, соответствующего давлениям рабочего тела в цикле Аллама. Несмотря на то, что трубопроводы и непосредственно горновой газификатор существующего стенда для испытания опытно-промышленных установок газификации твердого топлива рассчитаны на высокое давление, оборудование линии обращения с синтез-газом нуждается в соответствующей модернизации. В подобных условиях перспективным решением может стать разработка и верификация физико-математических моделей газификационного оборудования с последующей экстраполяцией результатов на область более высоких давлений. При этом следует отметить высокую степень технологического соответствия существующего опытно-промышленного стенда для подобных исследований. Ценность подобных испытаний, реализуемых в максимально близких к реальной эксплуатации условиях, учитывая неудачный опыт зарубежных коллег, трудно переоценить.

Список литературы

1. Official website of the UNFCCC secretariat, (2021). <https://unfccc.int/ru/peregovorny-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/chto-takoe-parizhskoe-soglashenie>.
2. Y. Tan, W. Nookuea, H. Li, E. Thorin, J. Yan, Property impacts on Carbon Capture and Storage (CCS) processes: A review, *Energy Convers. Manag.* 118 (2016) 204–222. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.079>.
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО Москва, 2019. – 210 с. – ISBN 978-5-91438-028-8
4. T. Hlinčík, K. Ciahotný, P. Buryan, Oxy-fuel combustion of natural gas: A review, *Paliva*. (2020) 162–168. <https://doi.org/10.35933/paliva.2020.04.04>.
5. V. Kindra, A. Rogalev, E. Lisin, S. Osipov, O. Zlyvko, Techno-Economic Analysis of the Oxy-Fuel Combustion Power Cycles with Near-Zero Emissions, *Energies*. 14 (2021) 5358. <https://doi.org/10.3390/en14175358>.
6. J. McMahon, NET Power CEO Announces Four New Zero-Emission Gas Plants Underway - Forbes, *Forbes*. (2021). <https://www.forbes.com/sites/jeffmc-mahon/2021/01/08/net-power-ceo-announces-four-new-zero-emission-gas-plants-underway/?sh=1f5f7d84175b>.
7. E. Dokhaee, A. Saraei, S. Jafari Mehrabadi, P. Yousefi, Simulation of the Allam cycle with carbon dioxide working fluid and comparison with Brayton cycle, *Int. J. Energy Environ. Eng.* 12 (2021) 543–550. <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00401-4>.
8. S. Kelly, How America's clean coal dream unravelled - The Guardian, *Guard.* (2018). <https://www.theguardian.com/environment/2018/mar/02/clean-coal-america-kemper-power-plant>.
9. J. Luo, O. Emelogu, T. Morosuk, G. Tsatsaronis, Exergy-based investigation of a coal-fired allam cycle, *Energy*. 218 (2021) 119471. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119471>.
10. N.T. Weiland, C.W. White, Techno-economic analysis of an integrated gasification direct-fired supercritical CO₂ power cycle, *Fuel*. 212 (2018) 613–625. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.022>.
11. S.P. Filippov, A. V. Keiko, Coal Gasification: At the Crossroad. Technological Factors, *Therm. Eng.* 68 (2021) 209–220. <https://doi.org/10.1134/S0040601521030046>.
12. А.А. Шурчалин, Н.С. Шестаков, Экспериментальное исследование процесса газификации в потоке окислителя под давлением на опытном газификаторе ОАО “НПО ЦКТИ,” *Энергетик*. 8 (2015) 37–41.
13. Ryzhiy, I.A., Shtegman, A.V., Tugov, A.N. et al. Pilot Tests of a Fixed-Bed Coal Gasifier. *Therm. Eng.* 68, 461–472 (2021). <https://doi.org/10.1134/S0040601521060082>.
14. R. Allam, S. Martin, B. Forrest, J. Fetvedt, X. Lu, D. Freed, G.W. Brown, T. Sasaki, M. Itoh, J. Manning,

Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture, *Energy Procedia*. 114 (2017) 5948–5966.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1731>.

References

1. Official website of the UNFCCC secretariat, (2021).
<https://unfccc.int/ru/peregovornyy-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/chto-takoe-parizhskoe-soglashenie>.
2. Y. Tan, W. Nookuea, H. Li, E. Thorin, J. Yan, Property impacts on Carbon Capture and Storage (CCS) processes: A review, *Energy Convers. Manag.* 118 (2016) 204–222. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.079>.
3. Forecast for the development of energy in the world and Russia 2019 / ed. A.A. Makarova, T.A. Mitrova, V.A. Kulagina; ERI RAS – Moscow School of Management SKOLKOVO Moscow, 2019. – 210 p. - ISBN 978-5-91438-028-8
4. T. Hlinčík, K. Čiahotný, P. Buryan, Oxy-fuel combustion of natural gas: A review, *Paliva*. (2020) 162–168. <https://doi.org/10.35933/paliva.2020.04.04>.
5. V. Kindra, A. Rogalev, E. Lisin, S. Osipov, O. Zlyvko, Techno-Economic Analysis of the Oxy-Fuel Combustion Power Cycles with Near-Zero Emissions, *Energies*. 14 (2021) 5358. <https://doi.org/10.3390/en14175358>.
6. J. McMahon, NET Power CEO Announces Four New Zero-Emission Gas Plants Underway - *Forbes*, *Forbes*. (2021).
<https://www.forbes.com/sites/jeffmahon/2021/01/08/net-power-ceo-announces-four-new-zero-emission-gas-plants-underway/?sh=1f5f7d84175b>.
7. E. Dokhaee, A. Saraei, S. Jafari Mehrabadi, P. Yousefi, Simulation of the Allam cycle with carbon dioxide working fluid and comparison with Brayton cycle, *Int. J. Energy Environment. Eng.* 12 (2021) 543–550. <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00401-4>.
8. S. Kelly, How America's clean coal dream unravelled - *The Guardian*, *Guard.* (2018).
<https://www.theguardian.com/environment/2018/mar/02/clean-coal-america-kemper-power-plant>.
9. J. Luo, O. Emelogu, T. Morosuk, G. Tsatsaronis, Exergy-based investigation of a coal-fired allam cycle, *Energy*. 218 (2021) 119471. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119471>.
10. N.T. Weiland, C.W. White, Techno-economic analysis of an integrated gasification direct-fired supercritical CO₂ power cycle, *Fuel*. 212 (2018) 613–625. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.022>.
11. S.P. Filippov, A. V. Keiko, Coal Gasification: At the Crossroad. Technological Factors, *Therm. Eng.* 68 (2021) 209–220. <https://doi.org/10.1134/S0040601521030046>.
12. A.A. Shurchalin, N.S. Shestakov, Experimental study of the gasification process in an oxidizer flow under pressure on an experimental gasifier of OAO NPO CKTI, *Energetik*. 8 (2015) 37–41.
13. Ryzhiy, I.A., Shtegman, A.V., Tugov, A.N. et al. Pilot Tests of a Fixed-Bed Coal Gasifier. *Therm. Eng.* 68, 461–472 (2021).
<https://doi.org/10.1134/S0040601521060082>.
14. R. Allam, S. Martin, B. Forrest, J. Fetvedt, X. Lu, D. Freed, G.W. Brown, T. Sasaki, M. Itoh, J. Manning, Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture, *Energy Procedia*. 114 (2017) 5948–5966.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1731>.

УДК 533.9.07

Исследование электрических параметров прототипа технологической установки электродугового синтеза переменного тока в открытой воздушной среде

В.Е. Губин¹, А.А. Лавренчук¹, М.Ю. Сперанский¹, А.Я. Пак²¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия,²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050, Россия, ¹VEGubin@sevsu.ru, ¹AALavrenchuk@sevsu.ru, ¹MYSperanskiy@sevsu.ru, ²AYapak@tpu.ru

Статья поступила 01.11.2022 г.; после доработки 03.11.2022 г.

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования и определены электрические параметры прототипа технологической установки электродугового синтеза переменного тока в открытой воздушной среде. Данные исследования являются одним из перспективных направлений в технологии безвакуумного электродугового плазмохимического синтеза. В связи с этим возникает необходимость в исследовании электрических параметров технологических установок с безвакуумными электродуговыми реакторами переменного тока.

Ключевые слова: безвакуумный электродуговой реактор, синтез материалов, электрические параметры.

Investigation of the electrical parameters of the prototype of the technological installation of electric arc synthesis of alternating current in an open air environment

V.E. Gubin¹, A.A. Lavrenchuk¹, M.Yu. Speranskiy¹, A.Ya. Pak²¹Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia²National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave., 30, Tomsk, 634050, Russia, ¹VEGubin@sevsu.ru, ¹AALavrenchuk@sevsu.ru, ¹MYSperanskiy@sevsu.ru, ²AYapak@tpu.ru

Received 01.11.2022 y.; received in final form 03.11.2022 y.

Annotation

Experimental studies have been carried out and the electrical parameters of the prototype of the technological installation of electric arc synthesis of alternating current in an open air environment have been determined. These studies are one of the promising directions in the technology of non-vacuum electric arc plasma chemical synthesis. In this regard, there is a need to study the electrical parameters of technological installations with vacuum-free electric arc reactors of alternating current.

Keywords: vacuum-free electric arc reactor, synthesis of materials, electrical parameters.

Введение

Значительный рост интереса к электродуговым методам синтеза порошковых материалов

наблюдается еще с 80-х годов 20 века ввиду получения ряда углеродных наноструктур (в частности, углеродных нанотрубок) с использованием плазмы дугового разряда постоянного тока.

Значительный вклад в развитие технологий получения нанотрубок и самих электродуговых методов внесли группы авторов из Франции, США, Японии: С. Journet, W. K. Maser, P. Bernier, A. Loiseau, M. Lamy de la Chapelle, S. Lefrant, P. Deniard, R. Lee, J. E. Fischer, Sumjo Jijima.

Повышенный интерес к углеродным наноструктурам приводит к новым разработкам и усовершенствованиям методов их получения, в том числе и с помощью использования плазмы дугового разряда постоянного тока, который инициируется и существует как в условиях герметичного реактора, заполненного атмосферным или синтетическим воздухом, так и в условиях открытой воздушной среды. Безвакуумный электродуговой метод позволяет снизить затраты на синтез материалов, что связано с его конструктивными преимуществами: отказ от дорогостоящего вакуумного оборудования ввиду особенности методики и возможностью синтеза материалов в атмосфере воздуха, а также быстротой протекающих процессов, позволяющих сократить время синтеза. Этот относительно новый метод требует проведения исследований в области повышения производительности, дальнейшего повышения энергоэффективности. В данной работе представлены результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований электрических параметров технологической установки с безвакуумным электродуговым реактором переменного тока.

Постановка задачи и целей исследования

В последние годы получил распространение метод электродугового синтеза в воздухе низкого и нормального давления. Особенностью такого подхода является реализация синтеза заданного материала в открытой воздушной атмосфере, что позволяет значительно упростить конструкцию оборудования и повысить энергоэффективность процесса синтеза за счет отказа от вакуумного и газораспределительного оборудования. Изначально с использованием электродугового синтеза в воздухе был получен ряд углеродных материалов, в основном, однослойные и многослойные углеродные нанотрубки [4-8]. Затем этот метод был применен для получения карбидов металлов [1] и неметаллов [2], а также высокоэнтропийных карбидов [3]. Можно выделить несколько конструкций электродуговых реакторов, реализующих синтез материалов в воздухе. Первая конструкция представляет со-

бой стандартный электродуговой реактор, в котором отсутствуют баллоны с инертными газами, вакуумный насос, и внутри камеры реактора вместо инертной газовой среды используется воздух. На рисунке 1 показана схема такого типа реакторов, с помощью которой были синтезированы однослойные углеродные нанотрубки и нанорожки [4]. В качестве электродов выступали графитовые стержни диаметром 11 мм, длиной 150 мм с чистотой 99 % и плотностью 1720 кг/м³. В аноде был высверлен канал диаметром 3 мм, длиной 50 мм, в котором располагалась смесь исходных реагентов (порошки графита, никеля и иттрия в массовом соотношении 1:1:1). Электрическая дуга зажигалась при приложении напряжения 36 В и постоянного тока 100 А. Расстояние между горизонтально расположенными электродами, равное ~ 1 мм, создавалось за счет перемещения анода относительно стационарного катода с помощью ручного привода. Максимальное время синтеза составило 6 мин.

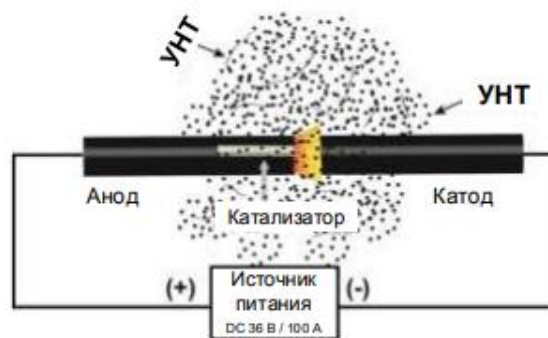


Рис. 1 Схема разрядного контура электродугового реактора [4]

Результаты исследований

Исследование по определению электрических параметров прототипа технологической установки проводилось на лабораторном безвакуумном электродуговом реакторе переменного тока, который ранее был модернизирован [9]. Электродуговой плазменный реактор представляет собой реактор совмещенного типа с вертикальным расположением электродов. При конструкции реактора с вертикальным расположением электродов дуговой разряд инициируется непосредственно между первым графитовым электродом и обрабатываемым материалом, заложенным в полость второго электрода, что позволяет обеспечить необходимые температурные условия для синтеза большинства материалов на основе углерода (известно, что температура в

месте инициации дугового разряда может достигать порядка 10000 °С [10]). Процесс синтеза происходит без использования инертной среды или дополнительного оборудования для создания вакуума, но при этом продукты синтеза не окисляются что связано с особенностями устройства и работой электродугового реактора [11].

Электродуговой плазменный реактор состоит из регулируемого силового источника питания переменного тока, выполненного на базе промышленного двухфазного сварочного трансформатора марки ТДМ 450, такой источник питания имеет рабочий выходной ток от 80 А до 450 А, напряжение питания 380 В и напряжение холостого хода 63 В. Исходные материалы помещаются на дно цилиндрического графитового тигля, устанавливаемого на массивную медную шину, к которой подводится питание одного из выводов источника тока, тем самым обеспечивается максимальная площадь контакта и устойчивое положение тигля. Ко второму выходу источника питания подключается латунный стяжной захват, в котором фиксируется второй электрод, выполненный из мелкозернистого плотного графита. Подача второго электрода в реакторную зону (полость тигля) происходит с помощью подвижного ручного привода, после соприкосновения электрода с тиглем, графитовый электрод отводится на определенное расстояние в результате чего происходит образование дугового разряда.

Основными параметрами процесса электродугового синтеза материалов являются вольтамперные характеристики и температура зоны реакции. Для определения значения силы тока использовались токовые клещи марки TD-3348, данный прибор позволяет регистрировать значения силы тока до 1000 А. Регистрация напряжения проводилась с использованием мультиметра UNI-T UT 58C. С помощью высокотемпературного пирометра DT-9862S производилось измерение температуры на внешней стенке графитового тигля. Регулирование процесса переработки и синтеза материалов в электродуговых реакторах может осуществляться путем изменения параметров силы тока и времени воздействия дугового разряда на образец.

Таблица 1 Влияние параметров электродугового реактора переменного тока на температурные режимы и массовый баланс элементов системы

№ Эксп.	Время, сек	Ток, А	Напряжение, В	Количество энергии, кДж	Δm электрода, г	Δm тигля, г
1	10	155	42	65	-0,412	0,116
2	20	155	42	130	-0,533	0,127
3	30	155	42	195	-0,694	0,244

4	40	155	42	260	-0,872	0,302
5	50	155	42	325	-1,175	0,498

В данной работе были произведены исследования по изменению времени воздействия электродугового разряда от 10 до 50 с и шагом в 10 секунд при постоянном значении тока 155 ± 5 А, на пустой графитовый тигель с целью определения влияния времени воздействия дугового разряда на массовый баланс системы. В таблице 1 показаны основные параметры работы электродугового реактора и их влияние на массовый баланс компонентов разрядного контура реактора, полученные в результате серии экспериментов по изменению времени воздействия электродугового разряда. Количество выделившейся энергии рассчитано по электрической мощности и времени воздействия; в рассматриваемой системе выделяется от 65 до 325 кДж энергии за время до 50 секунд. Исходя из данных полученных из серии экспериментов по изменению длительности воздействия электродугового разряда на графитовый тигель наблюдается изменение, а именно увеличение массы тигля и уменьшение массы второго электрода.

Результат серии экспериментов по изменению времени воздействия электродугового разряда

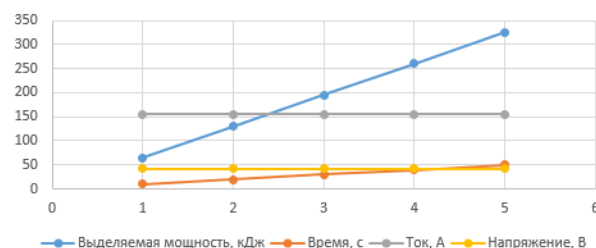


Рис. 2 Результат серии экспериментов по изменению времени воздействия электродугового разряда

Следует отметить, что увеличение времени воздействия разряда, при сохранении значения силы тока, приводит к увеличению выделяемой энергии реакторной зоны, что отображено на рисунке 2. Изменение массы элементов системы можно объяснить высокими температурами при горении дугового разряда, в результате чего происходит разрушение элементов системы с отделением углерода. Выделившийся углерод оседает на стенках графитового тигля, что приводит к увеличению его массы, также углерод при окислении кислородом образуются газы CO и CO₂ что приводит к экранированию зоны реакции и предотвращает окисление синтезируемого продукта.

Выводы

По данным измерений температуры (таблица 1, рисунок 2) видно, что максимальная подводимая энергия была достигнута при максимальном времени воздействия дуги, данный факт можно связать с процессом нагрева тигля. Увеличение времени воздействия позволяет обеспечить наибольший прогрев графитового тигля, со стенки которого производилось измерение температуры, в результате чего при максимальном времени была достигнута наибольшая зарегистрированная температура, при меньших значениях времени наблюдаются температуры ниже максимальной, что связано с недостаточным прогревом графитового тигля.

При исследовании режимов работы лабораторного атмосферного электродугового реактора переменного тока были получены основные параметры работы реактора и их влияние на массовый баланс системы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ВУЗам, проект №FSWW-2022-0018 (ТПУ).

Список литературы

1. Energy on the Phase Composition of the Product of Arc Discharge Synthesis in the Tungsten–Carbon System Obtained in a SelfShielding Autonomous Gas Environment // *Inorg. Mater. Appl. Research*, – 2021, – Vol. 12(2). – P. 544–550.
2. Pak A.Y., Mamontov G.Y. Boron Carbide Synthesis in Low-Voltage DC Electric Arc Initiated in Open Air // *Techn. Phys. Lett.* – 2018. – Vol. 44(7). – P. 615– 617.
3. Pak A.Ya., Grinchuk P.S., Gumovskaya A.A., Vassilyeva Yu.Z. Synthesis of transition metal carbides and high-entropy carbide TiZrNbHfTaC₅ in self-shielding DC arc discharge plasma // *Ceram. Int.* – 2021. – V. 48. – № 3. – P. 3818–3825 Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 300 с.
4. Berkman J.A., Jagannatham M., Reddy R.D., Haridoss P. Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere // *Diam. Relat. Mater.* – 2015. – Vol. 55. – P. 12–15.
5. Joshi R., Engstler J., Nair P.K., Haridoss P., Schneider J. High yield formation of carbon nanotubes using a rotating cathode in open air // *Diam. Relat. Mater.* – 2008. – Vol. 18. – P. 913–919.
6. Zhao J., Su Y., Yang Z., Wei L., Wang Y., Zhang Y. Arc synthesis of doublewalled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // *Carbon*. – 2013. – Vol. 53. – P. 92–98.
7. Li N., Wang Z., Zhao K., Shi Z., Gu Z., Xu S. Syn-

thesis of single-wall carbon nanohorns by arc-discharge in air and their formation mechanism // *Carbon*. – 2010. – Vol. 48. – P. 1580–1585.

8. Su Y., Wei H., Li T., Geng H., Zhang Y. Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge // *Mater. Research Bull.* – 2014. – V. 50. – P. 23–25. Андреев В.М., Грилихес В.А.,
9. Модернизация электродугового реактора для синтеза порошковых материалов для энергетики / Сперанский М.Ю., Лавренчук А.А., Пак А.Я. //Международная научно-практическая конференция «Перспективные технологии и материалы». - Севастополь: 2022. – С. 247-249.
10. Zhao J., Su Y., Yang Z., Wei L., Wang Y., Zhang Y. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // *Carbon. Elsevier*, 2013. Vol. 58. P. 92–98.
11. Pak A.Y., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Elsevier*, 2020. Vol. 93. P. 105343.

References

1. Pak A.Y., Kokorina A.I. Effect of Energy on the Phase Composition of the Product of Arc Discharge Synthesis in the Tungsten–Carbon System Obtained in a SelfShielding Autonomous Gas Environment // *Inorg. Mater. Appl. Research*, – 2021, – Vol. 12(2). – P. 544–550.
2. Pak A.Y., Mamontov G.Y. Boron Carbide Synthesis in Low-Voltage DC Electric Arc Initiated in Open Air // *Techn. Phys. Lett.* – 2018. – Vol. 44(7). – P. 615– 617.
3. Pak A.Ya., Grinchuk P.S., Gumovskaya A.A., Vassilyeva Yu.Z. Synthesis of transition metal carbides and high-entropy carbide TiZrNbHfTaC₅ in self-shielding DC arc discharge plasma // *Ceram. Int.* – 2021. – V. 48. – No. 3. – P. 3818–3825Coltun M.M. Optics and metrology of solar cells. M.: Nauka, 1985. 300 p.
4. Berkman J.A., Jagannatham M., Reddy R.D., Haridoss P. Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere // *Diam. Relat. Mater.* – 2015. – Vol. 55. – P. 12–15.
5. Joshi R., Engstler J., Nair P.K., Haridoss P., Schneider J. High yield formation of carbon nanotubes using a rotating cathode in open air // *Diam. Relat. Mater.* – 2008. – Vol. 18. – P. 913–919.
6. Zhao J., Su Y., Yang Z., Wei L., Wang Y., Zhang Y. Arc synthesis of doublewalled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // *Carbon*. – 2013. – Vol. 53. – P. 92–98.
7. Li N., Wang Z., Zhao K., Shi Z., Gu Z., Xu S. Syn-

- thesis of single-wall carbon nanohorns by arc-discharge in air and their formation mechanism // Carbon. – 2010. – Vol. 48. – P. 1580–1585.
8. Su Y., Wei H., Li T., Geng H., Zhang Y. Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge // Mater. Research Bull. – 2014. – V. 50. – P. 23–25. Andreev V.M., Grilihes V.A.,
 9. Modernization of an electric arc reactor for the synthesis of powder materials for power engineering / Speransky M.Yu., Lavrenchuk A.A., Pak A.Ya. // International scientific and practical conference "Promising technologies and materials". - Sevastopol: 2022. – pp. 247-249.
 10. Zhao J., Su Y., Yang Z., Wei L., Wang Y., Zhang Y. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // Carbon. Elsevier, 2013. Vol. 58. P. 92–98.
 11. Pak A.Y., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Korina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. Elsevier, 2020. Vol. 93. P. 105343.

УДК 620.92

Использование термальных подземных вод для обеспечения хозяйственных нужд в коммунальном секторе Крыма и Севастополя

Нашев Р.А.¹, Кувшинов В.В.², Бахтина Н.В.³, Березняк В.А.⁴, Тиман Д.И.⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299053, Россия,

¹bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru, ²VVKuvshinov@sevsu.mail.ru,
³nvbahitina@mail.sevsu.ru, ⁴megadaniil2018@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru,

Статья поступила 03.11.2022 г.; после доработки 08.11.2022 г.

Аннотация

Описывается возможность обеспечения коммунальных потребителей тепловой энергией, полученной от термальных подземных вод. Приведены расчеты мощностных характеристик геотермальных установок и экономического эффекта от их использования.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, тепловой гелиоколлектора, солнечная энергия, геотермальная система, теплообменный аппарат, погружной насос

The use of thermal groundwater to meet household needs in the communal sector of the Crimea and Sevastopol

Nashev R.A.¹, Kuvshinov V.V.², Bahtina N.V.³, Berezhnyak V.A.⁴, Timan D.I.⁵

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru, ²VVKuvshinov@sevsu.mail.ru, ³nvbahitina@mail.sevsu.ru, ⁴megadaniil2018@mail.ru, ⁵gern96-10@mail.ru,

Received 03.11.2022 y.; received in final form 08.11.2022 y.

Abstract

The possibility of providing utility consumers with thermal energy obtained from thermal groundwater is described. Calculations of the power characteristics of geothermal installations and the economic effect of their use are given.

Key words: photovoltaic converter, thermal solar collector, solar energy, geothermal system, heat exchanger, submersible pump.

Введение

Геотермальные воды широко используются в различных странах мира, особенно в предгорных районах [1]. Наиболее развитая структура использования геотермальных ресурсов имеется в Норвегии, Исландии, Германии, Японии, США. Имеются государственные программы освоения геотермальных ресурсов в Австрии, Монголии, Китае, России.

Используя тепло пород земной коры, можно

через скважины закачивать вниз холодную воду, а на выходе получать пар или горячую воду, которые затем используются как в быту, так и на производстве.

Первые эксперименты в данной области проводились более 100 лет назад. Практически применить геотермальный генератор попытались в США во времена нефтяного кризиса, правда, не очень удачно.

Связано это было прежде всего с тем, что существующие на тот момент установки были

несовершенны. В настоящее время геотермальная энергия успешно вырабатывается в таких странах, как: Германия, США, Англия, Япония, Франция, Норвегия, Испания, Греция. А в Исландии, которая не зря считается самой экологически чистой страной, свыше 80% населения для отопления помещений, оранжерей, плавательных бассейнов используют геотермальную энергию [2].

Преимущества геотермии, по мнению специалистов, очевидны. Во-первых, никакого, по сравнению с нефтью и углем, вреда для окружающей среды, во-вторых, доступность в любое время года и при любой погоде, в-третьих, затраты на профилактику и эксплуатацию практически сведены к нулю. Затраты на все работы по установке системы окупаются уже через 8 - 10 лет. Освобождаются площади, которые раньше необходимы были для хранения топлива [1, 2].

Главным достоинством геотермальной энергии является ее практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

Наиболее успешно реализованные проекты имеют скважины, пробуренные непосредственно в естественные подземные коллекторы геотермальных районов. Этот метод используется в Гейзерах (Калифорния) и в Уайракее (Новая Зеландия), где в скважинах существует значительное давление. Подобные методы используются для извлечения энергии из водоносных слоев в высокотермальных районах, где природного напора достаточно, чтобы обойтись без насосных систем.

Однако высокотермальные районы слабо распространены. В основном для получения тепловой энергии, годной к использованию в больших масштабах, необходимо бурить скважины не менее чем на 1 километр. Однако существуют множество районов с высокотемпературными (до 100 градусов) источниками тепла. По оценкам специалистов, один из таких районов располагается на глубине 900 метров под городом Севастополем [3].

Опыт использования геотермальных источников показал большие возможности во внедрении систем электротеплоснабжения с использованием источников геотермальной энергии. Температурный режим и химические характеристики геотермальных вод Крыма позволяют их практическое использование в системах электротеплоснабжения курортно-рекреационных комплексов, жилищно-коммунального сектора и сельского хозяйства [4].

