

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

О МОДЕРНИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор В.И.ШАРАПОВ¹
(ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»¹)

АННОТАЦИЯ.

В работе рассмотрены принципиальные проблемы хода модернизации в энергетических компаниях. На конкретных примерах показаны негативные последствия проведенных в стране реформ электроэнергетики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроэнергетика, научно-технический прогресс, модернизация, энергетическая компания, бюрократизация управления, непрофессионализм и некомпетентность руководителей энергетических компаний, тепловая электростанция.

ABOUT MODERNIZATION IN THE ENERGY SECTOR

D.Sc. (Tech.) V.I.SHARAPOV¹
(Ulyanovsk State Technical University¹)

ABSTRACT.

In the article the basic problems of the course of modernization of the energy companies are considered. It shows the examples of the negative consequences of conducted in the country reforms of electric power industry.

KEYWORDS: electric power industry, the scientific and technical progress, modernization, energy company, the bureaucratization of management, lack of professionalism and incompetence of the leaders of energy companies, heat power plant.

О модернизации, как важнейшей экономической задаче, в последние годы часто говорит руководство страны. Правильнее было бы обозначить модернизацию более общим, более точным и более существенным термином «научно-технический прогресс», однако в обиход вошло именно это слово.

В средствах массовой информации немало публикаций на тему модернизации. В публикациях официального толка подается преимущественно информация об «успехах» модернизации, например, о планах построения научного центра в Сколково, деятельности Роснано. В неофициальных комментариях преобладает скептическое отношение к происходящему. Так, весьма характерен ответ Никиты Михалкова в одном из телевизионных интервью: на вопрос журналиста, верит ли знаменитый кинорежиссер и общественный деятель в успех модернизации, Михалков просто с горькой усмешкой махнул рукой. Интернет-публикации говорят о полном провале провозглашенной модернизации.

Действительно, необходимость модернизации отечественной экономики чрезвычайно актуальна. Четверть века государство в основном бездарно проедает то, что было создано в советский период истории. Так, в энергетике последние крупные вводы генерирующих мощностей произошли в середине 80-х годов (Пермская ГРЭС, Саяно-Шушенская ГЭС и др.).

Рассмотрим, как реально идет и куда идет модернизация в энергетических компаниях. Самым заметным и определяющим фактором в этом процессе стала чубайсовская «модернизация» управления энергетикой, точнее – расчленение великой единой энергетической системы страны на мало зависимые друг от друга генерирующие, сетевые, сбытовые компании, не управляемые государством.

В одной из статей я уже писал, с каким ужасом в 90-е годы воспринимала идеи такой «модерниза-

ции» российской энергетики делегация Американского энергетического агентства [1]. В той же статье я рассказывал о печальном опыте переустройства казахской энергетики с распродажей её иностранным фирмам.

Наша энергетика с некоторым отставанием повторяет казахский опыт. Отличие в том, что вместо иностранных фирм «Roga i koryta» по планам реформы Чубайса было распродано ОАО «ЕЭС России» отечественным «Рогам и копытам» – вексельбергам и иже с ним, не имеющим опыта управления энергетикой, но определенно имеющим те же цели, что и зарубежные «Roga i koryta» – высосать из энергетических предприятий максимальную прибыль, а потом повыгоднее перепродать их.

К чему приводит чубайсовская модернизация, можно наблюдать на примере ульяновских энергетических предприятий-филиалов Волжской территориальной генерирующей компании (ВоТГК), принадлежащей вексельберговскому КЭС-холдингу: низкая зарплата персонала – ниже, чем на соседних промышленных предприятиях, уход квалифицированных кадров, недостаток средств на ремонт оборудования и, как следствие, понижение надежности и экономичности работы оборудования.

Поражает небывалая бюрократизация управления – это при нынешнем-то расчленении энергетики, которое, как декларировалось авторами реформы, должно было упростить управление. Здесь сработал известный закон Паркинсона – всякая реорганизация бюрократического персонала, в том числе направленная на его сокращение, неизбежно приводит к его увеличению [2]. Причем, что раньше в ОАО «ЕЭС России», что ныне в КЭС-холдинге, управленческий персонал пополняется не за счет профессионалов, а, зачастую, за счет «топ-менеджеров» с высокой заработной платой, редким непрофессионализмом и полной некомпетентно-

¹ 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32 (32, Severny Venets str., 432027, Ulyanovsk, Russia).

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

К.геогр.н., доцент М.С.ХВОСТОВА¹

(Филиал Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (Севмашвтуз), г.Северодвинск¹)

АННОТАЦИЯ.

В статье рассмотрены основные факторы, оказывающие влияние на выбор национальной концепции вывода из эксплуатации атомных электростанций. Проанализированы особенности вывода из эксплуатации энергоблоков с реакторами типа РБМК-1000, а также с отечественными и зарубежными реакторами типа ВВЭР-440. Представлены экономические аспекты вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС. Изложены вопросы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Выявлены основные аспекты, оказывающие влияние на обеспечение экологической и радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды, при выводе из эксплуатации ядерных установок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: атомные электростанции, вывод из эксплуатации, реактор, радиоактивные отходы, отработавшее ядерное топливо.

THE ENGINEERING-ECOLOGICAL FEATURES OF DECOMMISSIONING OF THE NUCLEAR POWER PLANTS LOCATED ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ph.D. (Geography) M.S.KHIVOSTOVA¹

(The Branch of Sankt-Petersburg State Sea Technical University (Sevmashvtuz)¹)

ABSTRACT.

In article the major factors influencing a choice of the national concept of decommissioning of nuclear power plants are considered. Features of a decommissioning of power units with reactors of type RBMK-1000, and also with national and foreign reactors of type VVER-440 are analyzed. Economic aspects of a decommissioning of power units of the nuclear power plants are presented. Questions of the reference with a radioactive waste and a spent nuclear fuel are stated. The basic aspects influencing maintenance of ecological and radiating safety of the personnel, the population and environment are revealed, at a decommissioning of nuclear installations.

KEYWORDS: nuclear power plants, concept of decommissioning, reactor, radioactive waste.

Общие вопросы вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС.

В России в период с 2016 по 2020 гг. должны быть выведены из эксплуатации 8 энергоблоков (3 и 4 блоки Нововоронежской АЭС, первые и вторые блоки Кольской, Билибинской и Ленинградской станций).

Вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС является неотъемлемой стадией их жизненного цикла. В соответствии с ОПБ-88/97 для энергоблока АЭС вывод из эксплуатации означает проведение комплекса мероприятий после удаления ядерного топлива, исключающих использование блока в качестве источника энергии и обеспечивающих безопасность персонала, населения и окружающей среды [1].

Согласно российскому проекту, вывод из эксплуатации энергоблока ВВЭР-440 с момента остановки энергоблока занимает 12,5 лет, численность персонала, занятого на подготовительных и непосредственных работах по выводу из эксплуатации, - 375 человек, а общий объем работ оценивается в 2920 чел.лет. Структура затрат по выводу из эксплуатации энергоблока с реактором ВВЭР-440 приведена в табл. 1 [2].

Финской фирмой «Иматран Войма», владеющей и эксплуатирующей АЭС «Ловиса» (построенной по проекту СССР), также разработан проект по выводу из эксплуатации 1-го блока станции (головной блок пущен в 1977 г.).

Сравнивая российский и финский проекты, можно отметить, что их данные по суммарному объему

работ, работам по обращению с радиоактивными отходами (РАО), продолжительности демонтажа и другим пунктам практически совпадают. На основании разработанных планов, выполненных расчетов и проработок сделана суммарная оценка дозы от всех мероприятий по выводу станции из эксплуатации. Результаты представлены в табл.2. Коллективная доза облучения персонала, занятого демонтажем АЭС, оценивается 23 чел.Зв [2].

Таблица 1

Структура затрат на вывод из эксплуатации энергоблока ВВЭР-440

№	Мероприятия	Затраты	
		млн. \$	%
1	Планирование и руководство	2,17	1
2	Подготовка к выводу из эксплуатации	16,25	9
3	Обработка активированных материалов	8,53	5
4	Демонтаж радиоактивного оборудования	66,54	39
5	Упаковка РАО в контейнеры	2,04	1
6	Обращение с РАО	11,00	6
7	Текущие затраты	60,00	36
ИТОГО		166,53	100

Таблица 2

Коллективные дозы при снятии с эксплуатации АЭС «Ловиса»

Стадия работ	Доза, чел.Зв
Работы на подготовительной стадии	2,8
Дезактивация 1-го контура	0,12
Обращение с активированными материалами	7,88
Обращение с загрязненными материалами:	
- в здании реактора	5,38
- в других помещениях	1,85
Станционный персонал	2,87
Неучтенные работы (10%)	2,10
ИТОГО	23,00

¹ 164500, Архангельская обл., г. Северодвинск, ул. Воронина, 6 (6, Voronina Str., 164500, Severodvinsk, Arkhangelskiy region, Russia).