Установленные потенциальные ресурсы

подземных геотермальных вод Крыма составляют 27 млн. кубических метров в сутки. Температурный режим и химические характеристики геотермальных вод Крыма подтверждают возможности использования их в жилищном и рекреационном секторе [3, 4].

На действующей геотермальной теплоэлектростанции в селе Медведевка Джанкойского района при содержании газа 1 м³ на 1 м³ термальной воды, при расходе 650 м³ воды в сутки и давлении на устройстве 0,5 МПа было получено 650 кВт тепловой мощности от термальной воды [3]. Также было получено 60 кВт энергетической мощности от электрогенератора, за счет сжигания газовой составляющей в приводном двигателе внутреннего сгорания, переоборудованном под газ.

Тепловая энергия используется для отопления школы и детского сада. Для обеспечения круглогодичного использования геотермальной энергии создан проект технологического комплекса, в котором геотермальная энергия используется для теплоснабжения жилых домов поселка Янтарное.

По данным «Крымгеологии» запасы термальных вод на территории Красногвардейского района составляет 39000 м³/сут., которые с избытком покрывают максимальные тепловые нагрузки в поселке Красногвардейское [3].

Постановка задачи

В представленной работе предлагается для сокращения потребления органических топлив, необходимых для работы котельных в городе Севастополь, использовать тепловую энергию термальных вод, которые находятся практически под всей территорией этого региона.

Если посмотреть на термальные водоносные слои, находящиеся под Севастопольской бухтой и другой территорией Севастопольского района (рис. 1) можно увидеть, насколько плотно распределены потоки геотермальных вод.

Причем основные слои находятся как раз под основной территорией города, где располагаются отопительные объекты коммунального сектора.

Городские котельные потребляют такие виды органического топлива, как уголь, природный газ и нефтепродукты, выбрасывая в атмосферу курортного региона огромное количество вредных веществ и углекислого газа. При этом все это необходимо только для нагрева теплоносителя и обеспечения им коммунальных объектов города.

Однако термальные воды имеют достаточно высокую температуру чтобы использовать их тепловую энергию для систем теплоснабжения [4].



Рис.1. Схема границ потоков подземной геотермальной воды в районе Севастопольского района (сплошные черные линии – потоки подземных термальных вод): 1 – район ГРЭС.

Целью данной работы предполагалось разработать проект тепло обеспечения жилого массива мощностью 30 МВт использующий в качестве источника энергии тепло подземных вод с температурой 85 °С, а также сделать проект технической реализации данного проекта для использования в окрестностях Гагаринского района в г. Севастополь.

Представим характеристика подземных вод Севастополя:

- Глубина залегания – 600-1200 м;
- Температура воды – 48-85 °С;
- Состав воды – слабоминерализованная, пригодная для питья.
- Залегание воды – в породах с крупнозернистым песчаником повышенной трещиноватости.
- Направление миграции подземных вод – с востока на запад и с юга на север со сбросом в море на глубинах более 600 м.
- Потоки подземных вод проходят под территориями практически всех районов города Севастополя.
- Установленные потенциальные ресурсы подземных геотермальных вод Крыма составляют 27 млн. кубических метров в

сутки.

- Температурный режим и химические характеристики геотермальных вод Крыма подтверждают возможности использования в системах агропромышленной и в курортно-оздоровительной сфере.

Рассмотрим другие объекты на территории Республики Крым, где уже используются геотермальные источники энергии.

На действующей геотермальной теплоэлектростанции в селе Медведевка Джанкойского района Республики Крым при содержании газа 1 м³ на 1 м³ термальной воды, 650 м³ воды в сутки и давлении на устройстве 0,5 МПа получены 650 кВт тепловой мощности от термальной воды и 60 кВт энергетической мощности от электрогенератора за счет сжигания газовой составляющей в приводном двигателе внутреннего сгорания, переоборудованном под газ. Тепловая энергия используется для отопления школы и детского сада. Отделение газа от воды в сепараторе - происходит на поверхности [3].

Для обеспечения круглогодичного использования геотермальной энергии создан проект технологического комплекса, в котором геотермальная энергия используется:

- для теплоснабжения жилых домов поселка Янтарное;
- технологий по переработке и хранению продукции (для сушки, копчения, консервирования овощных продуктов, рыбы, мяса);
- для создания лечебного и спортивно-оздоровительного центра с использованием термальных вод;
- для создания тепличного комплекса;
- линии для производства пищевых добавок и лечебных препаратов.

По данным «Крымгеологии» запасы термальных вод на территории Красногвардейского района составляет 39000 м³/сут., которые с избытком покрывают максимальные тепловые нагрузки в поселке Красногвардейское.

Опыт использования геотермальных источников в поселке Янтарное и для теплоснабжения гелиотеплиц, хладоснабжения, сушки, переработки с/х продукции, в поселке Медведевка для отопления детского сада и школы показал большие возможности во внедрении систем энерготеплохладоснабжения с использованием источников геотермальной энергии [1-4].

Температурный режим и химические характеристики геотермальных вод Крыма позволяют их практическое использование в системах энерготеплоснабжения жилищно-коммунального

сектора, сельского хозяйства и курортно-оздоровительного комплекса.

Результаты исследования

Для использования термальных вод в Севастопольском районе необходимо пробурить скважину для извлечения тепловой энергии в виде нагретого теплоносителя. Затем используется обычная система теплоснабжения для коммунальных потребителей [5].

Для подачи теплоносителя в систему отопления использована схема, изображенная на рис. 2.

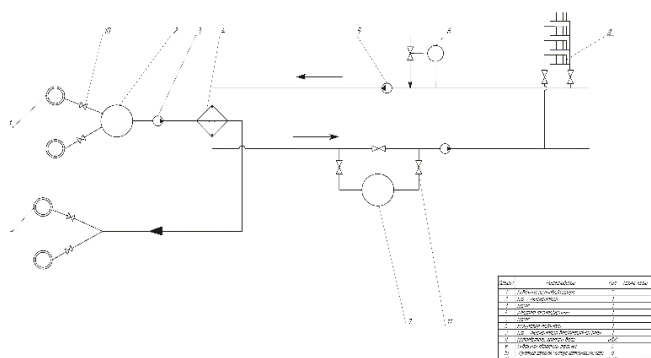


Рис. 2. Схема геотермального теплоснабжения (предполагается использование в окрестностях Гагаринского района в г. Севастополь).

Работа геотермальной установки на территории Севастополя должна обеспечиваться насосным оборудованием [6].

На рис. 3 представлена схема погружного винтового насоса, установленного в геотермальной скважине.

Для обеспечения необходимого расхода в контуре со скважинной водой будут использоваться 12 центробежных насосов подача каждого из которых составляет 50 м³.

Насосы марки ДЗ20-50 устанавливаются на контур горячего водоснабжения в количестве трех штук, производственного объединения «Электромотор», специализирующегося на производстве и продаже промышленного оборудования (электродвигатели и насосы): два насоса будут постоянно включены в работу параллельно, а третий насос будет подключаться для проведения планово-предупредительных работ, ремонта, замены и др.

Целью данной работы предполагалось разработать проект тепло обеспечения жилого массива мощностью 30 МВт использующий в качестве источника энергии тепло подземных вод с

температурой 85 °С, а также сделать проект технической реализации данного проекта для использования в окрестностях Гагаринского района в г. Севастополь.

Целью данной работы предполагалось разработать проект тепло обеспечения жилого массива мощностью 30 МВт использующий в качестве источника энергии тепло подземных вод с температурой 85 °С, а также сделать проект технической реализации данного проекта для использования в окрестностях Гагаринского района в г. Севастополь.

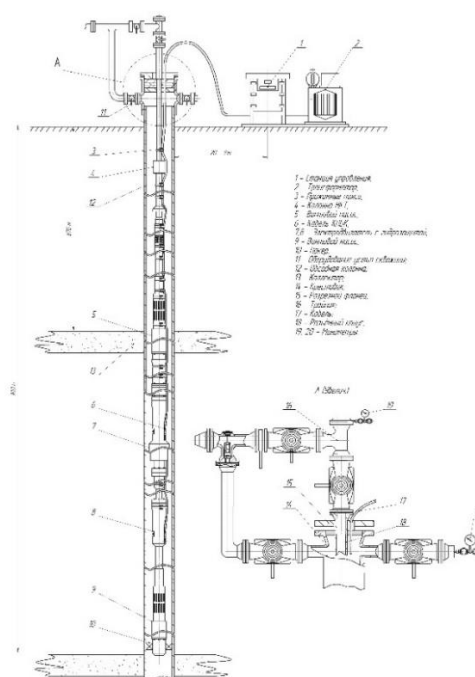


Рис. 3. Схема установки погружных винтовых электронасосов в геотермальной скважине (предполагается установка на геотермальной скважине в г. Севастополь).

Конструкция насосов ДЗ20-50: горизонтальные, центробежные, одноступенчатые насосы с горизонтальным разъемом корпуса, рабочее колесо двухстороннего входа. Материалы проточной части насосов: рабочее колесо - чугун СЧ25, вал - Сталь 45. Уплотнение вала: двойной сальник.

Перекачиваемые среды:

- вода и жидкости, сходные с водой по вязкости и химической активности;
- температура перекачиваемой жидкости до +95°С;

- допускаемые абразивные включения: содержание по массе - не
- более 0,05%, размер - не более 0,2 мм;
- расход теплоносителя – 320 м³ / ч ;
- мощность электродвигателя АИР250S4 – 75 кВт

Одним из основных элементов всей геотермальной системы теплоснабжения является теплообменник [5-7]. Предполагаемый для использования теплообменный аппарат представлен на рис. 4.

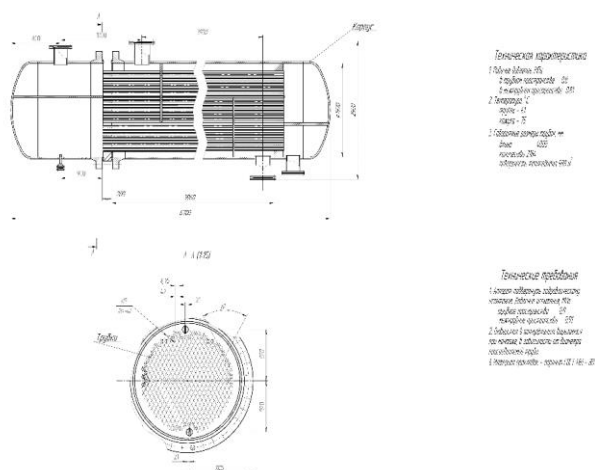


Рис. 4. Теплообменный аппарат (предполагается использование для геотермальной системы теплоснабжения).

Эксплуатация теплообменных аппаратов регламентируется «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ) и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [7].

Основными задачами эксплуатации теплообменных аппаратов являются:

- обеспечение бесперебойной работы аппаратов с расчетными параметрами теплоносителей в течение длительного периода;
- обеспечение наиболее экономичной работы аппаратов с максимальным использованием тепла греющей среды.

Обязательным условием надежной работы теплообменного аппарата является его качественное изготовление. Однако даже при соблюдении этого условия аппарат может быть выведен из строя во время его перевозки, а также хранения на складе, т. е. еще задолго до начала эксплуатации.

С точки зрения хранения особые требования предъявляются к подогревателям с латунными

трубками, поскольку латунь марки Л-68, содержащая более 15% цинка, подвержена обесцинкованию, протекающему особенно интенсивно там, где имеют место наибольшие напряжения металла, например в вальцовочных соединениях труб с досками. При длительном хранении теплообменных аппаратов под открытым небом в условиях резких колебаний температур и выпадения осадков, в особенности вблизи складов химикатов, происходит растрескивание материала трубок. Этот дефект может быть обнаружен лишь после пуска оборудования в работу и является трудноустраняемым, так как локализовать течи в трубках при их массовом выходе из строя практически невозможно. Избежать таких повреждений аппаратов можно лишь путем строгого соблюдения правил их хранения в закрытых сухих и отапливаемых помещениях, что должно предусматриваться проектом организации работ по монтажу оборудования [5-7].

Наиболее ответственными операциями в процессе эксплуатации теплообменных аппаратов являются их пуски и остановки, так как при этом конструкции подогревателей испытывают наибольшие термические напряжения в связи со значительной скоростью повышения или понижения температуры металла.

После того, как достигнут установившийся режим работы теплообменника, эксплуатационный персонал должен следить за поддержанием заданных расходов, давлений и температур воды на выходе из него. Выключение из работы теплообменных аппаратов производится в обратном порядке. При этом температура воды на выходе из подогревателя должна снижаться со скоростью, не превышающей 30 град/ч.

Иногда наблюдаются разрывы трубок в местах, расположенных либо против патрубков входа пара в корпус, либо вблизи поперечных перегородок каркасов трубных систем, либо, наконец, у трубок, размещенных по периферии у стоек каркаса подогревателя.

Истирание трубок о поперечные перегородки каркасов в результате температурных деформаций наблюдается в основном у вертикальных аппаратов жесткой конструкции.

Выполнение перегородок у секционных водоводяных подогревателей жесткой конструкции исключает истирание о них трубок, так как последние свободно опираются на пластинчатые промежуточные перегородки, а не зажаты между ними. Поэтому трубки могут в известных пределах прогибаться, если их удлинение в процессе эксплуатации становится большим, чем у корпуса подогревателя [7].

Нарушение герметичности трубной системы приводит к смешению греющей и нагреваемой сред, что в свою очередь вызывает ухудшение качества сетевой воды [7].

В аппаратах жесткой конструкции разгерметизация происходит главным образом за счет температурных деформаций корпуса и трубок, превышающих допустимые, в результате чего в металле трубок возникают осевые усилия, нарушающие вальцовочные соединения. Такие явления наблюдаются в тех случаях, когда температура одного из теплоносителей существенно превышает расчетную.

Аналогичные нарушения герметичности иногда происходят при пуске пароводяных теплообменников с «плавающей» камерой, если она не освобождается от зажимных винтов, фиксирующих положение этой камеры во время перевозки. Грубым нарушением порядка включения теплообменников является подача в корпус горячей воды до того, как обеспечена циркуляция воды в трубной системе. В этих случаях нарушение герметичности трубной системы является неизбежным в результате перегрева и деформаций трубок, приводящих к образованию отдулин и трещин.

Нарушение герметичности трубной системы за счет вальцовочных соединений происходит иногда вследствие ударной коррозии, особенно опасной для тонкостенных латунных трубок.

Ударная коррозия возникает в результате сильного завихрения потока при входе воды из камер в трубки, причем она проявляется в большей мере при высоких скоростях воды. Коррозия усиливается также в тех случаях, когда вода содержит пузырьки воздуха. Поэтому верхний предел скорости воды в теплообменниках определяется не только допустимыми величинами перепада давления, но и необходимостью сохранения плотности вальцовочного соединения трубок. Скорости воды в теплообменных аппаратах принимаются в пределах 1—3 м/сек.

С другой стороны, если вода загрязнена механическими или органическими примесями, то ее скорость в теплообменных аппаратах должна составлять не менее 1,5 м/сек с тем, чтобы эти примеси не осаждались в трубках в виде шлама и грязи.

Гидравлические удары в теплообменниках иногда наблюдаются в связи с парообразованием в отдельных трубках в результате малой скорости течения воды в них или явлений застоя воды. Закипание воды в трубках может происходить

также при низком давлении воды в сети.

Выводы

По результатам представленной работы можно сделать основные выводы:

- Предварительные исследования скоплений геотермальных вод в Севастопольском регионе показывают, что их геофизические параметры залегания (температуры воды более 80°C, давление более 10 атм, глубина залегания 600-1250 м, слабая минерализация), позволяют их использование для хозяйственных и коммунальных нужд города;
- Для разработки проекта использования геотермальных вод в коммунальном секторе г. Севастополя необходимо выполнить детальную привязку подземных потоков к карте города и геологические исследования по выявлению физических параметров природного теплоносителя в каждом городском районе и объемов запасов подземных вод. С этой целью выполнить бурение одной скважины вблизи котельных (предполагается Гагаринский район);
- Использование дистанционной технологии поиска подземных вод, апробированной во многих странах (в том числе разработки Сев ГУ) существенно сократит финансовые затраты на внедрение проекта горячего водоснабжения города;
- Наличие предприятий, выполняющих буровые работы, проектных и научных кадров Севастополя позволяют разработать и внедрить проект использования геотермальных вод для хозяйственно-коммунальных нужд районов города;
- Использование геотермальных вод для теплоснабжения коммунальных объектов является одной из перспективных задач альтернативной энергетики, позволяющая сократить использование органических топлив и улучшить экологическую ситуацию в регионе.

Список литературы

1. Каменский Г.Н., Толстихин М.М., Гидрогеология СССР, Москва, 1970, 364 с.
2. С.Н. Талецкий и др. Региональная оценка перспектив территории работ ПГО «Крымгеология» на термальные воды, Симферополь, 1991 г.
3. Возможности развития геотермальной энергетики Крыма // Майорова Ю.А., Сперанский М.Ю., Кувшинов В.В., Скидан А.А., Смокталь Н.Н. / Энергетические установки и технологии.

2021. Т. 7. № 4. С. 49-56.
4. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства // Бордин Д.Ф., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М. / Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 46-52.
 5. Левин Р.Е. Теплотехника: котельные установки, тепловые двигатели, М.: Metallurgizdat, 1951. – 286 с.
 6. Насосы и насосные станции: Учебник / Под ред. В.Ф. Чебаевского. - М.: Агропромиздат, 1989. - 416с.
 7. Левин Б.И. Теплообменные аппараты систем теплоснабжения, М. – Л.: Энергия, 1965. – 256 с.

References

1. Kamensky G.N., Tolstikhin M.M., Hydrogeology of the USSR, Moscow, 1970, 364 p.
2. S.N. Taletsky and others. Regional assessment of the prospects for the territory of work of the PGO "Krymgeologiya" for thermal waters, Simferopol, 1991
3. Opportunities for the development of geothermal energy in the Crimea // Mayorova Yu.A., Speransky M.Yu., Kuvshinov V.V., Skidan A.A., Smoktal N.N. / Power installations and technologies. 2021. V. 7. No. 4. S. 49-56.
4. Development potential of thermal solar energy for the needs of public utilities // Bordan D.F., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Oleinikov A.M., Ghashim M. / Power plants and technologies. 2021. V. 7. No. 1. S. 46-52.
5. Levin R.E. Heat engineering: boiler plants, heat engines, Moscow: Metallurgizdat, 1951. - 286 p.
6. Pumps and pumping stations: Textbook / Ed. V.F. Chebaevsky. - M.: Agropromizdat, 1989. - 416s.
7. Levin B.I. Heat exchangers of heat supply systems, M. - L.: Energiya, 1965. - 256 p.

УДК 620.92

Исследование возможности реконструкции автоматики электрической подстанции, с обеспечением собственных нужд от солнечных панелей

Чепенюк А.А.¹, Кувшинов В.В.², Абейдулин С.А.¹, Жильцов А.С.⁴,
Шахова Н.В.⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,
,¹ eingog@gmail.com, ² VVKuvshinov@sevsu.ru, ³ SAAbaidulin@sevsu.ru, ⁴ 29novel@gmail.com ,
nvshakhova@sevsu.ru

Статья поступила 18.11.2022 г.; после доработки 21.11.2022 г.

Аннотация

Описывается возможность и метод реконструкции релейной защиты и автоматики на электроподстанциях с возможностью подключения дополнительных источников генерации на основе солнечной электростанции

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, фотоэлектрический преобразователь, тепловой преобразователь, солнечная энергия, комбинированный коллектор, электрические машины

Study of the possibility of reconstruction of relay protection and automation of an electrical substation 110/35/6 kV, with the possibility of connecting a solar power plant

Chepenyuk A.A., Kuvshinov V.V., Abeidulin S.A., Zhiltsov A.S.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University",
st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia,
¹ eingog@gmail.com, ² VVKuvshinov@sevsu.ru, ³ SAAbaidulin@sevsu.ru, ⁴ 29novel@gmail.com,
nvshakhova@sevsu.ru

Received 18.11.2022 y.; received in final form 21.11.2022 y.

Abstract

The possibility and method of reconstruction of relay protection and automation at electrical substations with the possibility of connecting additional generation sources based on a solar power station are described.

Keywords: relay protection and automation, photoelectric converter, thermal converter, solar energy, combined collector, electric enginery

Введение

Статья посвящена изучению вопроса модернизации оборудования трансформаторной подстанции, в частности морально устаревшей релейной защиты и автоматики. А также, изучение вопроса подключения альтернативных источников энергии к сети. Таких как солнечные

электростанции. В процессе разработки материала были выделены основные аспекты проблемы, представлены технические характеристики и назначение подстанции 110/35/6 кВ. описан способ модернизации электрической трансформаторной подстанции с применением современной аппаратно-технической базы. Проработан процесс

модернизации релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов подстанции, возможность и реализация подключения солнечной электростанции.

Постановка задачи исследования

В качестве объекта исследования выбрана ПС 12 110/35/6 кВ. Руководство энергетической компании опубликовало план реконструкции и переоборудования данной устаревшей подстанции. В первую очередь – это вывод из эксплуатации масляных коммутационных устройств и замена их на современные элегазовые и вакуумные установки. Далее установка дополнительных ограничителей перенапряжений и разъединителей цепей трансформаторов напряжения в 1-й и 2-й секциях шины по высокой стороне 110 кВ. Также, руководством энергетической компании для уменьшения потерь электроэнергии предусмотрена замена различного оборудования, линий электропередач и усовершенствование устройств релейной защиты и автоматики, а точнее замена устаревших электромеханических и микроэлектронных приборов на современные высокотехнологичные микропроцессорные устройства. Так как эффективность и надежность последних значительно выше.

Учитывая тенденции развития мировой энергетики и ситуацию с запасами невозобновляемых источников – нефти, природного газа и угля, большую актуальность имеет вопрос использования возобновляемых источников энергии. В частности – энергия солнца. В Крыму в среднем более 220 солнечных дней в году, что позволяет достичь высокий коэффициент (порядка 13-15%) использования установленной мощности – КИУМ солнечных фотоэлектрических комплексов. Таким образом, целью данной работы является обоснование и исследование подключения малых, возможно частных, фотоэлектрических электростанций к общегородской сети.

Потребность населения в электроэнергии непрерывно возрастает. За последнее столетие потребление человечества выросло более чем в тысячу раз.

В современном мире 90% энергетики использует химическое топливо, полученное в результате синтеза горючих природных ресурсов таких как уголь, нефть, газ и продукты их переработки. Эти ископаемые природные ресурсы неизбежно будут истощены. И это лишь вопрос времени. Таким образом, необходимо уже сейчас

все больше совершенствовать и внедрять возобновляемые альтернативные источники энергии в существующую сеть. Данные меры повышают энергонезависимость и уверенность в будущем современного общества и уменьшают экологический ущерб от традиционных технологических процессов добывания электроэнергии.

В процессе реакций, происходящих на поверхности Солнца, образуется кинетическая энергия излучения. По подсчетам ученых – 4 млрд лет солнечная планета будет излучать свой свет, и этот источник энергии относят к возобновляемым.

Использование солнечной энергии нейтрально влияет на состояние биосферы и энергетический баланс Земли.

Солнечная планета является очень мощным источником энергии. Для сравнения, двадцать пять дней солнечного излучения, падающего на нашу планету, по суммарной мощности равно всем запасам органического топлива, находящегося в недрах Земли.

Цель реконструкции:

1. Обеспечение более надежного электроснабжения потребителей.
2. Достижение требуемого качества напряжения при изменяющейся нагрузке у потребителя – ГОСТ 13109-97.
3. Снижение ежегодных издержек на ремонт.
4. Возможность организации новых присоединений.

Результаты исследования

На каждом этапе распределения напряжения проектируемой подстанции (ПС) нагрузки потребителей устанавливаются в виде максимальных значений активной мощности $P_{\max}$, которые соответствуют 100% максимальной ступени для ежедневных графиков и годовых графиков нагрузки. Значения пропускной способности для других уровней нагрузки должны быть определены в соответствии с графиками в форме $P_{\text{ин}}(t)$.

С использованием заданных значений коэффициентов мощности потребителей графики активной мощности преобразуются в графики полной мощности отдельных потребителей по выражению:

$$S(t) = \frac{P(t)}{\cos\phi}$$

Максимальная полная мощность для отдельных потребителей:

-C1T:

$$Sc1t = \frac{Pc1t}{\cos\phi} = \frac{10,97}{0,9} = 12,189(\text{MBA});$$

-C2T:

$$Sc2t = \frac{Pc2t}{2\cos\phi} = \frac{10,15}{0,9} = 11,278(\text{MBA})$$

-по подстанции в целом:

$$Smax = \sum Sin = Sc1t + Sc2t = 12,189 + 11,278 = 23,47(\text{MBA})$$

Устройства РЗА или их ступени, которые по параметрам настройки и принципу действия могут ложно сработать вследствие несимметрии токов или напряжений, возникающей при операциях с переключающими устройствами в цепях устройств РЗА и коммутационными аппаратами первичной цепи, на время указанных операций должны быть выведены из работы в соответствии с требованиями инструкции по оперативному обслуживанию (эксплуатации) устройств РЗА.

Сложные переключения по выводу из работы (вводу в работу) устройств РЗА должны выполняться по программам (типовым программам) и бланкам (типовым бланкам) переключений по выводу из работы (вводу в работу) устройств РЗА.

Потребляемую электроэнергию отдельных потребителей определяем согласно формуле:

$$W = \sum_{i=1}^k Pin(t)tin;$$

-C1T :

$$WC1T = 10,97 \cdot 1,3 \cdot 10^3 + 8,72 \cdot 3,8 \cdot 10^3 + 6,79 \cdot 2,7 \cdot 10^3 + 4,25 \cdot 0,25 \cdot 10^3 + 0,31 \cdot 0,71 \cdot 10^3 = 67012,6(\text{МВт} \cdot \text{ч});$$

-C2T:

$$WC2T = 10,15 \cdot 0,65 \cdot 10^3 + 7,12 \cdot 0,54 \cdot 10^3 + 5,9 \cdot 2,79 \cdot 10^3 + 79 \cdot 2,42 \cdot 10^3 + 0,236 \cdot 10^3 = 32299,5(\text{МВт} \cdot \text{ч});$$

-в целом для подстанции:

$$\begin{aligned} W_{\text{ПС}} &= \sum_{i=1}^n W = Wc1t + Wc2t \\ &= 67012,6 + 32299,5 \\ &= 99312,1(\text{МВт} \cdot \text{ч}) \end{aligned}$$

Продолжительность максимальной годовой нагрузки ПС:

$$T_m = \frac{W_{\text{ПС}}}{P_{\text{махПС}}} = \frac{99312,1}{10,97 + 10,15} = 4702,3(\text{час})$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки ПС:

$$K_{\text{зап}} = \frac{T_m}{8760} = \frac{4702,3}{8760} = 0,537$$

Годовой график активной нагрузки изображен на рисунке, а годовой график полной нагрузки изображен на рисунке 5.