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РЕГИОНАХ

Д.т.н., профессор В.И.КОРМИЛИЦЫН¹; заведующий лабораторией, к.т.н. И.С.ПОНОМАРЕНКО¹; президент Д.А.АКСЁНОВ²; д.э.н., профессор Б.А.ДАВЫДОВ³
(Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт¹ –
НО «Институт проблем энергоэффективности», г.Москва² – НОУ ВПО «Российский новый университет», г.Москва³)

АННОТАЦИЯ.

Рассмотрена проблема развития энергетики регионов за счёт повышения энергоэффективности энергетического оборудования и использования местных видов топлива и вторичных энергетических ресурсов. Предложены пути создания совместного использования потенциала энергетических компаний и потребителей для обеспечения инвестиционной привлекательности регионов. Показаны преимущества энергоэффективных технологий в энергетике и их внедрения в регионах, использующих возобновляемые ресурсы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоэффективность, энергосбережение, топливно-энергетические ресурсы, возобновляемые энергетические ресурсы, вторичные энергетические ресурсы, потенциал вторичных энергетических ресурсов, повышение энергетической эффективности, низкотемпературные вторичные энергетические ресурсы, низкопотенциальное тепло, низкотемпературный генератор, альтернативная энергетика.

ABOUT THE PROBLEM OF IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN THE REGIONS

D.Sc. (Tech.) V.I.KORMILITSYN¹; Ph.D. (Tech.) I.S.PONOMARENKO¹; Eng. D.A.AKSYONOV²; D.Sc. (Econ.) B.A.DAVYDOV³
(Moscow Power Engineering Institute¹ – IEEP, Moscow² – Russian New University, Moscow³)

ABSTRACT.

The problems of development of power of regions at the expense of increase of power efficiency of the energy equipment and use of local kinds of fuel and secondary power resources are considered. Ways of creation of sharing of potential of the power companies and consumers for maintenance of investment appeal of regions are offered. Advantages of power effective technologies in energy sector and their introduction in the regions using renewed resources are shown.

KEYWORDS: energy efficiency, energy conservation, energy and fuel resources, renewable energy, secondary energy resources, the potential of secondary energy resources, energy efficiency, low temperature secondary energy resources, low potential heat, low-temperature generator, alternative energy.

Кризис показал слабую устойчивость многих производств к изменяющимся условиям спроса на товары, в том числе к энергоресурсам. Казалось бы, известны механизмы противодействия кризисам, которые происходят, время от времени, уже более ста лет. Одно из «лекарств» от них – повышение внутреннего спроса, его поддержание путём снижения цен на продукцию, сокращения расходов на производство, либо поиск или создание новых рынков сбыта.

Но оказалось, что новых рынков сбыта больше нет, снизился спрос товаров и в самих государствах, породивших кризис вследствие перепроизводства товаров по причине снижения потребностей у среднего класса и его деградации при отсутствии спроса на занятость и снижении стоимости труда в развитых странах из-за вывода реальных производств в развивающиеся страны.

Нынешняя критическая ситуация стала естественным развитием модели экономического роста, принятой в начале 80-х годов XX века в США под названием «рейганомика», суть которой была в постоянном кредитном стимулировании конечного спроса. Как следствие, вырос общий долг субъектов экономики: государства, корпораций и домохозяйств. При этом постоянно падает объём кредитования, а это вызывает сокращение расходов домохозяйств (частного спроса), что подрывает реальный сектор, и обуславливает невозможность вернуть накопленный долг. И всё это с каждым годом нарастало, сумма к возврату увеличивалась, что сокращало объём, который можно было направить на увеличение спроса и т.д.

Давосский форум 2011 года, рассматривая проблемы кризиса, отметил переход финансов в сырьевые активы. Этот переход временный, например, для США Сорос отвёл срок в два – три года. Развитыми странами стимулируется экспорт за счёт снижения курса национальных валют. Возникла острая конкуренция за падающий спрос.

Что же приходится на долю энергоресурсов для выхода из кризиса? Нужно ли снижать потребление ресурсов или энергии с целью усиления конкурентоспособности товаров на рынках? Очевидно, что эту проблему следует рассматривать с учётом динамики потребления ресурсов, в частности, топливно-энергетических, на конкретном объекте и на конкретной территории субъекта РФ.

При снижении потребления энергии на конкретном объекте, порою значительно изменяется технологический процесс его использования вследствие недозагруженности производственных мощностей и помещений. Так, если в производственном или жилом здании в целях «оголтелой и бездумной» экономии, снизить температуру воздуха (теплоносителя), то изменится тепловая и влажностной режим объекта эксплуатации, например, точка росы (водяных паров) переместится из-за периметра здания (ограждающих конструкций) в жилую или промышленную зону, а на стенах или внутри ограждений появятся влажные потёки или плесневые грибы. Ограждающие конструкции будут подвергаться разрушению из-за кристаллизации воды при минусовых температурах, а летом под действием гриба. Такая цена является результатом одностороннего подхода к экономии энергоресурсов за счёт теплоносителя и

¹ 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14 (14, Krasnokazarmennaya Str., 111250, Moscow, Russia).

² 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 17 (17, Krasnokazarmennaya Str., 111250, Moscow, Russia).

³ 111250, г. Москва, ул. Радио, д. 22 (22, Radio Str., 111250, Moscow, Russia).

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

К.т.н., доцент О.Д.САМАРИН¹; асп. Е.А.ГРИШНЕВА¹
(ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»¹)

АННОТАЦИЯ.

Рассмотрены основные способы повышения энергоэффективности зданий с использованием современных интеллектуальных технологий. Выявлены наиболее перспективные системные мероприятия по снижению энергопотребления, соответствующие требованиям ФЗ-261. Сделан обзор различных видов использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в совокупности с использованием интеллектуальных технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоэффективность, энергосбережение, автоматизация, управление, интеллектуальное здание, инженерные системы.

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS BY USING INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Ph.D. (Tech.) O.D.SAMARIN¹; Eng. E.A.GRISHNEVA¹
(Moscow State University of Civil Engineering¹)

ABSTRACT.

There are considered the basic ways of improving energy efficiency of buildings by using of modern intellectual technologies. Identified the most advanced system measures on reduction of the energy consumption corresponding to the requirements of the Federal law-261. Review the different types by using of non-traditional and renewable sources of energy in conjunction with the use of intelligent technologies.

KEYWORDS: energy efficiency, energy saving, automation, management, intellectual building, the engineering systems.

Энергоэффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю [1]. По отношению к зданию данное понятие можно еще определить как степень приближения к минимально возможному для имеющихся условий расходу энергоресурсов, необходимых для функционирования здания и его инженерных систем. Следовательно, энергоэффективное здание представляет собой объект, где энергоресурсы экономятся с помощью инновационных энергосберегающих технологий. Их использование целесообразно не только с технической точки зрения, но и с экологических позиций. Именно поэтому энергоэффективность в большинстве стран Европы становится уже необходимым стандартом.

Повышение энергоэффективности приводит к широким и многообразным результатам. Например, в общегосударственном масштабе речь идет об обеспечении в стране энергобезопасности, уменьшении загрязненности окружающей среды и облегчении доступа к энергоресурсам, стоимость которых постоянно повышается. Применительно к отдельному предприятию интерес представляет, прежде всего, уменьшение расходов на тепловую и электрическую энергию, повышение престижа с экологических позиций и снижение издержек на осуществление технологических процессов и на техническое обслуживание здания и его

инженерных систем. Для конечного потребителя основное значение имеет повышение комфорта проживания в доме, снижение затрат на коммунальные услуги и улучшение экологической ситуации.

В России возможна реализация многих энергосберегающих технологий. В частности, при реконструкции существующего жилого фонда можно в первую очередь выделить утепление фасадов при применении инновационных теплоизоляционных материалов, а также установку энергоэффективного остекления, позволяющего в то же время обеспечивать необходимый воздухообмен в помещениях. В качестве дополнительных мероприятий, рекомендуемых и при новом строительстве, можно также рассматривать использование низкотемпературного панельно-лучистого отопления и охлаждающих потолков, пассивных и активных аккумуляторов солнечной энергии, в том числе повышения остекленности южных фасадов и преимущественно широтной ориентации вытянутых зданий. Кроме того, интерес представляет остекление лоджий, подвижная теплоизоляция светопрозрачных конструкций (шторы, рольставни и др.), а также мероприятия по снижению тепло- и водопотребления в системах холодного и горячего водоснабжения (ХВС и ГВС) за счет установки водосчетчиков, применения кранов с регулируемым напором и смесителей с левым расположением маховика горячей воды [2-5].