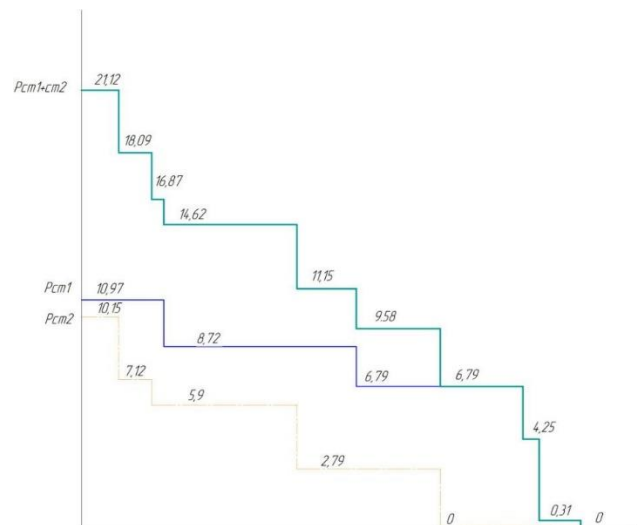


Рис. 1. Годовой график нагрузок подстанции ПС 12 (активная мощность)

В процессе проведения исследований была введена в эксплуатацию комплектная мини ветро-солнечная электростанция. Мощность электростанции 0,5 кВт. Данная установка освещает территорию в вечернее и ночное время и обеспечивает питание аварийной автоматики подстанции ПС-12. На территории подстанции в ближайшем будущем планируется установить солнечные фотоэлектрические панели. Таким образом, общая мощность всей вырабатывающей системы существенно возрастет, что позволит обеспечить питанием собственные нужды ПС-12.

Необходимо акцентировать внимание на все возрастающую значимость системы релейной защиты и автоматики. Действительно, если в начале века в плане ГОЭЛРО говорилось о 1,5 ГВт мощностей на весь Советский Союз, то сейчас речь идет уже о сотнях и тысячах гигаватт. Кроме того, все больше растет интеграция сетей друг в друга, новые магистральные линии связывают независимые энергосистемы, кроме того, в

будущем возможно и объединение энергосистем различных государств.

Выводы

Обосновывая все вышеописанное по результатам проведенных исследований, можно сделать некоторые основные выводы:

- При подключении дополнительных источников генерации на основе возобновляемых видов энергии для обеспечения собственных нужд энергетических объектов наиболее эффективно использовать солнечные панели, т. к. их установка не требует значительных изменений конструкций и мало затратна.
- Обеспечение энергией вспомогательного оборудования подстанции от солнечных панелей не требует потребления дополнительной энергии извне, а поэтому обеспечивается надежность бесперебойной работы длительное время.
- Использование надежного обеспечения работы аварийной защиты подстанции снижает риски отказов и увеличивает надежность работы всего оборудования.
- Также необходимо учитывать экологическую составляющую солнечной генерации, при которой не используется органическое топливо. При оснащении значительного количества объектов такими установками можно значительно сократить вредные выбросы атмосферу курортного региона, которым является Крым и Севастополь.

Список литературы

1. Толстикова Л.В. Параметры электрооборудования и режимы электроэнергетических систем в примерах и иллюстрациях: учебное пособие для практических занятий / Л.В. Толстикова. – Саяногорск: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2010. – 180 с.
2. Электротехнический справочник: Том III, книга первая, «Производство, передача и распределение электрической энергии» / Под ред. В. Г. Герасимова. — М.: Энергоиздат, 1982.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.; введ. 2014 - 07 - 01. – Москва: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
4. Сташин, В. В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В. В. Сташин, А. В. Урусов, О. Ф. Мологонцева [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

5. Дубинин, В. В. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях / В. В. Дубинин, А. Н. Попов. – Ползуновский вестник № 4-2, 2013.
6. Кувшинов В.В., Абдали Л.М., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Коровкин Н.В., Бордан Д.Ф. // Моделирование режимов работы фотоэлектрической системы / Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2021. Т. 24. № 3. С. 78-87.
7. Абдали Л.М., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А., Аль-Руфай Ф.М. // Моделирование параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии / Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 18 (70). С. 133-142.
8. Кувшинов В.В., Шахова Н.В., Власов Н.А., Березняк В.А., Бордан Д.Ф. // Разработка проекта комбинированного гелиопрофиля для автономного энергосберегающего дома / Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 60-64.

References

1. Tolstikhina L.V. Parameters of electrical equipment and modes of electric power systems in examples and illustrations: a textbook for practical exercises / L.V. Tolstikhina. – Sayanogorsk: Siberian Federal University; Sayano-Shushensky branch, 2010. - 180 p.
2. Electrotechnical reference book: Volume III, book one, "Production, transmission and distribution of electrical energy" / Ed. V. G. Gerasimova. — M.: Energoizdat, 1982.
3. GOST 32144-2013. Electric Energy. Compatibility of technical means electro-magnetic. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems.; input. 2014 - 07 - 01. - Moscow: Mezghos. council for standardization, metrology and certification; Moscow: Standartinform, 2014. - 16 p.
4. Stashin, V. V. Designing digital devices on single-chip microcontrollers / V. V. Stashin, A. V. Urusov, O. F. Mologontseva [et al.]. - M. : Energoatomizdat, 1990. - 304 p.
5. Dubinin, V. V. Control of power quality indicators in industrial electrical networks / V. V. Dubnin, A. N. Popov. – Polzunovskiy Bulletin No. 4-2, 2013.
6. Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., Korovkin N.V., Bordan D.F. // Simulation of operating modes of a photoelectric system / Bulletin of IzhGTU named after M.T. Kalashnikov. 2021. V. 24. No. 3. S. 78-87.
7. Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A., Al-Rufai F.M. // Modeling of control parameters for an integrated system of solar generation and energy storage / Construction and technogenic safety. 2020.

No. 18 (70). pp. 133-142.

8. Kuvshinov V.V., Shakhova N.V., Vlasov N.A., Be-reznyak V.A., Bordan D.F. // Development of a pro-ject for a combined helioprofile for an autonomous energy-saving house / Energy installations and tech-nologies. 2022. V. 8. No. 2. S. 60-64.

УДК621.311.1

Применение высокоэффективной технологии совместного использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии

А.М. Шестернева¹, В.А. Дружин²

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Курчатова, 7,
г. Севастополь, 299015, Россия, ¹aleksandra0784@mail.ru, ²vlad.druzhin2014@yandex.ru

Статья поступила 09.11.2022 г.; после доработки 10.11.2022 г.

Аннотация

В статье рассмотрена возможность использования низкопотенциального источника энергии для целей теплоснабжения реального района. Применена гибридная система энергоснабжения для рассматриваемой теплонасосной установки, включающая в себя действующую систему энергоснабжения и солнечную установку. Вопросы совместного использования вторичных энергетических ресурсов и современных возобновляемых источников энергии совместно с традиционной системой энергоснабжения являются актуальными.

Ключевые слова: низкопотенциальный источник энергии, солнечная установка, теплоснабжение, вторичные энергоресурсы, теплонасосная установка.

Application of highly efficient technology for the joint use of low-temperature and renewable energy sources

A.M. Shesterniova¹, V.A. Druzhin²

Federal state autonomous establishment of higher education «Sevastopol State University» Kurchatova Street, 7,
Sevastopol, 299015, Russia, ¹aleksandra0784@mail.ru, ²vlad.druzhin2014@yandex.ru

Received 09.11.2022 y.; received in final form 10.11.2022 y.

Abstract

The article considers the possibility of using a low-grade energy source for the purpose of heat supply of a real area. A hybrid power supply system for the considered heat pump installation was used, which includes an operating power supply system and a solar installation. The issues of joint use of secondary energy resources and modern renewable energy sources together with the traditional energy supply system are relevant.

Keywords: low-potential energy source, solar installation, heat supply, secondary energy resources, heat pump installation.

Введение

Современная электроэнергетика требует нового подхода к использованию энергоресурсов. С одной стороны есть необходимость наращивания мощностей, вызванная ростом населения, расширением производств, развитием районов, с другой стороны экологические проблемы и истощение природных ресурсов требуют пересмотра существующих систем электроснабжения и поиска новых решений. Помимо этих вопросов значительную проблему составляет тот факт, что

многие развивающиеся районы на территории России достаточно отдалены от центральной системы электроснабжения, что делает увеличение мощности в этих районах более затратным. Решая вопрос об эффективном и рациональном использовании электрической энергии, в данной статье мы рассмотрим применение гибридной системы электроснабжения. Значительные мощности энергосистемы в развивающихся районах расходуются на нужды теплоснабжения промышленных предприятий и многоквартирных

домов. Зачастую потребности в теплоснабжении нового развивающегося района требуют затрат дополнительных мощностей в системе электро-снабжения, которые превышают возможные на данный момент. При этом быстрый рост потребления энергоресурсов влечет за собой истощение природных богатств и загрязнение экологии районов. Потенциальные ресурсы возобновляемых источников энергии дают нам возможность увеличения производственных мощностей энергосистемы в отдаленных районах и совместного использования возобновляемой и традиционной системы электроснабжения.

Мировое потребление таких гибридных систем составляет лишь ничтожную долю от общего потребления электроэнергии. Это связано с вопросами сложности внедрения возобновляемых источников энергии в регионы, где присутствуют значительные перепады температур, ограниченность солнечных дней и другие климатические вопросы. Однако в России есть регионы, где применение таких систем реально. Крым является замечательным регионом, в котором возможно применение подобных систем актуальна.

Черное море, температура которого зимой не снижается ниже 8°C может быть использовано в качестве низкопотенциального источника тепла для теплонасосной установки. Также климатические условия данного региона дают возможность эффективного использования солнечных установок и ветроустановок. При этом необходимость увеличения электрических мощностей и увеличения мощностей теплоснабжения все больше возрастает во многих районах Крыма.

Постановка цели

Задачей исследования является определение возможности использования низкопотенциального источника тепла Черного моря и возобновляемых источников энергии не только как отдельных модулей, а их внедрения в общую систему энергообеспечения, на примере реального района.

Использование абсорбционной теплонасосной установки как источника теплоснабжения района Голландия.

Для отопления района Голландия как альтернативу действующей котельной, рассмотрим применение абсорбционной теплонасосной установки, низкопотенциальным источником тепла

которой будет Черное море.

Принцип действия абсорбционной ТНУ следующий:

Абсорбционные тепловые насосы работают на принципе поглощения водяного пара водными растворами щелочей (NaOH, KOH). Процесс абсорбции водяного пара происходит экзотермически, т.е. с выделением тепла. Это тепло расходуется на подогрев раствора до температуры, значительно превышающей температуру абсорбируемого пара. Нагретый раствор щелочи по выходе из абсорбера направляют в поверхностный испаритель, где генерируется вторичный пар более высокого давления, чем первичный пар, поступающий в абсорбер. Таким образом, в абсорбционных тепловых насосах процесс получения пара повышенного давления осуществляется за счёт использования тепла, подведённого извне. Абсорбционные тепловые насосы представляют собой агрегатированные машины, в которых подводимая низкопотенциальная теплота преобразуется в теплоту более высокого потенциала (до 90 °C). В качестве источника высокопотенциальной энергии, необходимой для осуществления термотрансформации, используется пар, сетевая вода, газообразное или жидкое топливо. В настоящее время находят широкое применение бромисто-литиевые абсорбционные тепловые насосы (АБТН).

Для максимального приближения к реальным проблемам, возьмем тепловую мощность существующей котельной, обеспечивающей теплоснабжение района Голландия.

$$Q_{\text{тн}} = 1442,12 \text{ кВт.}$$

Расчет теплонасосной установки для поселка Голландия.

Проведем расчёт ТНУ для данного посёлка:

- 1) Определяем абсолютную температуру испарителя:

$$T_1 = 273 + (t_1 + \Delta t) = \\ = 273 + (20 - 5) = 288 \text{ K,}$$

где:

Δt – температурный перепад в испарителе, для ТНУ принимаем 5°C.

- 2) Определяем абсолютную температуру конденсатора:

$$T_2 = 273 + 70 = 343 \text{ K,}$$

Температуру t_2 принимаем 70°C, т.к. не присутствуют дополнительные условия.

- 3) Определяем теоретический коэффициент

преобразования теплоты:

$$\varphi_m = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{343}{343 - 288} = 6,23.$$

Для компрессора мощностью более 3000 кВт принимаем $\eta = 0,6$.

- 4) Определяем действительный коэффициент преобразования теплоты:

$$\varphi_d = \varphi_m \cdot \eta = 6,23 \cdot 0,6 = 3,74.$$

- 5) Определяем мощность двигателя:

$$N_{\Sigma} = \frac{Q_{тн}}{\varphi_d} = \frac{1442,12}{3,74} = 385,6 \text{ кВт}.$$

Принимаем потребляемую мощность ТНУ соответственно её двигателю, то есть 385,6 кВт.

Из расчетов видно, что наша теплонасосная установка 385,6 кВт электроэнергии.

Для внедрения такой установки недостаточно существующей мощности подстанции, поэтому мы рассмотрим систему, в которой будет совместное использование традиционной системы энергоснабжения и солнечной установки.

В следующем этапе работы необходимо рассчитать количество солнечных панелей и их стоимость.

Электроснабжение теплонасосной установки

Составим схему электроснабжения теплонасосной установки, учитывая существующую традиционную систему электроснабжения и солнечную установку.

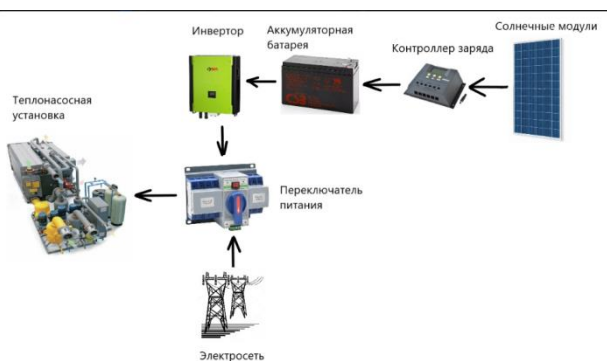


Рис.1- Схема электроснабжения теплонасосной установки

Расчет СЭС:

Есть несколько вариантов разработки солнечной станции.

Первый: мы рассчитываем собственные солнечные модули с большей площадью, стоимо-

мостью, но и большей электрической мощностью.

Второй вариант – мы выбираем из каталога стандартные электрические модули максимальной мощности. В данной статье мы придерживаемся второго варианта.

- 1) Из каталога электрических модулей мы выбрали модуль типа «FSM 540MTP» мощностью 540 Вт, номинальным напряжением 24В и размерами 2,3х1,1м Исходя из этого, рассчитаем необходимое количество модулей:

$$n = \frac{N_{\Sigma}}{N_{\text{модуля}}} = \frac{385,6}{0,54} = 715 \text{ шт};$$

их суммарную площадь расположения:

$$S_{\text{сумм}} = S_{\text{модуля}} \cdot n = 2,53 \cdot 715 = 1809 \text{ м}^2$$

и суммарную стоимость (стоимость модуля – 22120 руб) конкретных модулей без вспомогательного оборудования:

$$Z = n \cdot k = 715 \cdot 22120 = 15\,815\,800 \text{ руб.}$$

- 2) Выбор инверторов и аккумулирующих устройств для бесперебойного питания ТНУ.

Было принято решение взять стандартный тип инвертора, который используется на большинстве солнечных станций, типа «SC 400HE-11», номинальной мощностью постоянного тока – 448 кВт и номинальной мощностью переменного тока – 400 кВА и стоимостью 2 190 000 рублей, представленный на рисунке 2:



Рис. 2 Инвертор типа «SunnyCentral»

Расчет и выбор аккумуляторных батарей для ТНУ.

Основные данные, которые используются в расчете:

- Количество пасмурных дней – 3 дня;
- Напряжение на входе в инвертор – 24 В;
- Выбор аккумуляторной батареи:

- 1) Количество энергии, которое должно быть в

полностью заряженной аккумуляторной батарее:

$$W = 385,6 \cdot 3 : 0,5 = 2313,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

- 2) Среднее потребление составит:

$$P = \frac{385600}{24} = 16\,066,67 \text{ Вт}$$

- 3) Емкость батарей:

$$E = \left(\frac{P}{24}\right) \cdot 72 \cdot 1,2 =$$

$$= \left(\frac{16\,066,67}{24}\right) \cdot 72 \cdot 1,2 = 57\,840 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Учитывая, что в реальности батареи не работают в расчетных идеальных условиях, следует подбирать аккумуляторы с запасом по емкости не менее 10-20%. Т.е. емкость аккумуляторного блока в нашем примере должна быть 66 520 А · ч.

- 4) Выбираем АКБ типа «10OPZS1000» изображенный на рисунке 1, технические характеристики которого приведены в таблице 1:



Рис. 3 Аккумулятор типа «10OPZS1000».

Таблица 1. Технические характеристики аккумулятора «10OPZS1000».

Емкость	1000 А*ч
Напряжение	2 В
Срок службы	10 лет
Цена	29 031 рублей

- 5) Количество АКБ составляет:

$$n = \frac{66520}{1000} = 67 \text{ шт.}$$

- 6) Количество последовательно соединенных АКБ для достижения напряжения 24В составляет двенадцати.

- 7) Общая стоимость аккумуляторных батарей

составляет:

$$Z_{АКБ} = n \cdot C = 67 \cdot 29031 = 1945077 \text{ руб.}$$

- 3) Суммарная стоимость солнечной электростанции для питания ТНУ составляет:

$$Z_{общ} = Z_{АКБ} + Z_{инвертор} + Z_{модули} =$$

$$= 1\,945\,077 + 2\,190\,000 + 15\,815\,800$$

$$= 19\,950\,877 \text{ рублей}$$

Новая солнечная станция требует большой площади для её установки, но рядом с посёлком Голландия уже построена солнечная станция, установленной мощностью (3МВт). Запас мощности данной солнечной установки позволяет применить ее для электроснабжения рассматриваемой ТНУ. Определим максимальную тепловую мощность, если передавать всю электрическую энергию с этой СЭС.

Имея мощность солнечной станции, мы можем определить максимальную тепловую мощность, вырабатываемая ТНУ, если мы заберём всю мощность с электрической станции:

$$Q_{тн} = N_{сэс} \cdot \varphi_{\delta} = 3000 \cdot 3,74 = 11220 \text{ кВт}$$

Так как, стоял выбор между строительством собственной солнечной установки и использованием уже существующей, проведя расчеты, представленные выше, мы можем использовать существующую станцию, тем самым уменьшив капиталовложения для всей системы теплоснабжения района. Данным решением мы не только экономим затраты на строительство солнечной установки, но и экономим занимаемые под установку земельные ресурсы.

Таким образом мы решаем вопрос теплоснабжения района с помощью экологически чистой теплонасосной установки. Используем в качестве низкопотенциального источника тепла природный ресурс - Черное море. Для электроснабжения предложенной системы используется небольшой резерв мощности, заведенный в данный район. Недостающую для работы ТНУ мощность восполняем за счет резерва мощности существующей в этом районе солнечной установки. И для рационального использования энергии применяем современные аккумуляторные батареи.

Заключение

Во многих странах, где резервы собственного органического топлива сильно исчерпаны или не имелись изначально, использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии становятся всё более актуальными, ак-

тивно ведутся работы по их применению в энергетике.

Для развивающихся стран, переживающих сегодня экономический кризис, характерен дефицит больших капиталовложений, исключающий возможность сооружения крупных традиционных электростанций. В то же время установки с НВИЭ, как правило, имеют модульный характер и позволяют вводить в строй сравнительно малые мощности, наращивая их по мере необходимости. Поэтому предложенная установка теплоснабжения может найти применение в том числе и за пределами России.

Однако и в нашей стране достаточное количество территориально отдаленных районов, в которых вопросы теплоснабжения встают достаточно остро и требуют новаторских решений из-за сложностей подвода мощностей либо устаревшего оборудования котельных. Для них электро- и теплоснабжение на базе НВИЭ явилось бы решением существующих проблем.

В данной статье для примера отдаленного района, нуждающегося в введении современной экологически чистой системы теплоснабжения, рассмотрен поселок Голландия. Рассмотрено использование ресурса Черного моря для применения отопительной системы с использованием ТНУ. Произведен расчет ТНУ, составлена гибридная схема электроснабжения предложенной системы отопления района.

Список литературы

1. Агабабов В. С., Сухих А. А., Кузнецов К. И., Рогова А. А., Коршикова А. А. Экспериментальные исследования режимов работы теплонасосной установки при совместной выработке теплоты и холода // Новое в российской электроэнергетике. 2012. №9. С. 26-38.
2. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С.21-25.
3. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Термодинамическая эффективность теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2013. № 1. С. 21-26.
4. Антаненкова И. С., Сухих А. А., Сычев В. В. Экспериментальное исследование энергетической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах // Холодильная техника. 2014. №10. С.44-48. №11. С.34-39.
5. REFPROP 9.0: Reference Fluid Thermodynamic and Transport properties: Copyright 2007 by the

- U.S. Secretary of Commerce on behalf of the USA.
6. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Анализ энергетической эффективности включения теплонасосной установки и солнечных коллекторов в состав абсорбционных холодильных машин в системах централизованного кондиционирования // Вестник МАХ. 2017. №2. С.43-50.
7. Сухих А. А., Мереуца Е. В., Ветренко А.А. Анализ энергетической эффективности комплекса централизованного кондиционирования на основе абсорбционной холодильной машины, теплонасосной установки и солнечных коллекторов // Новое в Российской электроэнергетике. 2017. №6. С.6-15.
8. Селиверстов Ю. М., Ефремов В. В. Экономика систем кондиционирования воздуха с аккумулятором холода // «АВОК» №1. 2013. С.30-35.
9. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Патент на изобретение: «Абсорбционная холодильная машина со встроенной теплонасосной установкой». №2625073 от 11.07.2017г.

References

1. Agababov V. S., Sukhoi A. A., Kuznetsov K. I., Rogova A. A., Korshikova A. A. Experimental studies of the modes of operation of a heat pump unit during the joint production of heat and cold // New in the Russian electric power grid. 2012. No.9. С. 26-38.
2. Antanenkova I. S., Sukhoi A. A. Methodology for comparing thermodynamic efficiency of refrigeration and heat pump systems // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2012. № 4. С.21-25.
3. Antanenkova I. S., Sukhoi A. A. Thermodynamic efficiency of heat pump installations // Bulletin of the International Academy of Health. 2013. No. 1. С. 21-26.
4. Antanenkova I. S., Sukhoi A. A., Sychev V. V. Experimental study of the energy efficiency of heat pump installations on new working substances // Refrigerating equipment. 2014. №10. С.44-48. №11. С.34-39.
5. REFPROP 9.0: Reference Fluid Thermodynamic and Transport properties: Copyright 2007 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the USA.
6. Mereutsa E. V., Sukhoi A. A. Analysis of the energy efficiency of the inclusion of a heat pump unit and solar collectors in the composition of absorption refrigerating machines in centralized air conditioning systems // Bulletin of MAX. 2017. No.2. С.43-50.
7. Sukhoi A. A., Mereutsa E. V., Vetrenko A.A. An analysis of the energy efficiency of a centralized air conditioning complex based on an absorption refrigerating machine, a heat pump unit and solar collectors // New in the Russian electric power industry. 2017. №6. С.6-15.
8. Seliverstov Yu. M., Efremov V. V. Economics of air conditioning systems with a cold accumulator //

"AVOK" No.1. 2013. pp.30-35.

9. Mereutsa E. V., Sukhoi A. A. Patent for invention:
"Absorption refrigerating machine with integrated
heat pump unit". No. 2625073 from 11.07.2017

УДК 620.92

Геотермальные источники - путь к энергосбережению и снижению загрязнения окружающей среды

Б.А. Якимович¹, Е.Г. Какушина², О.М. Крастелёв³.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹bayakimovich@mail.sevsu.ru, ²littie@mail.ru, ³omkrastelov@mail.sevsu.ru

Статья поступила 22.11.2022 г.; после доработки 23.11.2022 г.

Аннотация

Целью данной работы является анализ использования геотермальных источников в России, как экологический аспект в энергетике и энергосбережения - очень значимы в современном мире. Важным источником энергии на данный момент является тепловая энергия, которую получают в процессе сгорания органического топлива — угля, нефти, газа, торфа, торфяных сланцев.

Ключевые слова: геотермальные источники, энергосбережение, экологические аспекты

Geothermal sources - the way to energy conservation and reduction of environmental pollution

B.A. Yakimovich¹, E.G. Kakushina², O.M. Krastelev³.

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹bayakimovich@mail.sevsu.ru, ²littie@mail.ru, ³omkrastelov@mail.sevsu.ru

Received 22.11.2022 y.; received in final form 23.11.2022 y.

Abstract

The purpose of this work is to analyze the use of geothermal sources in Russia, as an environmental aspect in energy and energy conservation are very important in the modern world. An important source of energy at the moment is thermal energy, which is obtained during the combustion of organic fuels — coal, oil, gas, peat, slushy shale.

Keywords: geothermal sources, energy conservation, environmental aspects.

Введение

Энергосбережение (экономия электроэнергии) - продажа правовых, организационных, научных, производственных, промышленных и экономических мер, сориентированных на эффективное (рациональное) применение (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный кругооборот восстанавливаемых источников энергии. Энергосбережение – важнейшая проблема по сохранению природных ресурсов [2].

Экологические аспекты энергетики и энергосбережения очень значимы в современном

мире. Применение ресурсов оказывает отрицательное воздействие на экологию, приводя к загрязнению окружающей среды и истощению ресурсов, только поэтому данный вопрос очень актуален для современного общества. Исследование экологических проблем энергетики помогает определить приоритет разработки способов использования природоподобных источников энергии. Они, в свою очередь, уменьшают загрязнение окружающей среды, а также, с помощью использования в качестве нестандартных источников неисчерпаемых ресурсов, в целом уменьшить негативное воздействие энергетики

на экологию [1].

В наше время начинается новый значительный этап экологической энергетики. Появилась энергетика, построенная так, чтобы человек думал и заботился об охране биосферы, которая уже сильно повреждена.

На пути широкого внедрения экологических источников энергии стоят трудно разрешимые экономические и социальные проблемы.

Во-первых, прежде всего это высокая капиталоемкость, которая вызвана разработкой и созданием новой техники и технологий.

Во-вторых, высокая материалоемкость: при строительстве мощных приливных электростанций (ПЭС) требует, к примеру, многочисленного количества металла, бетона и т.д.

В-третьих, под некоторые энергетические объекты требуется внушительное изъятие земли или морской акватории.

Помимо этого, развитие использования экологических источников энергии сдерживается нехваткой специалистов. Такие проблемы следует решать комплексным подходом на национальном и международном уровне [3].

Анализ регионов РФ, с наиболее широким использованием геотермальной энергетики

Одним из перспективных направлений экологической энергетики является геотермальная энергетика.

В России геотермальная энергетика может обеспечивать население определенными ресурсами для коммунальных, промышленных и аграрных нужд.

Геотермальные источники в России: Центральный регион, Северный Кавказ, Дагестан, Сибирь, зона Байкальского рифта, Красноярский край, Чукотка, Сахалин, полуостров Камчатка и Курильские острова имеют богатейшие ресурсы геотермальной энергии для производства до 2000 МВт электроэнергии и больше 3000 МВт тепла для системы централизованного теплоснабжения.

В России использование геотермальных ресурсов особенно важно для снабжения северных территорий страны. С холодным климатом больше 45% от общего объема энергетических ресурсов используются для теплоснабжения городов, населенных пунктов и производственных комплексов. Например, в Краснодарском крае (теплоснабжение города Лабинск, а также комплекс в поселке Розовый), Калининградской об-

ласти и на Камчатке (теплоснабжение Елизовской и Паужетской электростанции мощностью 12 МВт и расширение существующей Мутновской ГеоЭС до 50 МВт, используется вторичный пар для производства электроэнергии [4].