Несмотря на то, что суммарные капитальные затраты на внедрение подобных инженерных решений и технологий достаточно велики, эти расходы представляют собой надежные и долгосрочные инвестиции и сравнительно быстро окупаются за счет суще-

¹ 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26 (26, Yaroslavl'skoe Shosse, 129337, Moscow, Russia).

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СРЕДСТВАМИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Асп. Д.В.КРАСНОВ¹; заведующий кафедрой, д.т.н., профессор Г.Б.ОНИЩЕНКО¹
(ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С.Черномырдина»¹)

АННОТАЦИЯ.

Проведен анализ возможности энергосбережения посредством широкого использования в различных отраслях хозяйства высоковольтных регулируемых электроприводов переменного тока большой мощности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосбережение, высоковольтный регулируемый электропривод большой мощности, высоковольтный преобразователь частоты, прогноз потребности.

ENERGY SAVING BY MEANS OF CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Eng. D.V.KRASNOV¹; D.Sc. (Tech.) G.B.ONISHCHENKO¹
(Moscow State Open University named after V.S.Chernomyrdin¹)

ABSTRACT.

The analysis of opportunities of energy saving by means of wide use in the various sectors of the economy of high-voltage control alternating current electric drives of the big capacity is carried out.

KEYWORDS: energy saving, highvoltage control high-power electrodrive, highvoltage electrodrive, highvoltage frequency converter, requirement forecast.

Одним из наиболее эффективных направлений энергосбережения является широкое использование регулируемого электропривода во всех сферах его применения.

Большинство мощных технологических машин и механизмов в промышленности, энергетике, водном хозяйстве (насосы, вентиляторы, воздуходувки, компрессоры, дробильно-размольное оборудование и др.) оснащены нерегулируемым электроприводом на основе высоковольтных двигателей переменного тока. Эти машины являются наиболее энергоемкими и потребляют около 50% производимой в стране электроэнергии.

Регулирование производительности указанных машин, необходимое по технологическим условиям, осуществляется сегодня дросселированием рабочей среды (воды, воздуха, газа) или механическими устройствами (клапанами, направляющим аппаратом, байпасами и др.). Такие способы регулирования приводят к значительному непроизводительному расходу электроэнергии.

Регулирование производительности этих машин изменением скорости вращения позволяет согласно многим исследованиям [1,2] сэкономить до 30% электроэнергии, 30% тепла и 20% воды. Эффективность замены нерегулируемого электропривода на регулируемый на установках большой мощности (свыше 400 кВт) доказана мировой практикой [3].

Использование регулируемого электропривода, особенно в технологических установках большой мощности, дает не только энергосберегающий эффект, но и существенно повышает надежность рабо-

ты оборудования, что связано со следующими обстоятельствами:

- обеспечивается плавный пуск электропривода, при котором в 4-5 раз снижаются пусковые токи, исключаются механические и гидравлические удары;
- оборудование работает в технологическом режиме со сниженной скоростью, напором и производительностью;
- обеспечивается автоматизация управления с оптимальным ведением технологического процесса.

В последние годы, благодаря успехам в развитии электроники, были созданы преобразователи частоты, обеспечивающие экономическое регулирование скорости высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей. Большая стоимость высоковольтных преобразователей частоты (200-300 долл. США/кВт) практически не сдерживала за рубежом широкого промышленного использования высоковольтных регулируемых электроприводов в целях энергосбережения.

По данным [3] мировой объем продаж высоковольтных преобразователей частоты для электропривода составил в 2007 г. 1550 млн. долларов (4600 преобразователей). Динамика роста производства преобразователей частоты данного класса очень велика и составляет за последние годы 21% прироста производства в год.

В России ситуация с производством и использованием мощных высоковольтных регулируемых электроприводов складывается с большим запозданием. За последние 8 лет в промышленность, энергетику и коммунальное хозяйство внедрено около 250 приводов, в основном импортного производст-

¹ 107996, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 22 (22, Pavla Korchagina Str., 107996, Moscow, Russia).

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Д.т.н., профессор А.В.ВОЛКОВ¹; к.т.н., доцент А.И.ДАВЫДОВ¹; асп. Г.П.ХОВАНОВ¹; к.т.н. А.Г.ПАРЫГИН²
(Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт¹ – ЗАО «ОПТИМА»²)

АННОТАЦИЯ.

Рассматриваются вопросы снижения энергозатрат на привод центробежного насоса за счет расширения зоны экономичной работы и повышения средне интегрального КПД путем использования лопастной системы с переменным шагом. Анализируется эффективность данного способа модернизации в зависимости от условий функционирования насоса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системы водоснабжения, системы теплоснабжения, трубопровод централизованного теплоснабжения, снижение, затраты электроэнергии, технология, оборудование, модернизация, лопастная система.

TO THE ISSUE OF ENERGY EFFICIENCY OF THE USE OF BLADE SYSTEM WITH A VARIABLE STEP SIZE IN DIFFERENT CONDITIONS OF OPERATION OF A CENTRIFUGAL PUMP

D.Sc. (Tech.) A.V.VOLKOV¹; Ph.D. (Tech.) A.I.DAVYDOV¹; Eng. G.P.KHOVANOV¹; Ph.D. (Tech.) A.G.PARYGIN²
(Moscow Power Engineering Institute¹ – JSC «OPTIMA», Moscow²)

ABSTRACT.

The paper deals with the questions of decrease in power inputs on the drive of a centrifugal pump due to the expansion of the zone of economical operation and for the medium integral efficiency through the use of blade system with a variable step size. Analyses the effectiveness of this way of modernization depending on the conditions of functioning of the pump.

KEYWORDS: water supply system, heat supply system, the pipeline of the centralized heat supply, reduction, the cost of electricity, technology, equipment, modernization, lobes system.

Насосное оборудование является одним из самых значительных потребителей электрической энергии. Его суммарная доля потребления по различным оценкам составляет от 10 до 20% всей вырабатываемой электроэнергии. Обеспечение высокой энергоэффективности насосного оборудования представляет собой актуальную народнохозяйственную задачу [1]. Ее решение во многом связано со степенью адаптации характеристик насоса к условиям функционирования гидравлической сети, среди которых существенное значение имеет ширина $\Delta Q_{ис}$ используемого интервала ($Q_{ис.min}$, $Q_{ис.max}$) подачи Q насоса [2,3].

В общем случае для затрат электроэнергии (A_3) на привод насосного агрегата за достаточно большой репрезентативный период времени T можно записать [4]:

$$A_3 = \int_0^T (\rho g Q H / \eta) dt = \rho g V H_{cp} / \eta_{cp}, \quad (1)$$

где $\eta_{cp} = V H_{cp} / \int_0^T (Q H / \eta) dt$ - средне интегральное значение КПД (η) насосного агрегата;

$H_{cp} = \int_0^T Q H dt / V$ - средне интегральное значение

напора насоса H ; $V = \int_0^T Q dt$ — объем жидкости, поданной насосом за данный период времени; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

Энергоэффективность часто оценивают удельными затратами электроэнергии, приходящимися на единицу объема жидкости (V_n), поданной потребителю [3]. В данной работе рассматривается наиболее распространенный случай, когда можно положить $V = V_n$ (исключение представляет только случай регулирования расхода путем байпасирования

потока жидкости [2]). Согласно соотношению (1) для удельных энергозатрат, которые обозначим через E , имеем:

$$E = \rho g H_{cp} / \eta_{cp}. \quad (2)$$

Обозначим параметры функционирования в одних и тех же условиях исходного и модернизированного насосных агрегатов одним и двумя штрихами, соответственно. Снижение удельных энергозатрат (ΔE) в результате использования модернизированного насосного агрегата, выраженное в процентах от их исходного значения, составит:

$$\Delta E = \frac{E' - E''}{E'} 100\% = \left(1 - \frac{H'_{cp} \eta'_{cp}}{H''_{cp} \eta''_{cp}} \right) 100\%. \quad (3)$$

В настоящее время все большее распространение находит способ регулирования подачи насоса путем снижения угловой скорости вращения его вала (частотное регулирование). При этом напор насоса можно считать равным потребному значению H_n , которое необходимо для обеспечения потребного сетевого расхода Q_n и однозначно определяется условиями функционирования гидравлической сети [2, 3]. В данном случае справедливо $H'_{cp} = H''_{cp}$ и соотношение (3) переписывается в следующем виде:

$$\Delta E = (\Delta \eta_{cp} / \eta''_{cp}) 100\%, \quad (4)$$

где $\Delta \eta_{cp} = \eta'_{cp} - \eta''_{cp}$ - повышение средне интегрального КПД в результате модернизации насосного агрегата.