Сейчас экономическая ситуация в России полностью зависит от развития своего энергетического потенциала. В северных и восточных регионах страны из-за логистических трудностей в экономике создаются проблемы с энергоснабжением. Регионы сами должны стремиться к использованию личных энергетических ресурсов и развития возобновляемых источников энергии.

Рассмотрим несколько основных регионов, которые перспективны для “прямого” использования (теплоснабжения жилых домов и промышленных зданий, обогрева теплиц и почвы, в животноводстве, рыболовстве, в промышленном производстве, для добычи химических элементов, повышения нефтеотдачи пластов, для плавления мерзлых пород и т. д.), а также для тепла с использованием тепловых насосов и получения электроэнергии [5].

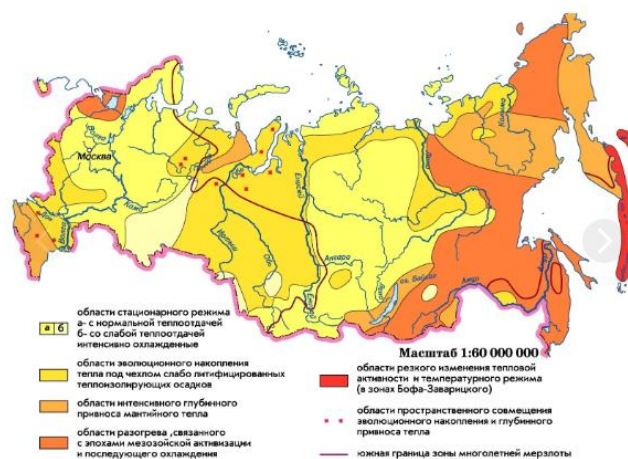


Рис. 1. Геотермическое районирование

Регионы: Камчатка и Курильские острова находятся в районе активных вулканов и являются преимущественными районами для “прямого” использования геотермальной энергетики и строительства ГеоЭС. На протяжении нескольких лет были изучены 66 скважин термальной воды и пара в России. Половина из них находится в эксплуатации, снабжая около 1,5 миллиона Гккал тепла в год, что равняется 300 тысячам тонн условного топлива.

Дагестан на Северном Кавказе является одним из крупнейших в области развития геотермальной энергетики. Совокупность ресурсов на глубине 0,5-5,5 км позволяет получить примерно

4 млн. м³/сутки горячей воды. В настоящее время больше 7,5 млн. м³/год воды температурой 50-110°C употребляется в Дагестане. В их числе 17% в качестве горячей; 43% для централизованного теплоснабжения; 20% для теплиц и 3% для производства минеральной воды. Около 180 скважин в Дагестане пробурено на глубине от 200 до 5500 м. Городах Кизляр, Тарумовка и Южно-Сухокумск, располагают неповторимыми запасами горячей воды. В Дагестане совокупность термальных запасов воды составляет 278 тысяч м³/сутки, а с использованием пласта воды – 400 тысяч м³/сутки. Тепловой потенциал здесь эквивалентен ежегодной замене 600 тысяч тонн топлива [6].

Также значительными запасами геотермальной энергетики обладает Краснодарский край. Этот район имеет положительный опыт использования геотермальных родников. Эксплуатируется около 50 скважин с температурой от 75°C до 110°C. Площадь использования энергии в Краснодарском крае гарантирует обеспечить к 2025 году до 10% спроса всего тепла и до 3% всех энергетических потребностей региона. В общей сложности тепловая мощность месторождений, находящихся в эксплуатации составляет 238 МВт.

Экономическая целесообразность использования геотермальных ресурсов для выработки тепла и производства электроэнергии становится приемлема с температурой ресурсов от 30°C до 80°C (иногда даже до 100°C) на глубинах 1-2 км. Находятся они в центральной части среднерусского бассейна, состоящего из 8 районов: Вологодский, Ивановский, Костромской, Московский, Нижегородский, Новгородский, Тверской и Ярославский. Существуют термальные воды в Ленинградской в Калининградской областях. Сибирь также имеет запасы тепла из недр, которые могут использоваться для теплоснабжения и сельского хозяйства. В Западной Сибири есть большой артезианский бассейн на площади почти 3 млн. км². На глубинах до 3 км имеются тепловые ресурсы воды с температурой от 35°C до 75°C.

На Байкале существует множество термальных источников, их энергия достигает многих тысяч кубических метров в сутки, а их температура от 30°C до 80°C и выше. Обычно минерализация таких вод не превышает 0,6 г/л. Химический состав термальных вод имеет щелочную реакцию, сульфат или гидрокарбонат натрия. Такие ресурсы находятся в Тункинской и Баргу-

зинской полости и вдоль побережья озера Байкал.

Камчатка и Курильские острова являются самыми богатыми на запасы геотермальной энергии на Дальнем Востоке России. Их мощность составляет до 2000 МВт, а тепловая мощность не менее 3000 МВт использующих пароводяную смесь и горячую воду. Сегодня пробурены около 400 скважин на глубину от 170 до 1800 м. В районе Паужетской ГеоЭС на юге Камчатки был обнаружен достаточный ресурс для ГеоЭС, мощностью около 350 МВт. К северу от Мутновская ГеоЭС существуют ресурсы величины порядка 180-200 МВт [6].

Непосредственное применение геотермальных ресурсов в основном развито первую очередь для теплоснабжения и отопления теплиц в Курило-Камчатской области, Дагестане и Краснодарском крае. Развитие геотермальных ресурсов является довольно многообещающим в регионах Западной Сибири, на Байкале, Чукотке, Приморье, Сахалине.

Выводы

Значимая роль энергии безусловно необходима в поддержании и дальнейшем развитии цивилизации. В современном мире довольно трудно найти хотя бы одну сторону человеческой деятельности, которая не требовала бы огромной энергии, чем могут дать физические возможности человека.

Потребление энергии – это очень важный показатель жизненного уровня. Смена традиционных источников энергии на новые более совершенные происходила много раз за все время существования нашей цивилизации.

В основном на всей территории России имеются уникальные запасы геотермального тепла с температурами теплоносителя (вода, двухфазный поток и пар) от 30 до 200 С.

На основе крупных фундаментальных исследований в последние годы в России были созданы геотермальные технологии, способные быстро обеспечить эффективное применение тепла земли на ГеоЭС и ГеоТС для получения электроэнергии и тепла. Геотермальная энергетика должна занять особое место в общем балансе использования энергии. Например, для реструктуризации и перевооружения энергетики Камчатской области и Курильских островов и частично Приморья, Сибири и Северного Кавказа следует использовать собственные геотермальные ресурсы.

Объемное внедрение новых схем теплоснабжения с тепловыми насосами с применением низкоэффективных источников тепла позволит уменьшить расход органического топлива на 20-25%. Для привлечения инвестиций и кредитов в энергетику нужно выполнять действенные эффективные проекты и гарантировать своевременный возврат заемных средств, что вероятно возможно только при полной и своевременной оплате электричества и тепла, отпущенных потребителям.

В связи с выше изложенными в статье материалами, представляется необходимым создание и реализация государственной программы развития геотермальной энергетики.

Список литературы

1. Маврищев В.В. Основы общей экологии: Учебник / В.В.Маврищев. –М. 2020 - 447 с.
2. Поспелова Т. Г. Основы энергосбережения / Т.Г.Поспелова// - Мн.: УП «Технопринт», 2000 - 352 с.
3. Галузо И.В. Учимся экономии и бережливости / В.А. Байдаков, И.Н. Потапов//. Энергоэффективность: энергопользование и экономия. - Минск, «Аверсэв», 2008, С. 43–58.
4. Доброхотов В.И. Использование геотермальных ресурсов в энергетике России / В.И. Доброхотов// Теплоэнергетика, 2003, №1, С. 2-11.
5. Гурова Т. Ф. Экология и рациональное природопользование / Л. В. Назаренко // -М. Научная школа. 2022 - 188 с.
6. Авакян М.К. Методы решения глобальной условной оптимизации применительно к энергетическим системам / Перышкин М.Д., Какушина Е.Г., Решетникова Т.В., Соломоненко А.В.// Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 4. С. 38-41.
7. Гурьев В.В. Оценка потенциала развития возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя /Какушина Е.Г., Небесный В.В., Найдук М.Р., Асанов А.Б.// Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 3. С. 23-29.

References

1. Mavrishchev V.V. Fundamentals of general ecology: Textbook / V.V.Mavrishchev. – M. 2020 - 447 p.
2. Pospelova T. G. Fundamentals of energy saving / T.G.Pospelova// - Mn.: UP "Technoprint", 2000 - 352 p.
3. Galuzo I.V. Learning economy and economy / V.A. Baidakov, I.N. Potapov//. Energy efficiency: energy use and economy. - Minsk, "Aversev", 2008, pp. 43-58.
4. Dobrokhoto V.I. The use of geothermal resources

in the energy sector of Russia / V.I. DobrokhotoV// Teploenergetika, 2003, No. 1, pp. 2-11.

5. Gurova T. F. Ecology and rational nature management / L. V. Nazarenko // -M. Scientific school. 2022 - 188 p.
6. Avakian M.K. Methods of solving global conditional optimization in relation to energy systems / Peryshkin M.D., Kakushina E.G., Reshetnikova T.V., Solomonenko A.V.// Energy installations and technologies. 2020. Vol. 6. No. 4. pp. 38-41.
7. Guryev V.V. Assessment of the development potential of renewable energy sources in the power system of the Republic of Crimea and Sevastopol / Kakushina E.G., Heavenly V.V., Naiduk M.R., Asanov A.B.// Power plants and technologies. 2020. Vol. 6. No. 3. pp. 23-29.

УДК 620.92

Развитие энергетики России на основе интеллектуальных энергетических систем

Б.А. Якимович¹, Е.Г. Какушина², Е.Г. Малюк³.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹bayakimovich@mail.sevsu.ru, ²littie@mail.ru, ³egmalyuk@mail.sevsu.ru

Статья поступила 28.11.2022 г.; после доработки 29.11.2022 г.

Аннотация

Целью данной работы является анализ формирования такого наукоемкого кластера как «Интеллектуальная энергетическая система». В статье рассмотрены: понятие интеллектуальной сети, эффекты от создания интеллектуальной сети, факторы для формирования технологической платформы интеллектуальной сети в России.

Ключевые слова: интеллектуальная энергетическая система, технологическая платформа, экономические, социальные эффекты.

Development of Russian energy based on intelligent energy systems

B.A. Yakimovich¹, E.G. Kakushina², E.G. Malyuk³.

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹bayakimovich@mail.sevsu.ru, ²littie@mail.ru, ³egmalyuk@mail.sevsu.ru

Received 28.11.2022 y.; received in final form 29.11.2022 y.

Abstract

The purpose of this work is to analyze the formation of such a knowledge-intensive cluster as an "Intelligent energy system". The article considers: the concept of an intelligent network, the effects of the creation of an intelligent network, factors for the formation of a technological platform of an intelligent network in Russia.

Keywords: geothermal sources, energy conservation, environmental aspects.

Введение

Одним из приоритетных направлений развития энергетики является создание интеллектуальных энергосистем на базе современных цифровых технологий [6].

Интеллектуальная энергосистема – это совокупность автоматизированных технических элементов, которые в режиме реального времени самостоятельно отслеживают и распределяют потоки электричества с целью обеспечения максимальной эффективности использования энергии потребителем.

Такая система основана на современных

цифровых технологиях (компьютерное оборудование, программное обеспечение, сотовая связь, электронная почта, сети беспроводной и кабельной связи, спутниковые технологии). В интеллектуальной системе всё оборудование обменивается друг с другом данными (информацией), образуя единую интеллектуальную систему энергоснабжения. Итогом анализа этих данных, становится оптимизация использования электроэнергии, снижение затрат и потерь, повышение надежности (уменьшение риска возникновения аварийных случаев) и эффективности энергосистемы в целом.

Интеллектуальная сеть основывается на

цифровых технологиях и мультиагентном принципе организации и управления ее функционированием. Она обладает следующими подсистемами и свойствами:

- подсистемой скоординированного управления,
- подсистемой распределенной автоматизации и контроля,
- распределенным интеллектом устройств, интегрированным в систему управления с операционными устройствами и с возможностью коммуникации замеренных данных в целях управления и принятия решений.

Например, интеллектуальный учёт, применяемый в интеллектуальной энергетической сети, позволяет осуществлять передачу данных о количестве потреблённой электроэнергии в режиме реального времени. Счётчики такой системы отслеживают данные по каждому бытовому устройству и есть возможность установить определённые правила работы в часы максимальных нагрузок. Интеллектуальные счетчики электроэнергии или «смарт метры» – оценивают расход энергии и передают данные оператору и потребителю по сотовой связи,

Есть функция программирования счетчика на коммуникацию с бытовой техникой и управления ей с учетом различных условий тарификации.

Интеллектуальные счетчики позволяют определить потери энергии в сетях, упрощая поиск и устранение неисправностей в линии. Из этого примера следует, что для обеспечения работы интеллектуальной сети, необходимо программное обеспечение на основе методов искусственного интеллекта.

Термин Smart Grid («умная сеть») впервые упоминается в 2003 году в работе Майкла Берра «Требования к надёжности будут управлять инвестициями в автоматизацию».

В его докладе есть ссылка на исследования Electric Power Research Institute, сотрудники которого прогнозировали, что электронное управление в реальном времени заменило бы существующее электромеханическое распределительное устройство системы, позволив более оперативно контролировать работу цифровой сети [6].

В докладе М. Берра перечислены ожидаемые преимущества в результате внедрения Smart Grid, такие как:

- а) обмен информацией в режиме реального времени – в результате объединения энергосистемы с системами коммуникаций, что создало бы динамическую, интерактивную

энергосистему;

- б) расширенные измерения: замена старой системы учета на систему учета в режиме реального времени;
- с) распределенные ресурсы: внедрение распределенной генерации позволит повысить надежность и производительность системы.
- д) рост эффективности использования энергии конечными устройствами потребителей;
- е) гибкое управление устройствами.

В связи с постоянно нарастающей потребностью в качественном и количественном обеспечении электроэнергией возникает необходимость принятия мгновенных эффективных решений, которые смогли бы значительно повысить эффективность энергетических систем [6].

Разработка и внедрение интеллектуальных технологий

В России, а также в ряде стран исследуются, разрабатываются и внедряются интеллектуальные технологии, применяемые в энергетических системах. Производство отдельных компонентов, необходимых для создания надежных и эффективных интеллектуальных энергетических систем является важным направлением развития.

Интеллектуальная энергетическая платформа России» была образована в 2010 г. при поддержке ОАО «ФСК ЕЭС» и ФГУ «Российское энергетическое агентство», координатор платформы - Министерство энергетики РФ.

Ключевыми направлениями в концепции интеллектуальной энергетической платформы являются:

- Создание и использование улучшающей, новой и революционной техники, обеспечивающей экономичность и управляемость электрической сети, разработка и использование технологий мониторинга и диагностики сетей в режиме реального времени.
- Развитие современных и создание новых систем управления электроэнергетикой.
- Проработка новых принципов информационного обмена между энергообъектами, обеспечение их кибербезопасности.
- Вовлечение потребителя в управление энергопотреблением [3].
- Разработка и реализация механизмов, обеспечивающих выполнение на постоянной основе функций в интересах участников платформы.
- Координация деятельности с НТИ «Энерджинет», программами инновационного

- развития и НИОКР участников платформы.
- Разработка/актуализация стратегических документов для платформы, включая цельное стратегическое видение развития интеллектуальных технологий в энергетике России, программу стратегических исследований с учетом положений разработанной Концепции национального проекта «Интеллектуальная энергетическая система России».
- Взаимодействие с Министерством науки и высшего образования РФ в части формирования работ тематического раздела по интеллектуальным сетям.
- Организация работ по структурированию проектов и привлечению финансирования (софинансирования)
- Организация взаимодействия участников платформы с министерствами и ведомствами по вопросам поддержки проектов.
- Развитие международного сотрудничества. Содействие формированию стратегических альянсов российских и зарубежных участников платформы [4].

Возможности платформы:

- 1) Мониторинг и анализ развития интеллектуальной и цифровой энергетики в России и мире.
- 2) Оценка готовности энергетических компаний к внедрению технологий интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 3) Экспертиза проектов и программ в части развития интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 4) Разработка стандартов по вопросам развития технологий интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 5) Разработка проектов, экспертиза нормативных правовых актов, нацеленных на поддержку развития технологий интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 6) Разработка профессиональных стандартов в области интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 7) Прогнозирование потребности в компетенциях и квалификациях в сфере интеллектуальной и цифровой энергетики.
- 8) Разработка образовательных программ, программ повышения квалификации и переподготовки в сфере интеллектуальной и цифровой энергетики [5].

Значимые проекты, реализуемые платформой:

- Разработка и внедрение цифровых электри-

ческих подстанций и станций на вновь строящихся и реконструируемых объектах энергетики.

- Создание межсистемной связи на напряжении 220 кВ между ОЭС Сибири и ОЭС Востока на основе Забайкальского преобразовательного комплекса на ПС «Могоча» (Забайкальский край).
- Создание высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) кабельной линии постоянного тока на напряжение 20 кВ с током 2500 А длиной до 2500 м.
- Создание инфраструктуры электротранспорта в Москве, Санкт-Петербурге, Ярославле, Сочи, на о. Валаам, в Сколково.
- Создание комплексной системы автоматизации распределительных электрических сетей (SMART GRID) 15 кВ АО «Янтарь-энерго».
- Создание активно-адаптивной распределительной сети 10–110 кВ на территории Санкт-Петербурга.
- Создание цифровой подстанции ПС 110/10 кВ имени Сморгунова (ПАО «МРСК Сибири»).
- Комплексные проекты замкнутого цикла:
- Проект «Интеллектуальная энергетическая система России».
- Национальный проект «Цифровая подстанция».
- Проект «Разработка и внедрение сверхпроводниковых технологий в энергетику Российской Федерации».
- Создание инфраструктуры зарядки для электромобилей.

Эффекты от реализации

Создание технологических платформ интеллектуальных энергетических систем в России рассматривается как целостный стратегический план модернизации всей российской электроэнергетики на современной технологической базе, принципах управления и формировании соответствующих коммерческих отношений.

Учёт наиболее значимых экономических, социальных и экологических аспектов такой модернизации, обеспечивается системным подходом к технико-экономическому обоснованию создания интеллектуальных энергетических систем в масштабе единой национальной энергосистемы [1].

Все эффекты от реализации технологической платформы оцениваются через детальную

проработку изменений функциональности (технических свойств) структурных подсистем электроэнергетики (генерации, передачи, распределения и потребления энергии). На основе результатов анализа зарубежного опыта, очевидно, что переход к интеллектуальной энергетической системе приведет к изменению существующих или появлению новых технических свойств в отдельных подсистемах энергетики. Например:

- улучшение наблюдаемости состояния оборудования и устройств генерации, сетевого комплекса, потребителей;
- автоматизация и возможность удаленного управления техническими устройствами;
- двустороннее взаимодействие потребителей с энергосистемой, которые имеют распределенную генерацию и/или технологии хранения электроэнергии (микросети) [1].

Эффекты от реализации могут иметь как локальный характер, что характеризуется изменением только технических свойств одной подсистемы путем внедрения элементов интеллектуальной энергетической системы изменяя производственные параметры данной подсистемы, так и общесистемный характер, оказывающий значительное влияние на балансовую ситуацию в стране.

Основные эффекты, связанные с переходом к новому качеству управления энергосистемами:

- за счет управления спросом обеспечивается изменение режимов энергопотребления, снижение максимума и уплотнение графика нагрузки в энергосистеме, а в ряде случаев сопровождаются и общим снижением уровня электропотребления;
- за счет управления потерями при передаче и распределении электроэнергии формируется сокращение ненагрузочных потерь при внедрении новых типов проводов и силового оборудования и уменьшения нагрузочных потерь при переходе к интеллектуальному управлению режимами сети, а также вследствие изменения режимов электропотребления при реализации эффектов управления спросом;
- за счет управления пропускными способностями линий в магистральных и распределительных сетях обеспечивается увеличение допустимых перетоков мощности за счет внедрения технологий гибких передач и новых систем автоматизированного мониторинга статической устойчивости сетей;
- управление генерацией позволяет добиться рационального использования крупной и

малой распределенной генерации (интеграция в энергосистему больших объемов распределенной генерации и повышение управляемости потоками электроэнергии, производимой на электростанциях с нерегулярными режимами выработки энергии (ветровых, солнечных и др.);

- управление надежностью и качеством энергоснабжения обеспечивает снижение вероятности и продолжительности аварийных ситуаций, снижение недоотпуска электроэнергии потребителям или поставки электроэнергии ненадлежащего качества, снижение прямых экономических потерь потребителей из-за упущенной финансовой выгоды, порчи сырья, оборудования, расходных материалов и пр. [1].

Согласно исходным балансовым условиям базового варианта Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики, реализация к 2030 г. основных мероприятий по созданию интеллектуальной энергетики в России позволит снизить потребность в установленной мощности более чем на 10 % (на 34 ГВт) и электропотребление почти на 9 % (140 млрд кВт/ч). При этом относительный уровень потерь в сетях последовательно снизится на 30 % (с 12 до 10 % в 2020 г. и до 8 % в 2030 г.) [2].

Наиболее значимым социальным эффектом является повышение надежности энергоснабжения. Так как применение источников распределенной генерации, приближенных к потребителю, различных форм аккумулирования электроэнергии, и развитие микросетей повышают уровень энергетической автономности, что позволяет реализовать оперативный переход к локальному энергоснабжению в случае системной аварии, дает доступ потребителей к электроснабжению в регионах без централизованного энергоснабжения. Кроме этого, интенсивное вовлечение локальных (прежде всего, возобновляемых) энергоресурсов при создании интеллектуальной энергетической системы позволяет снизить зависимость от внешних поставок органического топлива или электроэнергии на уровне отдельных регионов.

Вывод

Анализ реализуемых проектов и комплексных программ развития интеллектуальной энергетики разных стран ожидаемые технологические, экономические и социальные эффекты реализации технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России»

показали высокую инвестиционную привлекательность данной комплексной модернизации. Стоимостная оценка прямых экономических эффектов от интеллектуальной энергетики до 2030 г. составляет более 3 трлн руб., что полностью компенсирует требуемые инвестиции даже при пессимистическом сценарии развития [1].

Интеллектуальные сети из-за непрерывного мониторинга использования энергии, позволяют потребителю более точно прогнозировать и контролировать своё энергопотребление, что положительно влияет на энергосбережение.

Развитие технологических платформ интеллектуальных энергетических систем расширяет возможности привлечения инвестиций, наращивания потенциала регионов России (в сферах наукоемкости, импортозамещения, товаров двойного назначения, развития возобновляемых источников энергии) и оптимизации производственных мощностей.

Список литературы

1. Задорожний А.В. Основные эффекты реализации технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России» / А.В. Задорожний, Р.В. Окорокров // Вестник ИГЭУ, 2013. – Вып. 2 – С.1 – 7.
2. Бердников Р.Н. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / В.В. Бушуев, С.Н. Васильев и др.; под ред. акад. РАН В.Е. Фортова и А.А. Макарова. – М.: ФСК ЕЭС, 2012. – 236 с.
3. Веселов Ф.В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики / В.В. Дорофеев // Цифровая энергетика, 2018. – Вып. 5 – 11 с.
4. Волкова И.О. Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике / В.Р. Окорокров, Р.В. Окорокров, Б.Б. Кобец. – М.: Изд-во ИН-ПРАН, 2011. – 65 с.
5. Федоров М.П. Энергетические технологии и мировое экономическое развитие: прошлое, настоящее, будущее. / Окорокров В.Р., Окорокров Р.В. // – СПб.: Наука, 2010. – 412 с.
6. Интеллектуальная энергетическая система России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.smartgrid.ru/>.
7. Авакян М.К. Методы решения глобальной условной оптимизации применительно к энергетическим системам / Перышкин М.Д., Какушина Е.Г., Решетникова Т.В., Соломоненко А.В.// Энергетические установки и технологии. 2020.

Т. 6. № 4. С. 38-41.

References

1. Zadorozhny A.V. The main effects of the implementation of the technological platform "Intelligent Energy system of Russia" / A.V. Zadorozhny, R.V. Okorokov // Bulletin of IGEU, 2013. - Issue 2 - pp.1-7.
2. Berdnikov R.N. The concept of an intelligent electric power system of Russia with active-adaptive network / V.V. Bushuev, S.N. Vasiliev et al.; ed. acad. RAS V.E. Fortova and A.A. Makarova. – Moscow: FGC UES, 2012. – 236 p.
3. Veselov F.V. Intellectual energy system of Russia as a new stage of development of electric power industry in the conditions of digital economy / V.V. Dorofeev // Digital energy, 2018. - Issue 5-11 p.
4. Volkova I.O. The concept of intelligent power systems and the possibility of its implementation in the Russian electric power industry / V.R. Okorokov, R.V. Okorokov, B.B. Kobets. - M.: INPRAN Publishing House, 2011. - 65 p.
5. Fedorov M.P. Energy technologies and world economic development: past, present, future. / Okorokov V.R., Okorokov R.V. // – St. Petersburg: Nauka, 2010. – 412 p.
6. Intelligent energy system of Russia [Electronic resource] – Access mode: <https://www.smartgrid.ru/>.
7. Avakian M.K. Methods of solving global conditional optimization in relation to energy systems / Peryshkin M.D., Kakushina E.G., Reshetnikova T.V., Solomonenko A.V.// Energy installations and technologies. 2020. Vol. 6. No. 4. pp. 38-41.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК.66.067.8.09

Технология предотвращения образования минеральных отложений в системах очистки сточных вод предприятий

А.М. Акимов, С.А. Котельникова

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail: cvetlana.83@inbox.ru*

Статья поступила 05.10.2022 г.; после доработки 07.10.2022 г.

Аннотация

В результате данного исследования был проведен – анализ и оценка эффективности существующих и перспективных методов предотвращения образования минеральных отложений в системах очистки сточных вод предприятий

Ключевые слова: загрязнения, минеральные отложения, ингибиторы, сточные воды.

Technology for preventing the formation of mineral deposits in wastewater treatment systems of enterprises

A.M. Akimov, S.A. Kotelnikova

Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russia e-mail: cvetlana.83@inbox.ru)

Received 05.10.2022 y.; received in final form 07.10.2022 y.

Abstract

As a result of this study, an analysis and evaluation of the effectiveness of existing and promising methods for preventing the formation of mineral deposits in wastewater treatment systems of enterprises was carried out.

Keywords: pollution, mineral deposits, inhibitors, waste water.

Введение

Предотвращение солеотложения в скважинах, трубопроводах и системах подготовки сточных вод, является основным направлением в борьбе с данным процессом, как негативным явлением. Исходя из экономической целесообразности в зависимости от условий и особенностей разработки залежей, доступности технических средств и прочих факторов могут использоваться различные подходы в борьбе с данным явлением.

По самой общей классификации выделяются две основные группы отложений – неорганические и минеральные (например, известняк или фосфатные отложения) и органические отложения. Последние образуются в результате агломерации бактерий, что, в свою очередь, приводит к множеству других проблем.

Отложения, которые образуются в установках для очистки сточных вод, редко бывают чисто минерального или органического происхождения.

Однако наиболее серьезную проблему представляют отложения, которые в основном образованы неорганическими компонентами.