Соотношение (4) существенно упрощает анализ соответствующей задачи. Оно применимо также в следующих случаях:

- расходно-напорные характеристики насосов совпадают и $H'_{cp} = H''_{cp}$;

- $H'_{cp} > H''_{cp}$ и повышение напора является полезной самостоятельной задачей;

- $H'_{cp} > H''_{cp}$ и повышенное давление в нагнета-

¹ 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14 (14, Krasnokazarmennaya Str., 111250, Moscow, Russia).

² 109052, г. Москва, ул. Подъемная, д. 7, корп. 1 (7, corp. 1, Podyomnaya Str., 109052, Moscow, Russia).

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛИОУСТАНОВОК С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ

Заведующий лабораторией, д.т.н., профессор В.В.СЛЕСАРЕНКО¹; начальник отдела, к.э.н. Г.А.БОГДАНОВИЧ²; к.т.н., доцент В.А.ЖУКОВ²; к.т.н., доцент И.Б.СЛЕСАРЕНКО²
(Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г.Владивосток¹ –
ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», г.Владивосток²)

АННОТАЦИЯ.

В статье представлены результаты анализа схем водонагревательных установок с солнечными коллекторами, предназначенных для теплоснабжения зданий и сооружений различного назначения. Исследованы особенности работы солнечных коллекторов в сочетании с аккумуляторами теплоты и тепловыми насосами.

Рассмотрены схемы установок с низкотемпературными источниками теплоты, которые могут замещать солнечную энергию при ее недостатке. Оптимизация схем геолоустановок рассматривается для случаев применения специальных регенеративных теплообменников, аккумуляторов теплоты и теплового насоса, обеспечивающего утилизацию теплоты сточных вод и вентиляционного воздуха зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: солнечный коллектор, аккумулятор теплоты, тепловой насос, теплообменник, стоки.

FEATURES OF APPLICATION OF SOLAR POWER PLANTS WITH THERMAL PUMPS

D.Sc. (Tech.) V.V.SLESARENKO¹; Ph.D. (Econ.) G.A.BOGDANOVICH²; Ph.D. (Tech.) V.A.ZHUKOV²; Ph.D. (Tech.) I.B.SLESARENKO²
(Far Eastern Federal University¹ – The Institute of Marine Technology Problems²)

ABSTRACT.

The results of the analysis of the plant schemes with solar collectors, designed for heat supply of buildings and constructions of different functions are presented in the article. Operation features of the solar collectors with heat accumulators of various types and heat pumps have been examined.

Plant schemes with low temperature sources of heat which can replace solar energy when it is insufficient have been offered. Solar plant schemes optimization is considered for the cases of application of special regenerative heat exchangers, heat accumulators and the heat pump providing recycling of waste water heat and building ventilation air.

KEYWORDS: solar collector, heat accumulator, heat pump, heat exchanger, waste water.

Общие положения. Теплоснабжение в условиях России с длительным отопительным периодом требует значительных затрат топлива, которые превосходят почти в 2 раза затраты топлива на электроснабжение. Основными недостатками традиционных источников теплоснабжения являются низкая энергетическая, экономическая и экологическая эффективность. Кроме того, высокие транспортные тарифы на доставку топлива и энергоносителей усугубляют негативные факторы, присущие традиционному теплоснабжению. Следует учитывать и наличие значительных термодинамических потерь. Это приводит к снижению эксергетического КПД использования химической энергии топлива. Значение этого КПД для теплоисточников централизованных систем отопления обычно не превышает 60-70%. С каждым годом в России увеличиваются расходы на эксплуатацию тепловых сетей и котельных установок, которые в то же время являются наименее надежными элементами в системах централизованного теплоснабжения. Перечисленные негативные факторы, характерные для традиционных систем теплоснабжения, используемых в городах и поселках, создают условия для внедрения нетрадиционных энергоустановок в системах отопления и горячего водоснабжения зданий.

Перспективным решением для систем теплоснабжения зданий различного назначения является использование низкотемпературной (5-30 °С) природной теплоты или сбросной промышленной теплоты для теплоснабжения при применении тепловых насосов (ТН). В ряде регионов России активно внедряются солнечные водонагревательные установки

(СВНУ). Разрабатываются технологии, направленные на использование геотермальных источников теплоты.