Типы минеральных отложений:

- Известняк, кальцит: карбонат кальция CaCO_3 . Кристаллизация известняка наблюдается даже при значении показателя $\text{pH} = 7.5$. Он растворяется быстрее, чем, например, гидроксилapatит или магний-аммоний фосфат, и, вследствие тенденции к образованию пересыщенных растворов, способен формировать очень прочное отложение. Карбонатные отложения представляют проблему не только в установках для очистки сточных вод, но и в любых других системах, в которых применяется жесткая вода.
- Магний-аммоний фосфат: $\text{NH}_4\text{Mg}[\text{PO}_4]_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. В зависимости от конкретных условий нарастания магний-аммоний фосфат может образовывать либо очень твердые неструктурированные отложения или отложения с очень мелкой кристаллической структурой, которая легко разрушается. Характер кристаллизации магний-аммоний фосфата зависит от показателя pH и концентрации фосфата. При концентрации приблизительно 140 ppm кристаллизация может происходить даже при значении $\text{pH} = 7$, в то время как при концентрации 90 ppm и меньше для кристаллизации требуется значение pH не ниже 8.
- Гидроокиси железа. Если в воде содержится большое количество железа, что имеет место, например, в установках для очистки стоков процесса химического удаления фосфатов или в старых трубопроводах для технической воды, изготовленных из железа, образуются отложения ржаво-коричневого цвета, состоящие из окислов железа и гидроокисей. Конкретный состав таких образований трудно определить визуально. Очень часто карбонатные и фосфонатные отложения в присутствии железа также образуют отложения ржаво-коричневого цвета.
- Гидроксиapatит: $[3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2]$. Как правило, фосфатсодержащие отложения содержат не чистый фосфат кальция, а смешанные кристаллы, состоящие из различных фосфоросодержащих солей, включая гидроксиapatит. Образование таких отложений происходит, главным образом, в фильтрате, выходящим из центрифуги, когда значение pH составляет приблизительно 8, концентрация фосфатов превышает 60 мг/л, а концентрация кальция превышает 80 мг/л.

Структура таких отложений, как правило, носит не твердый кристаллический, а гранулированный или слизистый характер.

Постановка цели и задач научного исследования

В различных типах воды, которая находится в установках для очистки сточных вод, таких как техническая вода, сточная вода и отработавшая вода со шламом, ионы, содержащиеся в воде, находятся в состоянии равновесия с растворенной двуокисью углерода. В зависимости от условий состояния равновесия, которое, в свою очередь, в любом случае зависит от температуры среды, вода имеет определенное значение показателя pH , уровень которого непосредственно влияет на растворимость солей, содержащихся в растворе.

Если вода при этом подвергается перепадам давления, например, при перекачивании, сушке или обезвоживании и концентрирования в центрифугах, из равновесного раствора выделяется двуокись углерода. Это приводит к увеличению значения pH . При выделении двуокиси углерода нарушается равновесие угольной кислоты. Увеличение показателя pH , в свою очередь, приводит к увеличению концентрации анионов, таких как ионы карбонатов, гидрофосфатов и фосфат ионов. Если эти ионы находятся в равновесии с ионами металлов, такими как кальций, магний или железо, происходит осаждение так как имеет место превышение растворимости указанных солей.

Кроме того, другой эффект способствует формированию фосфатных отложений. Если осаждение фосфатов происходит с солями железа, образуется фосфат железа (III). В анаэробных зонах, таких как метантенк, железо (III) вновь растворяется и восстанавливается до железа (II), таким образом, фосфат вновь становится доступным в растворенной форме. В установках биологического удаления фосфора, фосфор также может быть повторно растворен в анаэробной зоне до концентрации 150 ppm.

В процессе деструкции белка в анаэробной среде образуется сульфид из серосодержащих аминокислот. Этот сульфид в присутствии железа (II) образует труднорастворимый сульфид железа (FeS , пирит). Это вещество в основном содержится в шламе, в результате чего ил приобретает темный цвет. Отложения FeS на стенках встречается крайне редко.

Если в воде содержится фосфат, он может вступать в реакцию с любым присутствующим

кальцием, в результате чего формируется труднорастворимый фосфат кальция. Фосфаты также реагируют с магнием и аммонием, образуя магний-аммоний фосфат. Аммоний присутствует в высоких концентрациях, поскольку он образуется в процессе анаэробного разложения азотосодержащих аминокислот.

Механизм предотвращения образования отложений определяется отношением скорости протекания зародышеобразования кристаллов и ростом кристаллов.

Термин «образование центров кристаллизации» относится к спонтанному формированию микроскопических частиц (микрорекристаллитов) из растворенных ионов, например, кристаллитов карбоната кальция из растворенного кальция и карбонатных ионов. Эти крошечные кристаллы могут спонтанно распадаться или продолжать расти до определенного сверхкритического размера. При достижении этого размера они становятся макрорекристаллами и переходят в устойчивое состояние. Распад прекращается, и постепенно формируются крупные кристаллические структуры, которые называют «отложениями».

Для описания механизмов предотвращения образования отложений часто применяются следующие термины:

- Пороговый эффект;
- Ингибирование (подавление) / разрушение кристаллической структуры / стабилизация;
- Дисперсия.

Ингибиторы позволяют обеспечить эти эффекты в большей или меньшей степени. Например, составы на основе полиакрилата демонстрируют незначительные возможности стабилизации, но обеспечивают очень хороший дисперсионный эффект. Продукты с высоким содержанием фосфонатов обеспечивают эффективную стабилизацию, но очень слабую дисперсию. В отличие от них сополимеры акрилата сульфокислоты демонстрируют очень высокий уровень эффективности по обоим параметрам. Действие реагента можно оптимизировать посредством его модификации, например, изменения коэффициента сополимеризации мономеров.

Пороговый эффект

Пороговый эффект заключается в том, что пересыщенный раствор, например, карбоната кальция, сохраняет устойчивость в течение продолжительного времени без визуального заметного осаждения при добавлении полиэлектролита (например, полиакрилата натрия) в достаточном количестве. Данный эффект

можно описать следующим образом: вместе с карбонатами ионы кальция образуют нерастворимый микрорекристаллический карбонат кальция, который сразу же покрывается молекулами ингибитора образования отложений в результате поверхностной адсорбции. Эти нерастворимые частицы микроскопического размера (50 - 1000 нанометров) рассеиваются в ингибиторе образования отложений, что предотвращает их дальнейший рост. В результате этого содержание растворенного карбоната кальция падает ниже концентрации насыщенности (предела растворимости), что в итоге препятствует дальнейшему образованию частиц.

В лабораторных условиях очень трудно отличить частицы карбоната кальция, которые фактически растворились, от микрорекристаллических частиц карбоната кальция. Такой «пересыщенный» раствор состоит как из фактически растворенного, так и из дисперсного карбоната кальция. Но поскольку жидкость остается прозрачной, кажется, что этот состав является пересыщенным раствором.

Следует отметить, что пороговый эффект не является фактически действующим механизмом в прямом смысле, а скорее является последствием наблюдаемого воздействия.

Ингибирование

Действие ингибитора образования отложений основано на разрушении кристаллической структуры, подавлении кинетики роста кристаллических ядер и, соответственно, роста отложений. При этом также значительно подавляется тенденция агломерации кристаллов. В большинстве случаев для этой цели применяются полифосфонаты или поликарбоксилаты (также, как и полиакрилаты). Механизм действия можно продемонстрировать на примере следующей модели: жесткость отложений в значительной степени зависит от симметричности ее роста. На стадии микрорекристаллитов ингибиторы образования отложений еще не в состоянии воздействовать на рост кристаллов, поскольку их молекулы на этом этапе слишком велики по сравнению с кристаллами.

Тем не менее, в случае микрорекристаллитов ингибиторы образования отложений, благодаря отрицательному заряду карбоксиллирующих групп, могут занять узлы решетки анионов, и таким образом прекратить их дальнейшее регулярное проникновение в кристалл. Полиакрилаты покрывают поверхность кристаллов в горизон-

тальном положении, и уже не так быстро нарастают до следующего слоя. В результате всего этого происходит нарушение кристаллической структуры отложений.

Микроскопические исследования показали, что кристаллы в присутствии ингибиторов образования отложений имеют меньший размер и, в отличие от типичных остроугольных чистых кристаллов, имеют заметно округленную форму. При нарушенной регулярности роста отложение получается более хрупким, чем при нормальном росте, в связи с чем оно становится более подверженной разрушению, и легче отделяется от стен. Кроме того, вследствие округления кромок затрудняется взаимная агломерация кристаллитов (Рисунок 1).

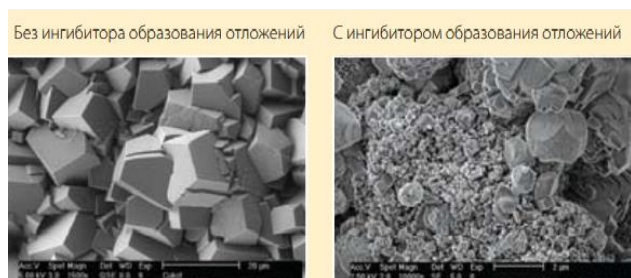


Рис.1. Снимки чистой и подвергшейся воздействию ингибитора образования отложений кристаллической структуры кальцита, полученные с помощью электронного микроскопа.

Адсорбция молекул ингибитора на кристаллической поверхности не является статическим процессом, а представляет собой динамическое состояние равновесия: молекулы ингибитора высвобождаются вновь, диспергируют и занимают другие поверхностные узлы. Рост деформированных кристаллических структур, подвергшихся их воздействию, значительно замедляется. Только этим можно объяснить тот факт, что незначительное количество ингибитора по сравнению с количеством ионов, стимулирующих рост кристаллов и образование отложений, оказывает столь эффективное воздействие. Благодаря большому количеству карбоксильных групп в каждой молекуле, одна молекула может воздействовать на многие центры роста кристаллов.

Адгезионная прочность карбоксильных групп полиакрилатов зависит не только от химического строения полиакрилатов, но также и от степени ионизации кислотных групп. Ионизированные группы необходимы для эффективного электрического сродства. При очень низких или, наоборот, очень высоких значениях показателя

pH эффективность полиэлектролитов снижается. Вообще говоря, подавление образования отложений заключается, с одной стороны, в замедлении роста кристаллической решетки, а с другой стороны – в формировании менее устойчивой системы, что упрощает отщепление отложений. Эффективность продуктов зависит от концентрации полимеров, типа функциональных групп, степени ионизации и молекулярной массы полимера.

Дисперсия

Механизм дисперсии зависит от типа среды (в данном случае – вода) и типа диспергируемых веществ, но он во всех случаях основан на адсорбции полиэлектролита на диспергируемых частицах. Если диспергируются гидрофильные частицы, например, карбоната кальция или окислов железа, процесс стабилизации основывается на наращивании двойного электрического слоя между частицей и полиэлектролитом, например, полиакриловой кислотой. Поскольку частицы имеют заряды одинаковой полярности, они отталкиваются друг от друга. Дисперсия стабилизируется электрическими зарядами. В случае дисперсии неионогенных или гидрофобных частиц, таких как частицы грязи или сажи, действие ингибитора основывается на пространственной стабилизации.

В результате адсорбции длинноцепочечных полимеров на поверхности частиц уменьшаются силы притяжения (ван-дер-ваальсовские силы) между частицами. Барьер адсорбции должен составлять, по крайней мере, 100 ангстремов. По этой причине для данной формы стабилизации следует использовать только высокомолекулярные соединения, т.е. полимеры.

Дисперсия плотно связана с адсорбцией полимеров на поверхности диспергируемого вещества. Практическим следствием этого является так называемый «расход продукта». Под этим подразумевается потеря или расходование полимера в процессе использования. Фактический расход продукта обычно превышает количество полимера, адсорбированное на частицах, потому что определенное количество полимера также адсорбируется на стенках трубы. Однако через некоторое время система достигает состояния равновесия, и расход полимера значительно уменьшается.

Результаты научного исследования

Для того, чтобы предметно и систематически решать проблемы, связанные с образованием

отложений, рекомендуется придерживаться следующей процедуры:

Этап 1. Определить место образования отложений. Наиболее распространенные места образования отложений в установках для очистки сточных вод включают центрифуги и трубопроводы очищенной жидкости центрифуг, а также насосы, загустители, теплообменники.

Этап 2. Определить тип отложений. Тип первичной очистки, выбор и дозирование продуктов зависят от типа отложений. Тип отложений может быть с достаточной степенью уверенности определен на месте с помощью несложных способов.

Соли углекислоты: образуются газовые пузырьки при обработке уксусной кислотой или лимонной кислотой.

Фосфаты: медленно растворяются в средне концентрированных неорганических кислотах или щелочах без образования пузырьков.

Окислы железа: определяются визуально, выглядят, как ржавчина.

Более точное определение состава отложений возможно только в лабораторных условиях.

Этап 3. Выбрать оптимальный реагент. На практике было подтверждено, что ингибитор отложений Polystabil KWS можно успешно применять для борьбы почти со всеми типами отложений и, в частности, с карбонатами. В случае очень высокого содержания железа в сточных водах достаточно эффективное ингибирование образования отложений может быть обеспечено применением полиакрилатов. В таких случаях рекомендуется использовать ингибитор образования отложений Polystabil NOW.

Этап 4. Определить точку ввода реагента. Общее правило: Точка ввода реагента должно находиться как можно ближе к месту образования отложений, но при этом должен быть обеспечен равномерный ввод в смесь. С учетом химической природы ингибиторов образования отложений их эффективность может быть ослаблена под воздействием другими веществ, содержащихся в воде. По этой причине не следует применять реагенты в жидкой фазе на большом удалении от места их непосредственного действия.

Этап 5. Выполнить первичную очистку. Ингибиторы, используемые для противодействия образованию минеральных отложений, не способны удалить отложения, которые уже присутствует. Поэтому перед началом использования необходимо выполнить первичную очистку, для чего при необходимости можно привлечь квали-

фицированных специалистов специализированной организации

Этап 6. Обеспечить дозирование и оперативный контроль. Определение доз продуктов для дозирования с помощью дозировочных насосов основывается на эмпирическом подборе или лабораторных рекомендациях. В большинстве случаев исходная доза соответствует концентрации 30 ppm. В случае очень интенсивного образования отложений дозу можно увеличить соответственно концентрации 40 - 50 ppm. Эффективность действия реагента может быть проверена визуально, например, осмотром внутренней поверхности подверженных образованию отложений труб или отдельного трубопровода, специально установленного в контрольных целях. В другом варианте можно контролировать изменение давления в системе трубопроводов за определенный период.

Заключение

В работе был проведён анализ условий образования отложений и эффективности применяемых методов борьбы и предотвращения образования этих отложений. На основании проведенного анализа предложена комплексная методика решения проблемы образования отложений.

Список литературы

1. Лапкаев А.Г., Халтурина Т.И. Очистка сточных вод промышленных предприятий: учеб. пособие / СФУ. Красноярск, 2014. 164
2. Презентация Polystabil. «Ингибиторы, предотвращающие образование минеральных отложений в установках очистки сточных вод». URL: <http://serviceok.com.ua/media>
3. Отложения неорганических солей в скважинах, призабойной зоне пласта и методы их предотвращения / С.Ф. Люшин, А.А. Глазков, Г.В. Галеева. М.: ВНИИОЭНГ, 1983. 100 с.

References

1. Lapkaev A.G., Khalturina T.I. Wastewater treatment of industrial enterprises: textbook. manual / SFU. Krasnoyarsk, 2014. 164
2. Presentation of Polystabil. "Inhibitors that prevent the formation of mineral deposits in wastewater treatment plants." URL: <http://serviceok.com.ua/media>
3. Deposits of inorganic salts in wells, the bottom-hole zone of the formation and methods of their prevention / S.F. Lyushin, A.A. Glazkov, G.V. Galeeva. M.: VNIIOENG, 1983. 100 p.

УДК.66.07

Водородная энергетика: хранение водорода

С.А. Котельникова

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail: cvetlana.83@inbox.ru

Статья поступила 11.10.2022 г.; после доработки 13.10.2022 г.

Аннотация

Рассмотрены современные физические методы хранения водорода, адсорбционные методы хранения водорода, аккумулялирование водорода в микропористых структурах, химические методы хранения водорода, абсорбция водорода в объеме материала и процессы хранения и выделения водорода, передовые идеи по разработке и созданию эффективных накопителей водорода. Выявлены достоинства и недостатки каждого метода хранения водорода.

Ключевые слова: водородная энергетика, водород, металлогидриды, мультикапиллярные системы.

Hydrogen energy: hydrogen storage

S.A. Kotelnikova

Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russia e-mail: cvetlana.83@inbox.ru)

Received 11.10.2022 y.; received in final form 13.10.2022 y.

Abstract

Modern physical methods of hydrogen storage, adsorption methods of hydrogen storage, hydrogen accumulation in microporous structures, chemical methods of hydrogen storage, absorption of hydrogen in the volume of material and processes of hydrogen storage and separation, advanced ideas for the development and creation of efficient hydrogen storage are considered. The advantages and disadvantages of each method of hydrogen storage are revealed.

Keywords: hydrogen energy, hydrogen, metal hydrides, multicapillary systems.

Введение

В настоящее время одним из вызовов энергетической безопасности для Российской Федерации является изменение структуры спроса на энергоресурсы, включая замещение углеводородов другими видами энергетических ресурсов, в том числе водородом.

В 2020 году был принят План мероприятий "Развитие водородной Энергетики в Российской Федерации до 2024 года", утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации, целью которого является организация первоочередных работ по формированию в Россий-

ской Федерации высокопроизводительной экспортно ориентированной области водородной энергетики, развивающейся

на основе современных технологий и обеспеченной высококвалифицированными кадрами.

Российская Федерация обладает серьезным потенциалом в области водородной энергетики, а именно близостью к рынкам сбыта водорода в Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе, ресурсной базой (запасы природного газа, нефти, угля, незагруженные мощности по производству электроэнергии), и научным заделом в сфере производства, транспортировки и хранения водорода.

Постановка цели и задач научного исследования

Одной из важнейших задач, решение которой может обеспечить дальнейшее развитие водородной энергетики, является организация технически и экономически эффективного хранения, транспортировки и использования водорода. Водород является энергоемким (удельная энергоемкость водорода 33500кВт/т, тогда как удельная энергоемкость природного газа 13800кВт/т), экологически чистым (продукт окисления - вода) и технологически гибким энергоносителем, но в то же время представляет значительные неудобства.

Хранение водорода – сложный, а поэтому дорогой процесс из-за очень низкой плотности водорода как в газообразном ($\sim 0,09 \text{ кг/м}^3$), так и в жидком ($\sim 70 \text{ кг/м}^3$) состоянии, низкой температуры его сжижения, а так же высокой взрывоопасности в сочетании с негативным воздействием на свойства конструкционных материалов.

Способы хранения водорода можно разделить на:

- физические – в сжатом или сжиженном состоянии;
- физико-химические – в первую очередь в адсорбированном состоянии;
- химические - в связанном состоянии в металлгидридах.

К настоящему времени освоена широкомаштабная промышленная реализация физических методов: газобаллонного и криогенного. Другие методы являются перспективными, находясь на стадии технологических разработок либо мелко-маштабного производства.

Кроме того, в различных областях применение водорода предъявляются различные требования к системе его хранения.

В связи с этим, исследования в направлении разработки эффективных способов хранения водорода являются актуальными.

Результаты научного исследования

Для перевода газообразного водорода в компактное состояние главным образом используются сжатие и ожижение. Водород, хранимый в сжатом или сжиженном состоянии, состоит из молекул H_2 , не взаимодействующих со средой хранения. В сжатом состоянии водород хранится в баллонах при температуре 300К, $P \leq \text{Мпа}$. Преимущества такой технологии заключаются в её простоте, доступности и отработанности, а

также в отсутствии энергозатрат на выдачу газа и невысокой стоимости. Недостатками данной технологии является низкая объемная плотность и проблемы безопасности при использовании взрывоопасного газа под высоким давлением. Кроме того, сжатие до высоких давлений само по себе является довольно сложной инженерной проблемой в связи с возможными утечками газа через подвижные уплотнения и водородной коррозией конструкционных материалов [1].

Молекулы водорода неполярны и довольно слабо взаимодействуют между собой, вследствие чего конденсация газообразного водорода требует глубокого охлаждения. Среди уникальных свойств водорода, которые нужно учитывать при его хранении в жидком состоянии, одно является очень важным. Водород в жидком состоянии находится в очень узком интервале температур: от температуры кипения 20 К до точки замерзания 17 К, когда он переходит в твердое состояние. Если температура подымается выше температуры кипения, водород мгновенно переходит от жидкого в газообразное состояние. Чтобы не допустить местных перегревов, сосуды, которые заполняют жидким водородом, следует предварительно охладить до температуры, близкой к точке кипения водорода, и только после этого их можно заполнять жидким водородом. Для этого через систему пропускают охлажденный газ, что связано с большими расходами водорода на охлаждение емкости. Несмотря на низкие температуры систем хранения жидкого водорода, давление в них может быть лишь незначительно выше атмосферного (критическое давление 1,3 МПа). Вследствие этого требования к прочности и материалоемкости стенок криогенных контейнеров для хранения жидкого водорода не такие жесткие, как для сосудов высокого давления с газообразным H_2 . Это позволяет достичь высокой массовой плотности хранения, а предельная объемная плотность будет определяться плотностью жидкого водорода ($70,8 \text{ кг/м}^3$) [2]. Но технология ожижения водорода имеет существенные недостатки: высокие затраты энергии на сжижение; значительные потери из-за испарения; необходимость суперизоляции и, как следствие, высокая стоимость; метод хранения слишком дорог и конкурентоспособен лишь в специальных случаях. [3].

Физические методы хранения водорода в виде криогенной жидкости или сжатого газа обеспечивают эффективное аккумулирование водорода и связаны с экстремальными для данной техники техническими параметрами (давление

ние газа до сотен МПа, температуры ниже температуры жидкого азота). Но эти методы в большинстве случаев недостаточно экономически эффективны, удобны и безопасны. Основная проблема — водородное охрупчивание металлических частей систем хранения водорода, что требует применения дорогих высоколегированных материалов, защиты от электрохимической коррозии, применения ингибиторов, нанесения защитных покрытий.

Помимо описанных промышленно освоенных методов существует ряд методов хранения, реализованных на уровне технологических разработок. Один из таких методов — хранение водорода в микрокапсулированном виде. [4,5]. Этот метод можно отнести к хранению газообразного водорода под давлением (35–65 МПа), где роль «баллонов» выполняют стеклянные микросферы. Они имеют высокую прочность, низкую объемную плотность и могут заполнять любое удобное пространство. При нагревании микросфер до 300 - 400 °С они сравнительно легко пропускают сжатый водород через стенки и поэтому могут быть им заполнены. При охлаждении проницаемость стекла уменьшается на несколько порядков и водород остается захваченным внутри микросфер. Проблемы возникают при освобождении водорода, когда снова требуется повысить температуру микросфер, причем, как показывают расчеты, для поддержания нужной скорости освобождения водорода микросферы диаметром 80 мкм должны быть нагреты до 600 °С. Требуется энергия для нагрева, причем при нагревании давление в микросферах может стать выше критического, а прочность стекла падает. Применение капиллярных систем для хранения водорода оправдано только при высоких и сверхвысоких давлениях. Это приводит к высокой стоимости системы и большим энергозатратам на сжатие водорода, особенно в автономных системах. [6,7].

Другой метод хранения сжатого водорода в стеклянных мультикапиллярах запаянных с одного конца. Эта технология имеет следующие преимущества:

- так же, как и в полых микросферах, в тонких капиллярах прочность стекла приближается к теоретической, которая в несколько раз выше прочности стали;
- при понижении температуры прочность стекла растет, а проницаемость стенок для водорода падает, что делает хранение водорода при низких температурах еще более эффективным;
- объем хранящегося водорода разбивается на

множество мелких объемов, соответствующее числу капилляров в мультикапиллярной системе, что исключает мгновенный выброс большого количества газа при аварийном разрушении части емкости и тем самым делает хранение водорода более безопасным;

- по сравнению с металлами стекло химически инертно к водороду, что исключает проблему охрупчивания;
- полимерная связка капилляров в мультикапиллярную структуру увеличивает реальную прочность стекла за счет нейтрализации наноразмерных трещин на его поверхности, которые могут возникать в процессе изготовления и эксплуатации капилляров;
- применение пористых стекол с размерами пор 10-100 нм позволяет создать на входе в капилляры мембраны, с помощью которых можно в широких пределах контролировать скорость впуска и выпуска газов из капилляров;
- в отличие от полых стеклянных микросфер капилляры можно заполнить любым газом, а не только теми, что могут достаточно быстро диффундировать через стекло при повышенных температурах (водородом, гелием).

Несмотря на преимущества хранения водорода в мультикапиллярах, остается еще ряд нерешенных проблем. В частности, необходимо разработать технологию производства капилляров с бездефектной поверхностью и поэтому имеющих достаточную прочность, определить оптимальную структуру мультикапиллярной емкости, позволяющую легко масштабировать ее объем, а также решить проблему коммутации мультикапилляров с арматурой газовых компрессоров. [8-10].

Предложена ещё одна технология хранения водорода, позволяющая увеличить весовое и объемное содержание водорода - технология нанокapиллярного хранения и транспортировки водорода (технология CNT). В её основе лежит принцип разбиения на миллионы независимых капилляров – микрообъемов. (Рисунок 1).

Для этого предложена емкость для хранения водорода, состоящая из герметичного корпуса, технологических патрубков, нагревателя и наполнителя-аккумулятора водорода, размещенного в корпусе, при этом наполнитель-аккумулятор водорода представляет собой полые микросферы, скрепленные между собой в единую, жесткую структуру, сформированную послойно из микросфер разного диаметра, причем диаметр

микросфер уменьшается от центрального слоя к периферийному. Кроме того, на внешней поверхности жесткой структуры может быть выполнено покрытие. При этом покрытие выполнено из металла, эффективно поглощающего водород, например, палладия, или никеля, или сплава лантана с никелем.

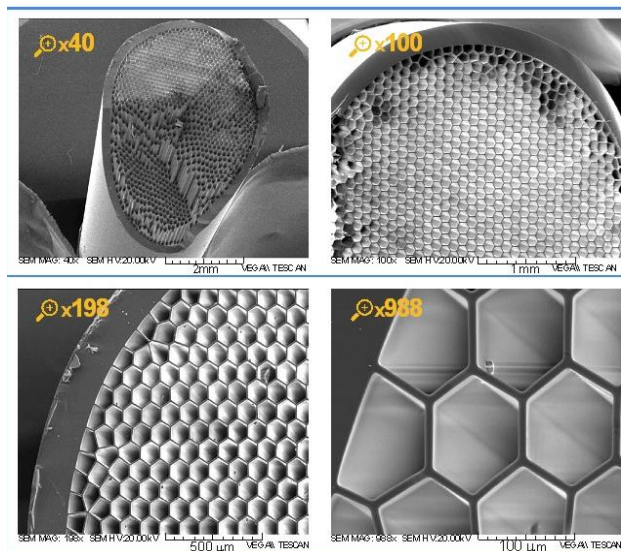


Рис 1. Микрофотография поликапиллярной структуры.

В качестве материала микросферы используют сталь, или титан, или лантан, или никель, или цирконий, или сплавы на основе этих металлов, или графит, или композиции на основе графита. Микросферы из металла могут быть закреплены между собой диффузионной сваркой. В такой емкости водородом будет заполнено пространство как внутри микросфер, так и все пространство между ними. Кроме того, изменение диаметра микросфер от центра корпуса к периферии позволит создать плотно упакованную структуру, что еще эффективнее позволит использовать пространство, заключенное внутри корпуса емкости. При насыщении всей структуры водородом его давление может быть повышено до нескольких тысяч атмосфер, т.к. это позволяет сделать как выполнение микросфер из высокопрочного материала, так и то, что стенки микросфер в такой жестко скрепленной структуре будут разгружены, т.к. давление водорода в соседних микросферах будет практически одинаковым, а микросферы с малым диаметром на периферии могут выдерживать большие избыточные давления водорода. В качестве материала микросфер должны использоваться высокопрочные материалы с низкими коэффициентами диффузии водорода при температурах до 100-

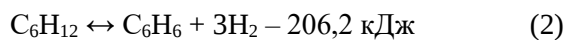
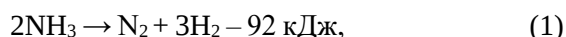
150°C, чтобы утечки водорода при хранении были минимальны. К таким материалам относятся прежде всего сталь, или титан, или цирконий, или сплавы на основе этих металлов, или графит, или композиционные материалы. Для увеличения гарантии удержания водорода в полостях между сферами на внешнюю поверхность жесткой структуры, состоящей из микросфер, наносится покрытие [11].

Достоинствами данной технологии являются эксплуатационная надежность, высокая технологичность, экономическая эффективность и безопасность.

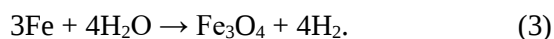
Разработка конкурентноспособной, максимально компактной и безопасной технологии хранения водорода (~ 0,1 МПа, ~ 300 К) позволит водороду более эффективно конкурировать с природными и синтетическими топливами.

Реализация такой технологии возможна, когда водород хранится в химически связанном виде, при этом в идеале процесс должен быть легко обратимым, а равновесные термодинамические параметры системы по возможности близки к комнатной температуре и атмосферному давлению.

Все материалы для хранения химически связанного водорода можно разделить на две группы. К первой относятся вещества, содержащие в своем составе водород и способные в определенных условиях (повышение температуры, присутствие катализатора) выделять его. Примерами являются каталитические реакции разложения аммиака при 800 – 900 °С и реакции гидрирования–дегидрирования ненасыщенных углеводородов:



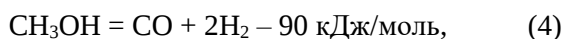
Ко второй группе относятся энергоаккумулирующие вещества, не всегда содержащие в своем составе химически связанный водород, но способные генерировать его в процессе окисления водой. Пример - губчатое железо, взаимодействующее с водяным паром при 550 – 600°C:



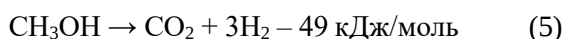
Другие энергоаккумулирующие вещества (алюминий, кремний и т.п.) выделяют водород в более мягких условиях, даже при комнатной температуре. Наиболее перспективными являются сплавы с небольшими добавками металла-активатора, например, Al - Ga. Варьируя состав

сплава и условия процесса, можно добиться быстрого и легко управляемого выделения водорода в мягких условиях. Возможно также разложение водой соединений, содержащих химически связанный водород (бинарные и комплексные гидриды металлов). Выделение водорода при взаимодействии с водой таких соединений, как правило, протекает при 100–300°С.

Основное преимущество хранения и транспортировки водорода в химически связанном состоянии, например, в виде аммиака, этанола, метанола - высокая плотность объемного содержания водорода (~ 100 кг/м³). Массовый показатель среды аккумулирования в виде жидкого аммиака составляет около 10 кг H₂. Выгодность такого способа хранения и транспортировки заключается не только в использовании аммиачного трубопровода вместо водородного, что в два раза дешевле, но и в меньших энергозатратах. Но выигрыш в стоимости появляется только при транспортировке аммиака на дальние расстояния. В установках для получения водорода диссоциацией аммиака обычно используют катализаторы на основе железа и процесс проводят при температурах 773–783 К. Массовый показатель среды аккумулирования водорода в виде метанола составляет около 8 кг на 1 кг H₂. Из метанола водород получается либо путем его термической диссоциации:



либо паровой конверсией:



В качестве катализатора используют соединения на основе Cu, Zn, Cr, Pd и Pt. Использование метанола в качестве сырья для получения водорода также позволяет сократить расходы на хранение и транспортировку водорода - они примерно на 20 % ниже, чем из природного газа [1].

Муравьиная кислота, содержащая 4.4 вес % водорода (53 г/л), стала недавно рассматриваться в качестве жидкого органического носителя водорода. Водород может быть получен каталитическим разложением кислоты в газовой или жидкой фазе.

Несмотря на то, что она содержит меньше водорода, чем метанол, и цена на неё выше, она не является токсичной и её разложение с образованием CO₂ и H₂ может быть проведено при зна-

чительно более низких температурах без необходимости присутствия паров воды.

Стоит также отметить безопасность транспортировки и использования муравьиной кислоты и что в последнее время развиваются методы синтеза кислоты из возобновляемой биомассы, а также из CO₂. Это может позволить снизить цену. Также в некоторых процессах муравьиная кислота получается в качестве примеси к основному продукту. Самыми активными катализаторами для разложения муравьиной кислоты, по-видимому, являются катализаторы на основе палладия. Катализаторы, содержащие 1 вес.% Pd, нанесенные на пористый углерод с высокой поверхностью и содержащие ионы калия, позволяют получать водород из газообразной кислоты при температуре 80 °С со скоростью около 1,5 лH₂/(мин*гPd). Катализаторы на основе неблагородных металлов (Ni, Cu, Co) также работают в реакции, но при более высоких температурах [12,13].

Основной недостаток хранения водорода в химически связанном состоянии - трудность многократного использования среды для хранения водорода. Исключением являются ненасыщенные системы, для которых можно реализовать обратимые процессы каталитического гидрирования/дегидрирования. Например, каталитическое гидрирование/дегидрирование двойных связей в фуллеренах [14-16]. Так, фуллерен C₆₀ может обратимо связывать до 6,3% (мас.) водорода, что соответствует формуле C₆₀H₄₈. Эффективными катализаторами в этом процессе являются гидриды интерметаллидов. Однако гидрирование/дегидрирование может быть реализовано только при повышенных температурах (~ 400°С) и давлениях водорода (~10 МПа), что сопряжено с высокими энергозатратами.

Практический интерес представляет гидрид лития и смеси Al или Si с LiH. При этом в реакторе создается щелочная среда, способствующая растворению гидроксидов алюминия и кремния. Однако высокая стоимость соединений лития и плохая управляемость этими реакциями делают их использование проблематичным. Более реально получение водорода за счет разложения водой комплексных боро- и алюмогидридов натрия, поскольку технологические схемы производства NaBH₄, NaAlH₄, LiH разработаны достаточно хорошо. Однако разложение NaBH₄ может сопровождаться образованием побочных продуктов - токсичных летучих бороводородов

[17]:



Металлогидридные системы весьма перспективны для компактного, стационарного и длительного хранения водорода, стоит учитывать достаточно высокий уровень их безопасности.

Заключение

1. В различных областях использования водорода предъявляются различные требования к системам его хранения. Низкая общая масса (высокое содержание, мас. %) хранимого водорода важна для автотранспорта и, особенно, для аэрокосмической техники, но не так важна, например, для заправочных станций. Небольшой объем (высокая объемная плотность) также критичен для малого транспорта (легковые автомобили), но менее важен для стационарных применений, таких как автономные энергосистемы, использующие возобновляемые источники энергии. Поэтому каждый из перечисленных методов хранения водорода может найти свою «нишу».
2. В мировой практике нет широкого использования водородных технологий в энергетике. Поэтому распространение водородных энергоносителей возможно только после кардинального технического переворота, разрешающего существующие ограничения и риски. Основные достижения водородной энергетике связаны с локальным применением в очень узких областях или с комбинацией водородных технологий с другими видами получения и использования энергии.

Список литературы

1. Тарасов Б. П., Лотоцкий М. В., Яртысь В. А. // Рос. хим. журнал. - 2006. - 50, № 6, - С. 34-49.
2. Schlapbach L. // MRS Bull. — 2002, Sept. — P. 675-679.
3. Тарасов Б. П., Бурнашева В. В., Лотоцкий М. В., Яртысь В. А. // Междунар. научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 12 (32). С. 14-37.
4. Гамбург Д. Ю., Семенов В. П., Дубовкин Н. Ф., Смирнова Л. Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справочник / Под ред. Д. Ю. Гамбурга и Н. Ф. Дубовкина. М.: Химия. 1989. 672 с.
5. A Multiyear Plan for the Hydrogen R&D Program:

Rationale, Structure, and Technology Roadmaps // Office of Power Delivery; Office of Power Technologies. Energy Efficiency and Renewable Energy; U.S. Department of Energy, August 1999.

6. Фатеев В.Н., Алексеева О.К., Коробцев С.В., и др Проблемы аккумулирования и хранения водорода // Химические проблемы. 2018. № 4(16). С. 453-483.
7. Жеваго Н.К., Чабак А.Ф., Глебов В.И. и др. Бортовой водородный аккумулятор для транспортных средств // Международный форум G8 “Водородные технологии для производства энергии”. Москва, Россия, 6-10 февраля 2006 года.
8. Жеваго Н.К., Глебов В.И. Хранение водорода в капиллярных решетках // Преобразование энергии и управление. 2007. Том 48. С. 1554-1559.
9. Available at:doi:10.1016 /j. enconman. 2006.11.017. 39. 3. Zhevago N.K., Denisov E.I., Glebov V.I. Experimental investigation of hydrogen storage in capillary arrays // Int. J. Hydrogen Energy. 2010. Vol. 35. P. 169-175.
10. Available at: doi:10.1016/j.ijhydene. 2009.10.011. 4. Akunets A.A., Basov N.G., Bushuev V.S., et al. Super-high-strength microballoons for hydrogen storage // Int. J. Hydrogen Energy. 1994. Vol. 19. P. 697-70.
11. Пат. 2267694 РФ. Ёмкость для хранения водорода./А.Ф. Чабак. Заявлено 03.02.2005г.; Опубл. 10.01.2006г.
12. Bulushev D. A.; Ross J. R. H. Heterogeneous catalysts for hydrogenation of CO₂ and bicarbonates to formic acid and formates // Catalysis Reviews. - 2018. - V.60. - С. 566-593.
13. Bulushev D. A.; Ross J. R. H. Towards Sustainable Production of Formic Acid // ChemSusChem. - 2018. - V.11. - С. 821-836.
14. Тарасов Б.П., Гольдшлегер Н.Ф., Моравский А.П. // Успехи химии. - 2001. - 70, No 2. - С. 149-166.
15. Schul'ga Yu. M., Tarasov B. P., Fokin V. N. et al. // Carbon. - 2003. - 41, No.7. - P. 1365-1368.
16. Wang J. C., Murphy R. W., Chen F. C. et al. // Proc. of the 1998 U.S. DOE Hydrogen Program Review, NREL/ CP - 570 – 25315.
17. Булычев Б. М. // В кн.: Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов. Ред. Т. Н. Везироглу, С. Ю. Загинайченко, Д. В. Шур и др. – Kluwer Academic Publishers, 2004. - С. 105-114.

References

1. Tarasov B. P., Lototsky M. V., Yartys V. A. // Russian Chemical Journal. - 2006. - 50, № 6, - Pp. 34-49.
2. Shlapbach L. // MRS. Bull. - 2002, September. — pp. 675-679.
3. Tarasov B. P., Burnasheva V. V., Lototsky M. V., Yartys V. A. // International scientific journal "Alternative energy and ecology". 2005. No. 12 (32).

- pp. 14-37.
4. Hamburg D. Yu., Semenov V. P., Dubovkin N. F., Smirnova L. N. Hydrogen. Properties, storage, transportation, application: Reference / Edited by D. Y. Hamburg and N. F. Dubovkin. M.: Chemistry. 1989. 672 p.
 5. Multi-year plan of the research and development program in the field of hydrogen: justification, structure and technological maps // Management of electricity supplies; Management of energy technologies. Energy Efficiency and Renewable Energy; U.S. Department of Energy, August 1999.
 6. Fateev V.N., Alekseeva O.K., Korobtsev S.V., et al. Problems of hydrogen accumulation and storage // Chemical problems. 2018. No. 4(16). pp. 453-483.
 7. Zhevago N.K., Chabak A.F., Glebov V.I. et al. Onboard hydrogen battery for vehicles // G8 International Forum "Hydrogen technologies for energy production". Moscow, Russia, February 6-10, 2006.
 8. Zhevago N.K., Glebov V.I. Storage of hydrogen in capillary lattices // Energy conversion and control. 2007. Volume 48. pp. 1554-1559.
 9. Available at: doi:10.1016 /J. enconman. 2006.11.017. 39. 3. Zhevago N.K., Denisov E.I., Glebov V.I. Experimental study of hydrogen accumulation in capillary lattices // Institute of Hydrogen Energy. 2010. Volume 35. pp. 169-175.
 10. Available at: doi:10.1016/j.ijhydene. 2009.10.011. 4. Akunets A.A., Basov N.G., Bushuev V.S., etc. Ultra-high-strength micro-cylinders for hydrogen storage // Int. J. Hydrogen Energy. 1994. Vol. 19. P. 697-70.
 11. Pat. 2267694 RF. Hydrogen storage tank./ A.F. Chabak. Declared 03.02.2005; Publ. 10.01.2006
 12. Bulushev D. A.; Ross J. R. H. Heterogeneous catalysts for hydrogenation of CO₂ and bicarbonates to formic acid and formates // Reviews of catalysis. - 2018. - V.60. - C. 566-593.
 13. Bulushev D. A.; Ross J. R. H. On the way to sustainable production of formic acid // Chemistry. - 2018. - Vol.11. - pp. 821-836.
 14. Tarasov B.P., Goldschleger N.F., Moravsky A.P. // Successes of Chemistry. - 2001. - 70, 2 no. - pp. 149-166.
 15. Shulga Yu. M., Tarasov B. P., Fokin V. N. et al. // Carbon. - 2003. - 41, №7. - Pp. 1365-1368.
 16. Wang J.K., Murphy R. W., Chen F. K. et al. // Materials of the review of the hydrogen program of the US Department of Energy in 1998, NREL/CP - 570 - 25315.
 17. Bulychев B. M. // In the book: Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials. Ed. T. N. Veziroglu, S. Yu. Zaginaichenko, D. V. Shur et al. - Kluwer Academic Publishers, 2004. - pp. 105-114.

УДК 620.19

Методы и средства обнаружения и контроля коррозионных повреждений при диагностировании технического состояния объекта

Н.И. Кузнецова¹, С.А. Слива²

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299253, Россия,
nika100452@gmail.com, sofiasliva4990@gmail.com

Статья поступила 23.11.2022 г.; после доработки 24.11.2022 г.

Аннотация

Так как коррозия представляет собой непрерывно нарастающий процесс повреждения металла, вызываемый разными внешними факторами, то необходимо знать способы её обнаружения и устранения. Стойкость металлов к коррозии принято описывать количественными показателями, выбор которых обуславливается видом коррозии и эксплуатационными требованиями. Тип прибора для контроля коррозии определяется в зависимости от метода ее выявления.

Ключевые слова: коррозия, коррозионное поражение, ультразвуковой метод, вихревые токи, цветной метод, металлографический метод.

Methods and means for detecting and controlling corrosion damage in diagnosing the technical condition of an object

N.I. Kuznetsova¹, S.A. Sliva²

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia,
nika100452@gmail.com, sofiasliva4990@gmail.com

Received 23.11.2022 y.; received in final form 24.11.2022 y.

Abstract

Since corrosion is a continuously growing process of metal damage caused by various external factors, it is necessary to know how to detect and eliminate it. It is customary to describe the resistance of metals to corrosion by quantitative indicators, the choice of which is determined by the type of corrosion and operational requirements. The type of instrument for monitoring corrosion is determined depending on the method of its detection.

Keywords: corrosion, corrosion damage, ultrasonic method, eddy currents, color method, metallographic method.

Введение

На АЭС в России применяют нормы дефектов для производства различного типа сварных соединений и оборудования из металла [1]. Поэтому количество ремонтов на АЭС более чем в десять раз превышает соответствующий уровень для сохранения и обеспечения надежной эксплуатации. Внедрение на эксплуатируемых АЭС экономически обоснованных и удовлетворительных норм дефектов позволит снизить более

чем в десять раз трудозатраты и целесообразно перераспределить средства для усиления безопасности и надежности, а также для увеличения наработки оборудования.

Однако, невзирая на существенные успехи в совершенствовании методов технической диагностики (ТД) и неразрушающего контроля (НК) и используемые меры по проверке технических средств (ТС) всевозможных систем, некоторые неисправности остаются необнаруженными и

являются причинами и последствиями масштабных катастроф и аварийных ситуаций. Таким образом, способы и методы НК и ТД, используемые на этапах производства и предэксплуатационной проверки на АЭС, далеки от идеальных и в результате их использования значительное число дефектов технологического происхождения остается необнаруженным.

Постановка задачи

Основной задачей данной статьи является рассмотрение видов коррозии, а также приборов и способов ее обнаружения.

Виды коррозионных повреждений по характеру разрушений [2]

Коррозия – саморазрушение сплавов и металлов в следствие электрохимического, химического и физико-химического контакта с окружающей средой.

Сплошная коррозия (общая коррозия) – это коррозия, охватывающая всю плоскость металлического изделия, находящегося под влиянием коррозионной среды.

Сплошная коррозия подразделяется на: равномерную (рис. 1), неравномерную (рис. 2) и избирательную (рис. 3).

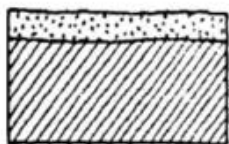


Рис. 1. Общая равномерная коррозия.

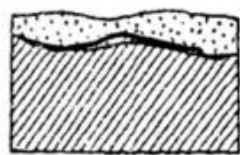


Рис. 2. Общая неравномерная коррозия.

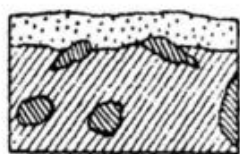


Рис. 3. Структурно-избирательная коррозия.

Сплошная коррозия наименее опасный вид

коррозии, так как материал лишь слегка утрачивает свои прочностные характеристики (около 5 %).

Местной коррозией поражаются отдельные участки поверхности металла. Местная коррозия обладает различную степень поражения. Преимущественно отличительными вариантами местной коррозии является коррозия в виде пятен, язв, точечная и подповерхностная, межкристаллитная и ножевая.

Коррозия в виде пятен – это коррозия, разрушающая отдельные площади поверхности металлов на относительно малую глубину (рис. 4).

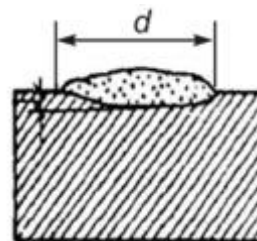


Рис. 4. Коррозия пятнами.

Коррозия в виде язв различается с коррозией в виде пятен только большей глубиной прониканием в прослойку металла (например, коррозия стали в земле) (рис. 5).

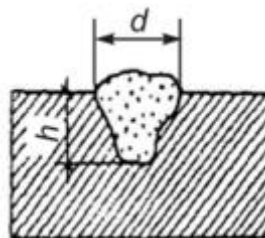


Рис. 5. Локальная язвенная коррозия.

Точечная коррозия (питтинг) – коррозия, разрушающая металл точечными поражениями, которые позднее перерастают в сквозные (рис. 6).

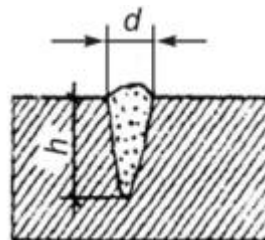


Рис. 6. Локальная питтинговая коррозия.

Подповерхностная коррозия формируется, в основном в случаях, когда отдельные участки защитных или изоляционных покрытий (пленок, лаков и т. п.) разрушены. Таким образом разрушение металла происходит преимущественно под его поверхностью, а образованные продукты коррозии сконцентрированы внутри металла (рис. 7).

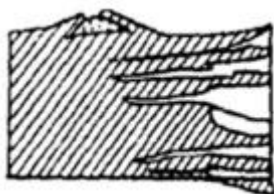


Рис. 7. Подповерхностная коррозия.

Особенно опасным видом местной коррозии является межкристаллитная коррозия, которая, внедряясь в глубину по наименее крепким границам зерен металла, не разрушает сами зерна (рис. 8).



Рис. 8. Межкристаллитная коррозия.

Ножевая коррозия – локализованная коррозия в виде специфичных надрезов, присущая области сплавления сварных швов (рис. 9).



Рис. 9. Ножевая коррозия.

Сплошная коррозия несет меньшую опасность, чем местная.

Кроме того, существует коррозионная усталость, расслаивающая коррозия и коррозионное растрескивание [3].

Определение показателей коррозии

1. Сплошная коррозия

Δm – это потеря массы на единицу площади

поверхности, $\text{кг}/\text{м}^2$, вычисляется по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S},$$

где m_0 – масса образца с коррозией (до испытаний), кг ;

m_1 – масса образца после удаления продуктов коррозии и испытаний, кг ;

S – площадь поверхности образца, м^2 .

Если в результате коррозии образовались тяжело удаляемые продукты или их удаление является нецелесообразным, то проведение количественной оценки сплошной коррозии проводят по приросту массы. Вычисление прироста массы на единицу площади поверхности производят путем вычитания из массы образца до проведения испытаний массы образца после их проведения, отнесенных к единице площади поверхности образца.

Чтобы рассчитать потерю массы металла по приросту массы образца требуется информация о составе продуктов коррозии.

Такой показатель коррозии металла в газах при повышенных температурах устанавливают по ГОСТ 6130.

Уничтожают продукты коррозии по ГОСТ Р 9.9072007.

Оценка отклонения габаритов от первоначальных производится непосредственно путем измерений разности между габаритами образца до и после испытаний, а также после устранения продуктов коррозии. Так же если есть потребность, то отклонение габаритов по уменьшению массы с учетом размеров образца, к примеру, отклонение толщины плоского образца ΔL , м , рассчитывают по следующей формуле:

$$\Delta L = \frac{\Delta m}{\rho},$$

где Δm убыток массы на единицу площади, $\text{кг}/\text{м}^2$;

ρ плотность металла, $\text{кг}/\text{м}^3$.

2. Коррозия пятнами

Площадь всех пятен оценивают планиметром (рис. 10).

Если данное измерение пятна неосуществимо, то его обрисовывают прямоугольником и рассчитывают его площадь.

Уровень разрушения поверхности металла при коррозии пятнами (G) в процентах рассчитывают по формуле:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S} \cdot 100,$$

где S_i – площадь i -того пятна, м^2 ;

n - количество пятен;

S - площадь поверхности образца, м².

Также при коррозии пятнами разрешается оценивать уровень разрушения поверхности коррозией с помощью сетки квадратов.

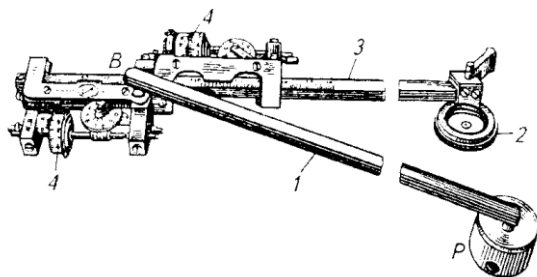


Рис. 10. Полярный планиметр с двумя счетными механизмами:

1 – полюсный рычаг; 2 – стекло обвода; 3 – обводной рычаг; 4 – счетные колеса.

3. Питтинговая коррозия

Предельную глубину проникания питтинговой коррозии квалифицируют:

- при помощи механического индикатора с передвижным игольчатым щупом измеряется промежуток между плоскостью устья и дном питтинга после удаления продуктов коррозии в случаях, когда габариты питтинга допускает выполнить беспрепятственное проникновение игольчатого щупа к его дну;
- микроскопически, после устранения продуктов коррозии замером промежутка между плоскостью устья и дном питтинга (технология двойного сосредоточения луча света) поэтапно сосредотачивали луч на край и дно очага местной коррозии при помощи оптического компьютеризированного микроскопа «НЕОРНОТ 32»;
- микроскопически при соразмерном увеличении на поперечном шлифе;
- непрерывным механическим уничтожением слоев металла установленной толщины, например, по 0,01 мм до окончательного уничтожения всех питтингов.

Принимают во внимание питтинги с поперечником устья не меньше 10 мкм. Итоговая площадь рабочей плоскости должна быть не меньше 0,005 м².

Для замера предельной глубины проникания питтинговой коррозии шлиф вырезают из зоны распределения самых больших питтингов на рабочей плоскости. Направление разреза должно охватывать как можно больше таких

питтингов.

Предельную глубину проникания питтинговой коррозии определяют как среднее арифметическое замеров самых глубоких питтингов в зависимости от их числа (n) на плоскости: при $n < 10$ замеряют 12 питтингов, при $n < 2034$, при $n > 205$.

Если питтинговая коррозия сквозная, то за предельную глубину проникновения выбирают толщину образца.

При помощи измерительных инструментов и оптических средств определяют предельный размер поперечника питтинга.

Уровень разрушения поверхности металла питтингами представляют в виде долей поверхности, захваченной питтингами, в процентах.

Если присутствует значительное число питтингов с поперечником больше 1 мм целесообразно степень поражения оценивать по п.2.

4. Межкристаллитная коррозия

Глубину проникновения межкристаллитной коррозии определяют металлографическим методом по ГОСТ 1778 на травленном шлифе, произведенном в поперечной плоскости образца, на отрезке от кромок не меньше чем 5 мм при увеличении в 50 и более раз.

Разрешается оценивать глубину проникания коррозии алюминия и алюминиевых сплавов на нетравленных шлифах. Режим травления устанавливается ГОСТ 60322003, ГОСТ 9.021 и НТД.

При межкристаллитной коррозии отклонение механических свойств, таких как временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, ударная вязкость оценивают путем соотношения свойств образцов металла, которые подвергались и не подвергались коррозии.

Механические свойства образцов металла, которые не подвергались коррозии, принимают за 100%.

При определении временного сопротивления разрыву и относительного удлинения образцы производят по ГОСТ 1497 и ГОСТ 11701, а для определения ударной вязкости – по ГОСТ 9454.

Разрешается использовать физические методы контроля глубины проникания коррозии по ГОСТ 6032.

5. Коррозионное растрескивание и коррозионная усталость

При коррозионном растрескивании и коррозионной усталости трещины обнаруживают визуально или с использованием оптических или

других дефектоскопических средств контроля.

Разрешается использование косвенных методов измерения, например, нахождение усиления электрического сопротивления образца.

Отклонение механических свойств определяют по п.4.

6. Расслаивающая коррозия

При расслаивающей коррозии уровень разрушения поверхности обозначает долей в процентах площади с отделениями слоев на каждой поверхности образца по ГОСТ 9.904.

Общее расстояние торцов с трещинами для каждого образца (L) в процентах определяют по формуле:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\Pi} \cdot 100,$$

где L_i - расстояние участка торца, пораженного трещинами, м;

Π - периметр образца, м.

В качестве абстрагированного полуколичественного (бального) показателя расслаивающей коррозии разрешено применять балл условной шкалы по ГОСТ 9.904.

Физические методы управления межкристаллитной коррозией [4]

1. Ультразвуковой метод

Ультразвуковой метод управления межкристаллитной коррозией базируется на принципе распространения ультразвуковых колебаний в местах металлических изделий, подвергшихся межкристаллитной коррозии.

Для проверки на наличие межкристаллитной коррозии возможно использование импульсного ультразвукового прибора с настройкой частот ультразвука от 0,5 до 510 МГц, к примеру, УС13И. Проверку следует осуществлять наклонными преобразователями, направляющими в металл поверхностные или сдвиговые ультразвуковые волны.

Преобразователи необходимо разместить на определенном расстоянии друг против друга (не меньше 50 мм).

В роли среды для соприкосновения рационально использовать трансформаторное масло. Режим работы прибора настраивается по проверочному образцу, который не подвергался межкристаллитной коррозии, так, чтобы амплитуда сигнала при этом была примерно 40 мм. Глубину коррозии определяют по отклонению амплитуды ультразвукового сигнала по причине его рассеи-

вания на участках металла, подвергшихся межкристаллитной коррозии. Для того чтобы количественно оценить глубину коррозии был создан относительный ультразвуковой метод в нескольких вариантах.

Вариант 1

За коэффициенты степени распространения ультразвуковых колебаний, при помощи которых производят оценку глубины прокорродированного слоя, принимают отношения амплитуд эхосигналов при ультразвуковом контроле образцов с всевозможной глубиной коррозии и без коррозии при установленной частоте ультразвука и при постоянном коэффициенте усиления прибора. Называются данные отношения коэффициентами межкристаллитной коррозии ($K_1, K_2, \dots, K_n$). Высчитывают их по следующим формулам:

$$K_1 = \frac{Ah_1}{A_0}, K_2 = \frac{Ah_2}{A_0}, \dots, K_n = \frac{Ah_n}{A_0},$$

где Ah_1, Ah_2, Ah_n - амплитуда сигналов при контроле образцов с различной глубиной межкристаллитной коррозии;

A_0 - амплитуда сигнала при контроле образца без коррозии.

Вариант 2

За коэффициенты степени распространения ультразвуковых колебаний в металле, при помощи которых производят оценку глубины прокорродированного слоя, принимают отношения амплитуд эхосигналов при прозвучивании металла на разных частотах ультразвука при постоянном коэффициенте усиления. Коэффициенты межкристаллитной коррозии ($K_1, K_2, K_3, \dots$) в этом случае высчитывают по следующим формулам:

$$K_1 = \frac{Af_1}{Af_1}, K_2 = \frac{Af_2}{Af_1}, \dots, K_3 = \frac{Af_3}{Af_1},$$

где Af_1, Af_2, Af_3 - амплитуда сигналов при заданном коэффициенте усиления и частотах соответственно f_1, f_2, f_3 ; при $f_1 < f_2 < f_3$ частота ультразвуковых колебаний выбирается таким образом, чтобы $Af_1 \neq 0$ для максимального поражения металла межкристаллитной коррозией.

Величина коэффициентов для данной марки металла, а также режима его термообработки, благодаря которому обеспечивается приближенно сходные размеры зерен, при постоянном коэффициенте усиления предопределяется глубиной межкристаллитной коррозии металла.

Таким образом, определив эти коэффици-

енты при помощи контрольных образцов с установленной глубиной коррозии, можно с большой точностью оценивать ультразвуковым методом глубину коррозии. Значение коэффициента межкристаллитной коррозии снижается от 1 до 0 при повышении глубины коррозии, а восприимчивость контроля увеличивается с ростом частоты ультразвука. При этом допустимо надежное выявление начальной стадии межкристаллитной коррозии при ее проникании на глубину 10 - 25 мкм.

Также есть возможность определения глубины межкристаллитной коррозии измерением коэффициента затухания ультразвуковых колебаний в слоях металла, подвергшихся коррозии.

2. Метод вихревых токов

Метод обнаружения глубины межкристаллитной коррозии вихревыми токами базируется на принципе возбуждения вихревых токов на проверяемом участке изделия и значительной их зависимости от электропроводности металла.

Суть метода включает в себя следующее: воздействию магнитного поля катушки, которая питается переменным током, подвергают обследуемую зону поверхности образца. Наряду с этим в поверхностном слое возбуждаются вихревые токи, которые создают магнитное поле, по знаку противоположное полю катушки. Согласование магнитного поля катушки (с высокой частотой) с полем образованным вихревыми токами приводит к отклонению полного импеданса катушки, что является причиной изменения фазы и амплитуды колебаний в катушке.

Для того чтобы осуществлять контроль глубины межкристаллитной коррозии рекомендуется применять токовихревые приборы с диапазоном частоты электромагнитных колебаний 500 кГц - 2 МГц (вихретоковый дефектоскоп КОН-СТАНТА ВД1, поточный вихретоковый дефектоскоп ВД92НП, вихретоковый дефектоскоп ВЕКТОР50).

Для того, чтобы произвести оценку межкристаллитной коррозии, надлежит заранее вычертить градуировочную кривую. Для вычерчивания кривой предварительно готовят набор образцов из стали данной марки с разной глубиной коррозии в следствии различного времени их кипячения в эталонном растворе. Данные измерительного прибора для отдельных зон этих образцов сравнивают с данными металлографического исследования.

При построении градуировочных графиков необходимо отрегулировать прибор на опти-

мальный режим так, чтобы при измерениях использовался весь диапазон шкалы прибора.

Так все градуировочные кривые будут иметь нижний предел измерений, полученный на образце, который не был подвергнут межкристаллитной коррозии, и верхний предел измерения, полученный на контрольном образце с предельной глубиной разрушения поверхности межкристаллитной коррозией для определенной серии измерений. После того как построена градуировочная кривая, для оценки глубины проникновения межкристаллитной коррозии необходимо лишь установить преобразователь на поверхность исследуемого образца, подсчитать по шкале прибора и определить глубину коррозии по градуировочной кривой для данной марки стали.

По ходу контроля необходимо повторять проверку установки прибора на нуль на образце без коррозии. Диапазон измерений глубины межкристаллитной коррозии токовихревыми приборами от 10 - 20 до 200 - 500 мкм.

3. Цветной метод

Цветной метод обнаружения межкристаллитной коррозии образован на капиллярном проникании хорошо смачивающей жидкости в повреждения на поверхности металла. Суть метода состоит в том, что на исследуемую поверхность металла накладывается слой окрашенной жидкости индикаторный пенетрант (керосин массовая доля $(80,0 \pm 0,2) \%$, скипидар массовая доля $(20,0 \pm 0,2) \%$, краситель жирорастворимый темно-красный: Ж (судан IV) массой $(15,0 \pm 0,1) \text{ г}$ на $(1000 \pm 3) \text{ см}^3$ объема жидкости или "Родамин С" массой $(30,0 \pm 0,1) \text{ г}$ на $(1000 \pm 3) \text{ см}^3$ объема этилового технического спирта).

Под влиянием капиллярных сил пенетрант просачивается в поверхностные повреждения.

Спустя какое-то время после наложения жидкость удаляют с поверхности металла. Затем под воздействием абсорбирующего порошка, которым покрывают деталь, индикаторный пенетрант выходит на поверхность в точках расположения повреждений. До проведения исследования поверхность металла или изделия из него зачищают бензином. Далее распылителем или кистью покрывают пенетрантом три - четыре раза так, чтобы вся исследуемая поверхность была щедро покрыта им. Небольшие изделия окунают в ванну, содержащую пенетрант.

Процесс погружения в пенетрант продолжается 8-10 мин.

Затем поверхность металла очищают вод-

ным раствором кальцинированной соды массовой долей $(5,0 \pm 0,1) \%$ и вытирают насухо. При помощи распылителя уже сухая поверхность покрывается тонким слоем белого покрытия (проявителя) имеющего следующий состав:

вода объемом $(600 \pm 1) \text{ см}^3$, спирт объемом $(400 \pm 1) \text{ см}^3$, мел массой $(300,0 \pm 0,1) \text{ г}$ на $(1000 \pm 3) \text{ см}^3$ объема жидкости;

при применении родоминового красителя на $(1000 \pm 3) \text{ см}^3$ объема ацетона берут $(250 \pm 1) \text{ г}$ массы мела.

Отделившаяся из повреждений жидкость красит покрытие в красный цвет. При предельной глубине межкристаллитной коррозии покрытие краснеет уже через 12 мин. Коррозия проявляется в виде небольшой сетки или беспрерывного покраснения покрытия на прокорродировавших зонах металла. По уровню покраснения можно ориентировочно оценить глубину коррозии. Если есть необходимость зафиксировать результаты исследования, может быть применено белое покрытие следующего состава: массовая доля коллодия на жирноспиртовой смеси $(70,0 \pm 0,2) \%$, массовая доля бензола $(20,0 \pm 0,1) \%$, массовая доля ацетона $(10,0 \pm 0,1) \%$, масса густотертых цинковых белил $(50,0 \pm 0,1) \text{ г}$ на $(1000 \pm 3) \text{ см}^3$ объема смеси.

Данное покрытие после высыхания оставляет легкую пленку.

С данными покрытиями работу необходимо вести в хорошо вентилируемом помещении при строгом соблюдении мер противопожарной безопасности.

Применение цветного метода дает возможность выявлять начальные стадии межкристаллитной коррозии при ее распространении на глубину 10 - 15 мкм и более.

Металлографический метод определения коррозионных разрушений [3]

Сущность метода

Метод построен на установлении типа коррозии, формы коррозионного разрушения, распределения коррозионного разрушения в металлах, сплавах и защитных металлических покрытиях (далее материалах) при помощи сопоставления с соответствующими типовыми формами, а также замера глубины коррозионного разрушения на металлографическом шлифе.

Образцы

Место отбора образцов из исследуемого материала определяют на основании результатов визуального (невооруженным глазом или при

помощи лупы) осмотра поверхности или неразрушающей дефектоскопии.

Образцы отбирают из следующих мест материала:

а) если коррозией повреждена только часть поверхности материала, образцы отбирают в трех местах: из части, поврежденной коррозией; из части, не поврежденной коррозией, и на участке между ними;

б) если есть зоны поверхности материала с разными видами коррозии или с разной глубиной коррозионного разрушения, образцы отбирают из всех участков, поврежденных коррозией;

с) если на поверхности материала есть только один тип коррозионного разрушения, образцы отбирают не менее чем из трех специфических участков исследуемого материала.

Если есть необходимость, то отбирают не менее одного образца из не менее пяти функционально требуемых зон исследуемого материала. Габариты образца устанавливают исходя из габаритов зоны коррозионного разрушения.

Образцы вырезают так, чтобы плоскость шлифа была перпендикулярна исследуемой поверхности.

Метод изготовления не должен воздействовать на структуру металла и уничтожать поверхностный слой и кромки образца. Для металлов с защитными покрытиями не допускается повреждение покрытия и отделение его от основного металла.

Маркировка образца – по ГОСТ Р 9.9052007.

При производстве металлографического шлифа с поверхности образца устраняют все последствия вырезки, к примеру, шероховатости.

При проведении шлифовки и полировки шлифа следует наблюдать за тем, чтобы не поменялся характер и габарит коррозионного разрушения. У кромок шлифа в зонах коррозионного разрушения не должно быть скруглений.

Разрешаются скругления, не воздействующие на точность установления коррозионного разрушения. Для этого рекомендуется покрывать образец заливной массой таким образом, чтобы рассматриваемая кромка находилась на расстоянии не меньше 10 мм от края шлифа. При помощи алмазных паст производят непродолжительную полировку.

Производят оценку шлифа до и после травления. Благодаря травлению есть возможность определить отличие между коррозионным разрушением и структурой материала. В ходе травления нельзя допускать изменений характера и габаритов коррозионного разрушения.

Проведение испытания

Установление и определение типа коррозии, очертаний коррозионного разрушения и его распространения в материале.

При осуществлении испытаний надлежит принимать во внимание химический состав исследуемого материала, метод его обработки, а также все коррозионные обстоятельства.

Исследование осуществляют на металлографическом шлифе под микроскопом при увеличении 50, 100, 500 и 1000 $\times$.

При оценивании типа коррозии обследование коррозионного разрушения осуществляют по всей длине шлифа.

Разрешено устанавливать несколько типов коррозии на одном образце.

При проведении испытаний защитных покрытий оценивание типа коррозии покрытия и основного материала осуществляют отдельно.

Если кроме коррозионной среды на материал влияют и другие факторы, сказывающиеся на перемене структуры материала, к примеру, повышенная температура, механические влияния, коррозионное разрушение устанавливают путем сопоставления материала с определенным образцом, подвергнутым воздействию подобных факторов, но защищенным от влияния коррозионной среды.

При проведении оценки формы коррозионного разрушения и установления типа коррозии производят сравнение с типовыми схемами изображения.

Сплошная (равномерная) коррозия - очертания коррозионного разрушения, изображенные на рис. 11а и рис. 11б различаются только неравномерностью поверхности. По отклонению очертания поверхности до и после коррозионного испытания обнаруживают присутствие коррозии: она определяется отклонением массы и габаритов образцов до и после коррозионного испытания.

Очертание, изображенное на рис. 11в может быть переходным между сплошной и избирательной коррозией, например, как на рис. 19в, рис. 19г и рис. 19е.

Тип коррозии уточняется по отклонениям ее очертаний в зависимости от времени влияния коррозионной среды и по структуре металла.

2. Местная (неравномерная) коррозия - по очертанию схожа со сплошной коррозией, но различается тем, что коррозии подвержена определенная доля поверхности или же коррозия проходит на определенных участках с различной скоростью.

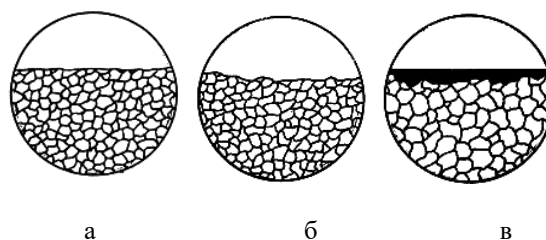


Рис. 11. Схема типичного вида коррозионного разрушения при сплошной коррозии.

3. Коррозия пятнами - незначительное коррозионное разрушение с искаженным очертанием; габариты его площади в случае незначительного роста может превзойти габариты поля зрения. На рис. 12 изображена схема коррозионного поражения при коррозии пятнами.

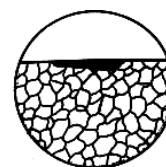


Рис. 12. Схема типичного вида коррозионного разрушения при коррозии пятнами.

4. Коррозионная язва - коррозионное разрушение глубиной примерно пропорциональное ширине. На рис. 13 изображена схема коррозионного поражения при коррозионной язве.

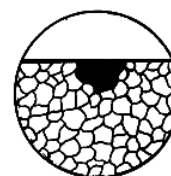


Рис. 13. Схема типичного вида коррозионного разрушения при коррозионной язве.

5. Питтинговая коррозия - коррозионное разрушение глубиной гораздо больше ширины. На рис. 14 изображена схема коррозионного разрушения при питтинговой коррозии.

6. Подповерхностная коррозия - коррозионное разрушение, специфичное тем, что захватывает малую площадь поверхности и концентрируется главным образом под поверхностью металла, изображена на рис. 15а; очертание коррозионного разрушения, отдельные участки которого располагаются под поверхностью и как правило не имеют зримого непосредственного выхода на поверхность, изображена на рис. 15б и

рис. 15в.

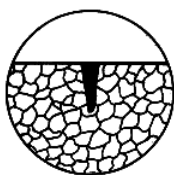


Рис. 14. Схема типичного вида коррозионного разрушения при питтинговой коррозии.

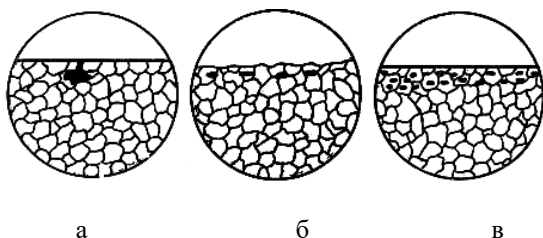


Рис. 15. Схема типичного вида коррозионного разрушения при подповерхностной коррозии.

7. Слойная коррозия - коррозионное разрушение, внутренние слои которого содержат в себе зерна разных размера, всевозможных фаз, различные включения, выделения и др. На рис. 16 изображена схема коррозионного разрушения при слоевой коррозии.



Рис. 16. Схема типичного вида коррозионного разрушения при слоевой коррозии.

8. Межкристаллитная коррозия - коррозионное разрушение, отличающееся присутствием прокорродировавшего участка вдоль границ зерен металла, к тому же могут быть задеты границы всех зерен или же только отдельных зерен. На рис. 17 изображена схема коррозионного разрушения при межкристаллитной коррозии.

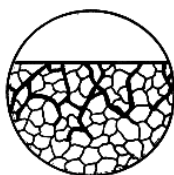


Рис. 17. Схема типичного вида коррозионного разрушения при межкристаллитной коррозии.

9. Транскристаллитная коррозия - коррозионное разрушение, отличающееся присутствием немалого количества транскристаллитных трещин. На рис. 18 изображена схема коррозионного разрушения при транскристаллитной коррозии.

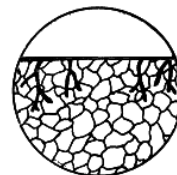


Рис. 18. Схема типичного вида коррозионного разрушения при транскристаллитной коррозии.

10. Избирательная коррозия – коррозионное разрушение, которому подвергается определенная структурная фаза или компонент, изображена на рис. 19а. Если фаза сформирована эвтектикой, оценивают, прокорродировала вся эвтектика или какая-то определенная ее составляющая, например, цементит; коррозионное разрушение, которому подвергается определенная фаза металла без непосредственного соприкосновения с прокорродировавшей поверхностью, изображена на рис. 19б. В этом случае выясняют, корродируют ли фазы по границам зерен или внутри зерен основной конфигурации. Далее выясняют, не различаются ли границы между корродирующими фазами от прочих границ (наличие фазы, разрывов).

Из этого приходят к выводу, коррозия распространяется по границам зерен или проникает по всему объему зерен; коррозионное разрушение, которое воздействует на отдельные зерна, физическое состояние которых трансформировалось, к примеру, в результате деформации, изображена на рис. 19в; коррозионное разрушение, которое воздействует только на деформируемые части зерен, при этом сформировавшаяся зона коррозионного разрушения уже, чем одно зерно и проникает через несколько зерен, изображена на рис. 19г. Также устанавливают, оказала ли какое либо влияние деформация на перемены в структуре металла, к примеру, трансформация аустенита в мартенсит; коррозионное разрушение в виде зоны с цепью отдельных включений. При этом устанавливают потенциальные изменения в структуре данной зоны, изображена на рис. 19д; коррозионное разрушение в форме большой зоны вдоль границы зерна, изображена на рис. 19е. Данное очертание может быть переменным и его нельзя относить к межкристаллитной коррозии. Ему свойственно то, что оно не просачивается в глубину металла. Наиболее

верно ее можно установить по переменам в очер-тании разрушения коррозией в связи со време-нем коррозионного воздействия и по разграниче-нию состава частиц в корродирующем сплаве; коррозионное разрушение, в следствии которого формируется новая фаза металлического вида, имеющая возможность снижать прочность ме-талла, изображена на рис. 19ж; коррозионное раз-рушение, в следствии которого вносится измене-ние в химический состав фазы при сохранении ее формы и расположения, к примеру, графитиза-ция пластин цементита в чугунах, обесцинкова-ние латуни и др, изображена на рис. 19з. В зоне данного преобразования могут формироваться и другие продукты коррозии, например, окислы.

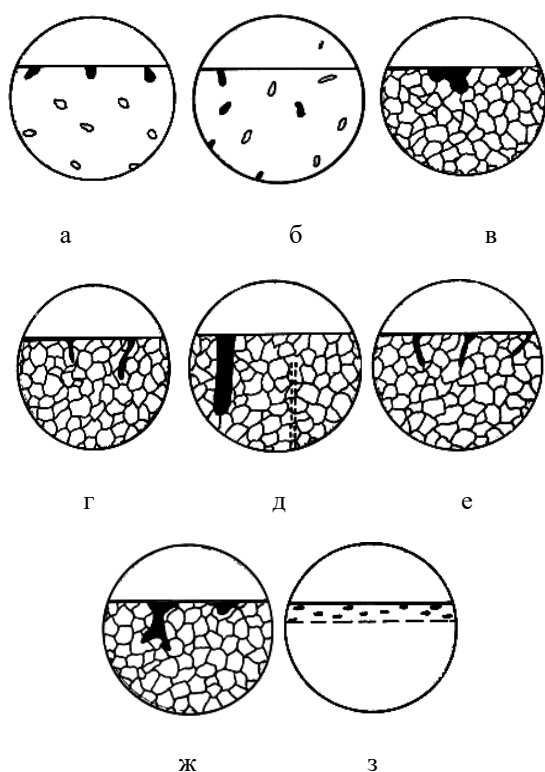


Рис. 19. Схема типичного вида коррозионного разру-шения при избирательной коррозии.

11. Коррозия в виде редких трещин - корро-зийное разрушение, в следствии которого фор-мируется глубокая, немного ветвистая трещина, обширная рядом с поверхностью и понемногу трансформирующаяся в небольшую ширину, изображена на рис. 20а. Трещина наполнена про-дуктами коррозии; коррозионное разрушение в форме глубокой трещины небольшой ширины, распространяющейся из коррозионной язвы на поверхности, изображена на рис. 20б. Трещина может обладать ветвистым очертанием; корро-

зийное разрушение, в следствии которого фор-мируется межкристаллитная трещина неболь-шой ширины при отсутствии продуктов корро-зии, изображена на рис. 20в. По сопоставлению с межкристаллитной коррозией имеет вид ма-лого количества (нечастых) трещин; коррозий-ное разрушение, в следствии которого формиру-ется транскристаллитная трещина небольшой ширины с большим количеством разветвлений, изображена на рис. 20г. По сопоставлению с транскристаллитной коррозией имеет вид ма-лого количества (нечастых) трещин. Отдельные трещины могут иметь тип отчасти транскристал-литного и отчасти межкристаллитного корро-зийного разрушения; коррозионное разрушение, в следствии которого формируются трещины не-большой ширины, имеющие вид нитей, в боль-шей степени параллельные поверхности и обра-зующие зону окончательной глубины, изобра-жена на рис. 20д. Их нельзя причислить к схо-жим трещинам, сформировавшимся в результате деформации или некачественной обработки об-разца; коррозионное разрушение в виде мелких по большей части коротких трещин внутри отдель-ных зерен, изображена на рис. 20е. Трещины мо-гут сформироваться, к примеру, в результате воз-действия молекулярного водорода, высокого напряжения, коррозии конкретной фазы.

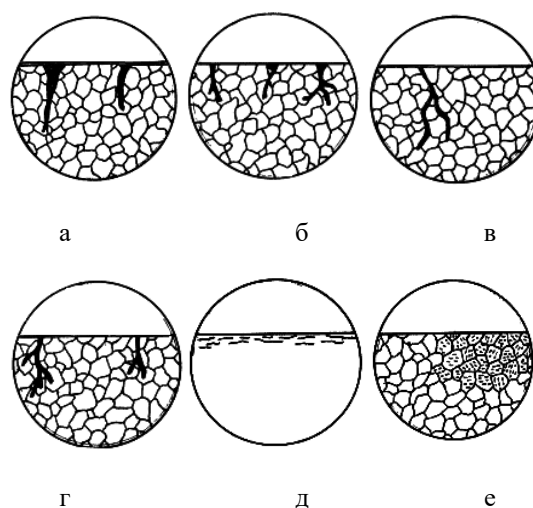


Рис. 20. Схема типичного вида коррозионного разру-шения при коррозии в виде редких трещин.

Сосредоточение коррозионного разрушения в материале определяют путем сопоставления с типовыми схемами изображения.

1. Равномерно распределенное коррозионное разрушение, представлено на рис. 21.

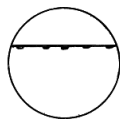


Рис. 21. Схема типового распределения коррозионного разрушения при равномерно распределенном коррозионном поражении.

2. Неравномерно распределенное коррозионное разрушение, представлено на рис. 22.

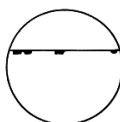
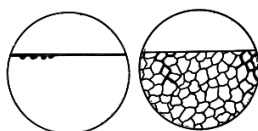


Рис. 22. Схема типового распределения коррозионного разрушения при неравномерно распределенном коррозионном поражении.

3. Коррозионное разрушение в виде скоплений, представлено на рис. 23а и рис 23б.

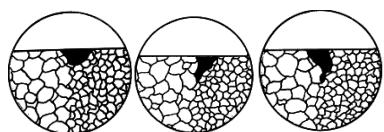


а

б

Рис. 23. Схема типового распределения коррозионного разрушения при коррозионном поражении в виде скоплений.

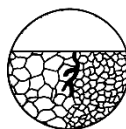
4. Коррозионное разрушение на границе двух структур, представлено на рис. 24а, рис. 24б, рис. 24в, рис. 24г.



а

б

в



г

Рис. 24. Схема типового распределения коррозионного разрушения при коррозионном поражении в виде скоплений:

а – корродируют обе структуры; б, в – корродирует только одна структура; г – корродирует только узкая зона вдоль границы.

Измерение глубины коррозионного разрушения

Глубину коррозионного поражения оценивают на микрометаллографическом шлифе при помощи окулярной шкалы и микрометрического винта микроскопа.

Глубину коррозионного поражения оценивают по разнице в толщине металла прокорродировавшей зоны на поверхности шлифа и зоны поверхности без наличия коррозии или установлением глубины повреждения от поверхности, не поврежденной или несущественно поврежденной коррозией.

При диагностике материала с предохранительным покрытием итог замера глубины коррозионного разрушения покрытия и основного металла оценивают отдельно.

В случае если вся поверхность образца подверглась коррозии и глубина коррозионного разрушения на отдельных участках поверхности значительно не отличается, к примеру в случае межкристаллитной или транскристаллитной коррозии, глубину коррозионного разрушения определяют не меньше чем на десяти зонах поверхности.

У образцов крупных габаритов измерения осуществляются не меньше чем на десяти зонах на каждые 20 мм длины проверяемой поверхности, принимая во внимание самые глубокие разрушения.

При местном коррозионном разрушении (к примеру, питтинговая коррозия или коррозия пятнами) замеры производят в месте где установлено коррозионное разрушение, причем количество зон для замеров может различаться с требованиями, приведенными ранее.

Для детальной оценки предельной глубины коррозионного разрушения после металлографической оценки шлифов производят их вторичную отшлифовку:

- у образцов с местным коррозионным разрушением, к примеру, коррозия пятнами или питтинговая коррозия, до предельной глубины коррозионного разрушения, т.е. до момента, когда вымеренная глубина меньше, чем предыдущий результат замеров;
- у образцов с приблизительно идентичной глубиной коррозионного разрушения на отдельных зонах поверхности после оценки производят отшлифовку и делают новый металлографический шлиф, на котором вновь производят оценку коррозионного разрушения.

Точность при замере глубины коррозионного

разрушения не менее $\pm 90\%$.

Вывод

Рациональное применение приборов и методов для выявления видов коррозии позволяют своевременно определять степени износа, решать вопросы о способах ремонта и возможности продления сроков эксплуатации оборудования. Проведением углубленного анализа о коррозионном воздействии на металлы можно установить частоту проведения обследований оборудования и выдавать рекомендации для технической документации.

Список литературы

1. Наumenko А.П. Методы технической диагностики: Материалы лекций. – Омск: ОмГТУ, 2016. – 125 с.
2. Классификация коррозионных процессов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studref.com/427341/stroitelstvo/klassifikatsiya_korrozionnyh_protseessov
3. ГОСТ 9.908-85 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007383>
4. ГОСТ 6032-89 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://focdoc.ru/article/a-3004-21.html>

References

1. Naumenko A.P. Methods of technical diagnostics: Materials of lectures. - Omsk: OmGTU, 2016. - 125 p.
2. Classification of corrosion processes [Electronic resource]. Access mode: https://studref.com/427341/stroitelstvo/klassifikatsiya_korrozionnyh_protseessov
3. GOST 9.908-85 [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200007383>
4. GOST 6032-89 [Electronic resource]. Access mode: <https://focdoc.ru/article/a-3004-21.html>

ФИЗИКА В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 53:004:378.016

Использование компьютерной эмуляции для изучения физики студентами – атомщиками

В.В. Довгаленко

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33 г. Севастополь, 299053,
Россия, vvdovgalenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 24.11.2022 г.; после доработки 25.11.2022 г.

Аннотация

В наше время компьютерные технологии плотно внедрены в повседневную жизнь, они используются везде: в учёбе, работе и просто отдыхе. Также интересно их применение в учебном процессе, ведь они могут не только повысить усвояемость материала, но и дать образование тем, кому оно раньше было недоступно. В связи с этим возникают вопросы: могут ли компьютерные программы заменить преподавателей? Насколько сложен процесс их разработки?

Ключевые слова: физика, компьютерная эмуляция, обучение без преподавателей.

Using computer emulation to study physics for nuclear students

V.V. Dovgalenko

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russia,
vvdovgalenko@mail.sevsu.ru

Received 24.11.2022 y.; received in final form 25.11.2022 y.

Annotation

Nowadays, computer technologies are tightly embedded in everyday life, they are used everywhere: in school, work and just rest. It is also interesting to use them in the educational process, because they can not only increase the digestibility of the material, but also give education to those who were previously inaccessible to it. In this regard, questions arise: can computer programs replace teachers? How complex is the process of their development?

Keywords: physics, computer emulation, teaching without teachers.

Введение

Технологии все больше влияют на нашу жизнь, так как большая часть человеческой деятельности осуществляется с их помощью. В мире, насыщенном компьютерами, которые стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, мы учимся, работаем и веселимся. В наше время люди предпочитают использовать планшеты, телефоны и компьютеры, а не традиционные методы общения.

Технологические изменения меняют все - от того, как люди работают, до того, как они взаимодействуют и проводят вместе свое свободное

время.

Сейчас студенты используют преимущества компьютерных технологий для развлечений, общения и обучения. Поэтому учебные заведения должны быть оборудованы соответствующими техническими средствами. Технологии в образовании – это инструмент, который помогает преподавателям эффективнее доносить информацию.

Быстрое развитие компьютеров, которые являются технологическим чудом, также повлияло на нашу систему образования в последние годы, потребовав внесения некоторых важных изменений в нашу систему образования. Использование

новых технологий в образовании облегчает учебную деятельность за счет вовлечения большего количества органов чувств, чем традиционные методы.

Поэтому информационно-коммуникационные технологии должны максимально использоваться в процессе обучения. Их использование обогатит стратегии преподавания, а также улучшит качество обучения студентов. Следует поощрять использование преимуществ компьютерных программ при сборе, организации и классификации своих данных, при написании, редактировании и представлении своих результатов.

Тот факт, что компьютеры обеспечивают активное участие учащихся в образовании за счет учета индивидуальных различий в образовательной среде, привел к постановке вопроса о компьютерном обучении. Компьютерное обучение – это способ преподавания, который сочетает в себе принципы самообучения с компьютерными технологиями.

Компьютерное обучение также можно описать как деятельность, в которой учащиеся взаимодействуют с запрограммированными в компьютере занятиями, в то время как преподаватель выступает в качестве гида, а компьютер играет роль среды. В компьютерном образовании компьютер используется как инструмент обучения, который помогает преподавателю, беря на себя некоторые образовательные функции, а также как среда, в которой происходит обучение. При таком использовании компьютер не может заменить другие компоненты системы образования, такие как книги, друзья и преподаватели. Следует подчеркнуть, что компьютер – это инструмент, помогающий преподавателю, такой же, как другие образовательные инструменты, например, книги, плакаты, фильмы и т.д. Компьютер может быть помощником преподавателя и сделать обучение более ориентированным на учащихся.

Постановка задачи

Разработать программу, эмулирующую выстрел из оружия, демонстрирующую процесс выстрела и выводящую пользователю угол отклонения подвижной мишени. Провести лабораторную работу среди студентов атомных станций и закрепить результат опросом.

Основная часть

Образовательное программное обеспече-

ние, используемое в компьютерном образовании, сделало преподавание более увлекательным и облегчило преподавание. Эти образовательные программные средства являются высокоэффективными приложениями, которые обеспечивают мульти-обучающую среду и вовлекают учащихся в занятия. Программные средства делятся на следующие типы:

1. Учебное программное обеспечение: предоставляет учащимся все необходимые знания и учебные действия, основанные на конкретных целях обучения.
2. Программное обеспечение для упражнений и практики: позволяет учащимся запоминать и практиковать пройденный материал.
3. Симуляционное программное обеспечение: моделирует реальную жизнь.
4. Программное обеспечение для решения проблем: разработано для того, чтобы предоставить учащимся навыки решения проблем.
5. Обучающие игры: предоставляет игровые функции для учебной деятельности и направлено на повышение уровня мотивации учащихся.

Созданная программа относится к двум группам: обучающие игры и симуляционное программное обеспечение.

Программа была создана с целью развития у студентов атомных станций более глубокого подхода к изучению физики, в частности, законов сохранения энергии и импульса. Предполагалось, что студенты будут лучше понимать изучаемый материал, выполняя виртуальную лабораторную работу.

При запуске пользователя встречает рабочая область, состоящая из зоны опытов, зоны выбора оружия и поля с результатами эксперимента. Стартовое окно программы представлено на рисунке 1.

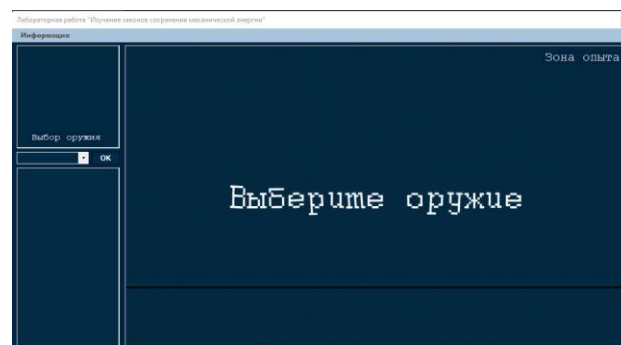


Рис. 1 Стартовое окно программы.

Ознакомиться с порядком выполнения лабораторной работы обучающиеся могут, перейдя во вкладку «О работе».

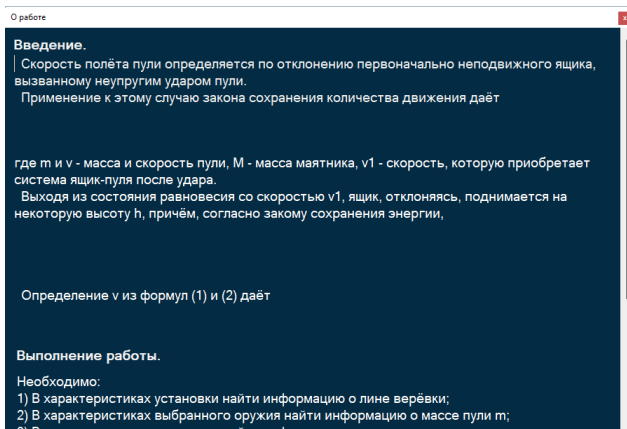


Рис. 2. Вкладка «О работе».

Здесь приведены краткие теоретические сведения, порядок выполнения, а также основная формула для вычисления скорости пули, выведенная из законов сохранения энергии и импульса:

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh},$$

где v – скорость пули; M – масса ящика, используемого в виртуальной установке; m – масса пули; g – ускорение свободного падения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$; h – высота, на которую поднимается ящик при столкновении с пулей.

После ознакомления с порядком выполнения лабораторной работы, студент может приступить к её выполнению, вернувшись в главное меню.

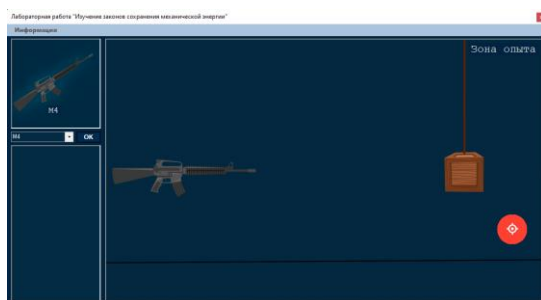


Рис. 3. Выбор оружия.

На выбор обучающемуся предоставляется три вида оружия. Выбрав необходимое, он может нажать на кнопку «Огонь» и совершить выстрел, по завершению которого в поле с результатами выведется угол отклонения ящика. С помощью полученных данных и предоставленных

значений во вкладке «О работе», студент может вычислить скорость пули в данном опыте. Выполнив по указанию преподавателя необходимое количество опытов для каждого оружия, обучающийся может приступить к обработке полученных данных: сравнить усреднённые полученные результаты с табличными. Тактико-технические характеристики каждого оружия представлены во вкладке «Об оружии».

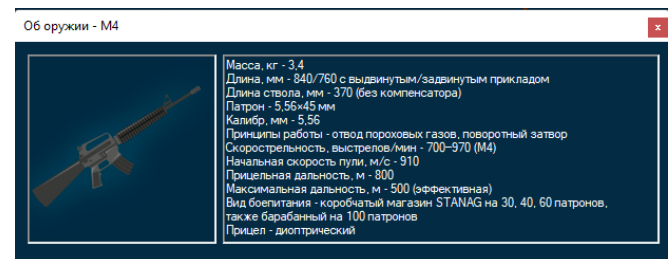


Рис. 4. Вкладка «Об оружии».

Заключение

Чтобы оценить удобство использования разработанной программы, а также ответа на поставленные вопросы о возможности замены преподавателей компьютерной программой и сложности разработки таких симуляторов, был проведён опрос среди студентов атомных станций. В нём приняло участие 100 человек.

Первый вопрос касался трудности восприятия информации при использовании только компьютерной программы. 90% опрошенных указали на отсутствие сложностей материала, 10% - не смогли самостоятельно разобраться в поставленной задаче. После оказалось, что все испытуемые, не справившиеся с лабораторной работой, отсутствовали на предшествующей лекции по этой теме. На основании этого, можно сделать вывод, что для усвоения материала, необходимо участие преподавателя.

Во втором вопросе у студентов узнавали их мнение о таком подходе к обучению. 100% опрошиваемых были довольны таким способом изучения материала, что говорит о целесообразности создания подобного программного обеспечения.

В результате проделанной работы стало понятно, что производство обучающего программного обеспечения не требует больших финансовых и временных ресурсов. Использование цифровых технологий значительно повышает скорость усваивания пройденного материала, но не заменяет преподавателя, а является всего лишь дополнением.

Список литературы

1. Эрдолатов С., Повышение качества образования с использованием информационных технологий студентов с техническим направлением и результаты эксперимента / Эрдолатов С. // ALATOO ACADEMIC STUDIES – Бишкек, 2016. – № 3, с. 275-281
2. Тимощук Е.А., Цифровизация в условия пандемии: онтология сложности, возможности, риски / Тимощук Е.А., Тимощук А.С., Тьяги Владимир Р. // Юрист ВУЗа – Москва, 2021. – № 9, с. 12-19
3. Кожушко В.И., Кожушко Е.А. Платформенное образование и роль современного преподавателя в цифровой трансформации обучения / Кожушко В.И., Кожушко Е.А. // Вестник башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы – Уфа, 2021. – № 3 (60), с. 163-176

References

1. Erdolatov S., Improving the quality of education using information technology for students with a technical direction and the results of the experiment / Erdolatov S. // ALATOO ACADEMIC STUDIES – Bishkek, 2016. – No. 3, pp. 275-281
2. Tymoshchuk E.A., Digitalization in the conditions of a pandemic: ontology of complexity, opportunities, risks / Tymoshchuk E.A., Tymoshchuk A.S., Tyagi Vladimir R. // Lawyer of the University – Moscow, 2021. – No. 9, pp. 12-19
3. Kozhushko V.I., Kozhushko E.A. Platform education and the role of a modern teacher in the digital transformation of learning / Kozhushko V.I., Kozhushko E.A. // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla – Ufa, 2021. – № 3 (60), pp. 163-176

УДК 53:37.018.43

Дистанционное преподавание физики в ВУЗе для студентов направления подготовки «Атомные станции»

В.В. Довгаленко

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33 г. Севастополь, 299053, Россия, vvdovgalenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 24.11.2022 г.; после доработки 25.11.2022 г.

Аннотация

В статье изучаются особенности преподавания физики в ВУЗе у студентов на направлении 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». Производится анализ данного формата, выделяются его положительные и негативные аспекты. Представляются основные методы преподавания физики в режиме онлайн. На основе статистических данных формируется отношение студентов и педагогов к обучению в дистанционном формате. Формулируются основные проблемы связанные с дистанционным образованием.

Ключевые слова: дистанционное обучение, преподавание, высшее образование, физика

Distance teaching of physics at a university for nuclear students

V.V.Dovgalenko

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russia

Received 24.11.2022 y.; received in final form 25.11.2022 y.

Annotation

The article studies the peculiarities of teaching physics at the university to students in the direction of 14.05.02 "Nuclear power plants: design, operation and engineering". The analysis of this format is carried out, its positive and negative aspects are highlighted. The main methods of teaching physics online are presented. On the basis of statistical data, the attitude of students and teachers to distance learning is formed. The main problems related to distance education are formulated.

Keywords: distance learning, teaching, higher education, physics

Введение

В связи с распространением коронавирусной инфекции в 2020 году абсолютное большинство ВУЗов страны приняло решение перейти на дистанционный формат обучения. Это вынужденная мера, которая была обусловлена необходимостью обеспечить непрерывность учебного процесса и освоение учебной программы в полном объёме.

Но главный вопрос: изменилось ли при этом качество преподавания и освоение материала с переходом на новый формат?

Постановка задачи

Основной целью данной работы является выявление особенностей преподавания физики в дистанционном режиме у студентов-атомщиков, а также выявление основных проблем и факторов, влияющих на учёбу, с использованием информационных технологий.

Специфика обучения в формате онлайн

Об эффективности обучения в дистанционном формате дебаты не прекращаются. Так, не-

давние исследования Рурского университета показали, что онлайн-формат обучения становится причиной пониженной мотивации, проблем с концентрацией, снижением умственной активности у большинства студентов. Подтверждением стал эксперимент, проведённый с группой студентов-медиков, которые изучали один и тот же курс по микроскопической анатомии либо очно, либо в дистанционном режиме. В течение занятий проходили измерения сердечного ритма, а по окончании лекции у испытуемых брали образцы слюны. Исходя из полученных результатов, был сделан вывод: физическое возбуждение во время онлайн-занятий в значительной степени было снижено, что свидетельствует о пониженной активности мозга. Обучение в таком режиме в скором времени становилось причиной стресса и угнетенного состояния. Одной из причин данного явления считается тот факт, что традиционный формат обучения заложен в человеке на эволюционном уровне и является естественным. Так, на усвоение информации колоссальное влияние оказывает психо-эмоциональный фактор. Общение с преподавателем и одногруппниками, постановка проблематики во время занятия и её совместное решение в очном формате создают определенный эмоциональный фон, который, как известно, способствует активной работе мозга. В следствие этого улучшаются функции памяти, общие когнитивные способности мозга.

Также можно выделить и другие минусы:

1. Прокрастинация. Так как контроль над учебной деятельностью отсутствует или значительно ослаблен, а навык самодисциплины ещё не развит, появляется желание отложить работу на поздний срок.
2. Отсутствие мотивации, вытекающее из пункта 1.
3. Отсутствие прямого общения между преподавателем и студентом. Следствием этого зачастую становятся пробелы в знаниях, так как тему, которую студент не усвоил в полном формате ему обсудить не с кем.
4. Возможные технические неполадки. Дистанционный формат полностью зависит от Интернет-соединения и требует определенного оборудования.
5. Возможные проблемы со здоровьем. Длительное нахождение у экрана монитора оказывает пагубное влияние на зрение.

Однако, несмотря на это, онлайн-формат всё же имеет и свои плюсы:

1. Свобода в выборе места обучения. Студент не «привязан» к определенной локации,

процесс обучения может проходить из любой точки мира.

2. Развитие у студента навыка самоменеджмента. Обучающийся учится правильно распределять своё время.
3. Выстраивание индивидуальной образовательной траектории. Студент сам создает для себя определенную нагрузку, регулирует учебный план, опираясь на собственные силы и возможности.
4. Широкое использование информационных технологий, позволяющих получать знания из различных независимых источников.
5. Возможность вернуться к уже пройденному материалу.

Основными задачами при обучении в онлайн формате является минимизация негативных аспектов, оптимизация процесса в целом. При этом большая часть нагрузки перекладывается на студента, так как у него появляется необходимость развивать дополнительные навыки, благодаря которым процесс учебы будет проходить максимально эффективно.

Есть несколько основных рекомендаций:

1. Поддержание постоянного контакта между преподавателем и студентом. Все интересные или затруднительные вопросы в обязательном порядке должны быть обсуждены и решены, в противном случае, освоение дисциплины может стать весьма проблематичным.
2. Нельзя пренебрегать отдыхом. Режим дня должен включать в себя время, свободное от рабочего процесса, иначе может последовать эмоциональное выгорание.

Особенности преподавания физики в дистанционном режиме при подготовке специалистов по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

В современном обществе происходит стремительное развитие компьютерных технологий и их внедрение во все сферы человеческой деятельности. Ни для кого не секрет, что в последние годы информационные технологии активно внедряются и в систему образования. Особо значимую роль они приобретают в высших учебных заведениях. И это касается не только ВУЗов, осуществляющих подготовку по гуманитарным специальностям, но и университетов технической направленности. Всё в большей степени компьютерная техника используется как платформа

для создания и проведения лабораторных и практических задач.

Физика считается теоретической наукой, открывающей фундаментальные законы природы. Однако понимание множества процессов невозможно без проведения экспериментальной части, опытов.

Практические занятия – неотъемлемая часть обучения студентов, необходимая для качественной постановки профессиональных навыков. Именно на практике появляется возможность закрепить знания, полученные во время лекций, на собственном опыте убедиться в правдивости теоретических данных. Так, любая лабораторная работа включает в себя формирование задачи, выбор экспериментальной установки и ее настройку, проведение экспериментов и обработку их данных, составление научного отчёта, создание вывода на основе полученных результатов.

В 2017 году кафедра «Физика» СевГУ заключила лицензионное соглашение с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом, по которому СевГУ получил право использования программного продукта «Комплекс лабораторных работ для изучения моделей физических явлений и процессов на компьютере (Laboratory Simulations)». Этот комплекс содержит 27 виртуальных лабораторных установок, на которых можно проводить больше, чем 27 экспериментальных исследований (лабораторных работ). К объективным плюсам замены реальных опытов виртуальными можно отнести:

- доступность – гораздо дешевле, чем покупка дорогостоящих специализированных приборов;
- компактность – занимает значительно меньше места;
- быстрота – установка программного обеспечения занимает намного меньше времени, чем настройка множества установок;
- безопасность – вероятность возникновения аварийной ситуации на компьютере близка к нулю;
- многофункциональность – возможность установки большого числа программных продуктов, позволяющих на одном компьютере проводить занятия по разным направлениям;
- быстрота настройки – при необходимости можно быстро произвести переустановку программ.

Вышеперечисленные причины выглядят

еще более выигрышно в сравнении с недостаточным обеспечением материально-технической базой. Практические занятия по некоторым направлениям подготовки специалистов могут оказаться не только трудоёмкими, но и даже опасными. Например, это касается студентов направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Проведение лабораторных работ с помощью специального программного обеспечения минимизирует вероятность возникновения аварийной ситуации, которое возможно на реальном оборудовании. Компьютерные модели установок и тренажёры являются безопасными и не подвергают здоровье риску.

Кроме того, овладение практическими навыками работы с технологиями должно осуществляться во время прохождения учебных, производственных и преддипломных практик. Но в реальной жизни изучить особенности оборудования и конструкций, эксплуатационные режимы, протекание аварийных ситуаций на действующих блоках не представляется возможным.

Программа практик зачастую проходит в экскурсионном формате. Увидеть составные части спецоборудования на реальном предприятии становится возможным лишь в ситуации, когда сроки производственной практики совпадают с плановым ремонтом оборудования.

Именно поэтому компьютерные модели становятся незаменимыми составляющими не только для качественного освоения учебного материала, но и для получения необходимых профессиональных навыков.

Программное обеспечение «Комплекс лабораторных работ для изучения моделей физических явлений и процессов на компьютере (Laboratory Simulations)» даёт возможность выполнения следующих лабораторных работ:

- **Закон Стокса.** Цель: изучить явление внутреннего трения в жидкостях;
- **Гармонические колебания.** Цель: изучить закономерности колебаний математического маятника;
- **Распределение Больцмана.** Цель: исследование температурной зависимости тока термоэлектронов, а также определение работы выхода электронов из металла в вакуум;
- **Закон Шарля.** Цель: установить для некоторой массы реального газа (воздуха) зависимость его давления от температуры путем определения термического коэффициента давления и убедиться в соответствии этой

зависимости с законом Шарля для идеального газа;

- **Распределение Максвелла.** Цель: экспериментальное исследование распределения электронов, полученных в процессе термоэлектронной эмиссии с нагретого катода электронной лампы по энергиям и скоростям;
- **Теплоёмкость газа.** Цель: определение молярной теплоёмкости воздуха при постоянном объёме и при постоянном давлении, определение отношения теплоемкостей для воздуха, проверка справедливости уравнения Майера;
- **Падение шарика в газе.** Цель: исследование характера падения твёрдого шарика в газе и измерение плотности газа.

Выполнение данных работ позволило студентам значительно повысить уровень практических навыков и дало понимание течения физических процессов.

Данные, полученные в ходе проведения лабораторных работ, студенты обрабатывают при помощи программы Excel. Это программное обеспечение имеет массу преимуществ, которыми пользуются в повседневной жизни.

Для проведения лекционных занятий в дистанционном режиме ВУЗ пользуется онлайн-платформой Moodle.

Реакция студентов

Для оценки качества и эффективности обучения в формате онлайн был проведён соцопрос. В нем приняло участие 152 студента. Первый вопрос касался трудности усвоения материала на дистанционных лекциях по физике. 53,8% опрошенных указали на наличие сложностей, освоение новых тем оказалось затруднительным, 46,2% не заметили разницы между очным и дистанционным освоением материала лекций. 41,5% респондентов считают дистанционный формат обучения таким же эффективным, как и традиционный, что говорит о готовности большинства студентов к самостоятельному обучению.

Далее было выяснено, как часто пользователи сайта сталкивались с его некорректной работой. Большинство студентов (57,7%) сталкивались с подобного рода трудностями, но довольно редко; 42,3% респондентов не сталкивались с трудностями при работе с приложением. Это свидетельствует о том, что технические помехи не являлись препятствием для обучения.

Конкретизируя предыдущий вопрос, было установлено, что сбой работы сайта и ошибка авторизации возникали довольно редко. Наличие внеаудиторных занятий предполагает появление дополнительной учебной нагрузки, что подтверждают 68,6% респондентов; еще 23,6% участников опроса не обнаружили изменений в загруженности учебного процесса, а 7,8 % напротив, заявили о ее сокращении.

Что касается виртуальных лабораторных работ, то они вызывают интерес у студентов, в первую очередь благодаря тому, что напоминают компьютерные игры, которые популярны среди молодёжи. Привлекает учащихся и возможность выполнить работы досрочно. Порядок их выполнения также неважен: студент сам в праве выбрать, в какой последовательности он будет работать, исходя из собственных интересов и предпочтений.

Заключение

Подводя итог, хотелось бы отметить, что дистанционный формат преподавания физики безусловно имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Несмотря на широкий спектр современных компьютерных возможностей, позволяющих моделировать различные технологические процессы, проведение лабораторных и практических занятий по техническим дисциплинам по возможности должно базироваться на реальном оборудовании. Это позволит студентам получать большее количество практических навыков, необходимых для качественного освоения непростой профессии.

Информационные продукты можно и нужно использовать, но только в случае нехватки реального оборудования или невозможности его эксплуатации. В особенности это касается высших учебных заведений, осуществляющих подготовку будущих инженеров, которым в дальнейшем придется работать не столько за компьютером, сколько с действующим оборудованием.

Список литературы

1. Полат Е.С. Теория и практика дистанционного обучения: учебное пособие для ВУЗов. – Москва: Академия, 2004. – 414с
2. Андреев А.А. Введение в Интернет-образование: учебное пособие. – Москва: Логос, 2003. – 73с.
3. Дюло В.Д. Особенности организации и выполнения виртуальных лабораторных работ по физике / Материалы Двадцать пятой Всероссийской

научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым) ВНКСФ-25 – Екатеринбург – Ростов-на-Дону – Крым: Изд-во АСФ России, 2019.

4. Печёнкин А.И., Тарасов Д.Д. Гидродинамика в лабораторном практикуме по физике / Материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым) ВНКСФ-25 – Екатеринбург – Ростов-на-Дону – Крым: Изд-во АСФ России, 2019.
5. Слива С.А. Экспериментальные исследования работы силы трения на криволинейной траектории. / Материалы Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-25, Крым) ВНКСФ
6. Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. Лабораторный практикум по изучению моделей физических процессов на компьютере. – Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2007.
7. Андреев А.А. Введение в дистанционное обучение: учебно-методическое пособие. – Москва: ВУ, 1997. – 210 с.

Referens

1. Polat E.S. Theory and practice of distance learning: a textbook for universities. – Moscow: Academy, 2004. – 414с
2. Andreev A.A. Introduction to Internet education: a textbook. – Moscow: Logos, 2003. – 73s.
3. Dyulo V.D. Features of the organization and performance of virtual laboratory work in physics / Materials of the Twenty-fifth All-Russian Scientific Conference of Physics Students and Young Scientists (VNKSF-25, Crimea) VNKSF-25 – Yekaterinburg - Rostov-on-Don - Crimea: Publishing House of the ASF of Russia, 2019.
4. Pechenkin A.I., Tarasov D.D. Hydrodynamics in a laboratory workshop in physics / Materials of the Twenty-fifth All-Russian Scientific Conference of Physics Students and Young Scientists (VNKSF-25, Crimea) VNKSF-25 – Yekaterinburg - Rostov-on-Don - Crimea: Publishing House of the ASF of Russia, 2019.
5. Sliva S.A. Experimental studies of the friction force on a curved trajectory. / Materials of the Twenty-fifth All-Russian Scientific Conference of Physics Students and Young Scientists (VNKSF-25, Crimea) VNKSF
6. Revinskaya O.G., Kravchenko N.S. Laboratory workshop on the study of models of physical processes on a computer. – Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2007.
8. Andreev A.A. Introduction to distance learning: an educational and methodological manual. – Moscow: WU, 1997. – 210 p.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Выпуск №4, Том 8 2022 г.

16+

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами

05.14.01 Энергетические системы и комплексы

05.14.03 Ядерные энергетические установки, включая проектирование

05.14.08 Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

05.26.05. Ядерная и радиационная безопасность

Адрес редакции:

299015, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7.

Телефон редакции: 8(692) 710164

<https://old.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/1272-njeut>

e-mail: nauchnyyzhurnal@mail.ru

Отпечатано в издательстве СевГУ.

Публикуемые материалы прошли обязательную процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053.

№ рег. СМИ: ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

Главный редактор: Якимович Борис Анатольевич

Подписано к печати 01.12.2022. Заказ 39/22. Дата выхода в свет: 19.12.2022. Тираж 65 экз. Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 10,69.

Севастополь, 2022