Значительного повышения эффективности и надежности систем децентрализованного теплоснабжения можно добиться при комбинировании теплового насоса и солнечной водонагревательной установки. В этом случае появляется возможность дублировать непостоянный источник тепловой энергии – солнечное излучение за счет получения дополнительной теплоты от теплового насоса, подключаемого к низкотемпературному источнику теплоты, а также обеспечивать аккумуляцию излишков теплоты, вырабатываемой СВНУ.

Выбор типа теплового насоса. В настоящее время в мире создано и эксплуатируется большое число теплонасосных установок, отличающихся по тепловым схемам, параметрам и виду рабочего тела, по составу используемого оборудования.

Для систем теплоснабжения, включающих СВНУ, работающих на специальном теплоносителе в интервале температур 50-100 °С, наиболее приемлемыми являются пароконденсационные ТН и абсорбционные ТН, наиболее часто использующиеся в системах теплоснабжения и кондиционирования [1,2].

Выбор низкотемпературного источника теплоты. Применение теплового насоса в комплексе со СВНУ позволяет решать несколько важных задач:

ТН трансформирует теплоту от низкотемпературного источника, дублируя СВНУ при отсутствии солнечного излучения или недостаточной производительности солнечных коллекторов;

¹ 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 5а (5а, Sukhanova Str., 690950, Vladivostok, Russia).

² 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8 (8, Sukhanova Str., 690950, Vladivostok, Russia).

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Научный сотрудник, к.х.н. О.В.МОСИН¹

(ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств»¹)

АННОТАЦИЯ.

В данной статье приведён обзор перспективных современных направлений и подходов в практической реализации противонакипной магнитной обработки воды в теплоэнергетике. Рассмотрены принцип действия и конструкции выпускаемых отечественной промышленностью аппаратов магнитной обработки воды на постоянных и электромагнитах. Дана эффективность их использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вода, водоподготовка, магнитные аппараты для обработки воды.

PROSPECTS AND WAYS OF MAGNETIC TREATMENT OF WATER

Ph.D. (Chem.) O.V.MOSIN¹

(Moscow State University of Food Production¹)

ABSTRACT.

In present article the review of perspective modern directions and approaches in practical realization of magnetic anti scale treatment of water in heat-and-power engineering is outlined. The principle of action and design of devices for magnetic treatment of water produced by the domestic industry based on constant and electromagnets are considered. Efficiency of their using is given.

KEYWORDS: water, water treatment, magnetic devices for magnetic treatment of water.

История развития научных идей о противонакипной магнитной обработке воды, насчитывает в нашей стране более 30 лет [1]. Положительные результаты использования омагниченной воды в борьбе с накипеобразованием были достигнуты в нашей стране в начале 70-х годов исследованиями В.И.Классена и его последователей. Многочисленными работами российских исследователей было установлено, воздействие магнитного поля на воду носит комплексный многофакторный характер и в конечном результате приводит к изменениям структуры воды и гидратированных ионов, а также физико-химических свойств и поведении растворённых в воде примесей. При воздействии на воду магнитного поля в ней увеличивается скорость химических реакций и кристаллизации растворённых веществ, интенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей с последующим выпадением их в осадок [2]. Также имеются данные, указывающие на бактерицидное действие магнитной обработки воды [3], что важно для её использования в сантехнических системах, где требуется высокий уровень микробной чистоты.

Существуют несколько гипотез, объясняющих механизм воздействия магнитного поля на воду. Первые предполагают, что под влиянием магнитного поля происходит поляризация и деформация растворённых в воде ионов, сопровождающаяся уменьшением их гидратации, повышающей вероятность их сближения, что приводит к формированию центров кристаллизации примесей [4]. Гипотезы второй группы объясняют действие магнитного поля формированием вокруг ионов гидратных оболочек, состоящих из молекул воды с изменённой подвижностью [5]. Гипотезы третьей группы предполагают, что магнитное поле оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды, что может привести к деформации водородных связей и перераспределению молекул воды во временных ассоциативных образованиях молекул воды – кластерах [6]. Имеются экспериментальные данные,

подтверждающие, что под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек ионов, а также изменяется их распределение в воде [7]. Все эти факторы приводят к изменению физико-химических параметров протекающих в воде процессов и открывают широкие перспективы для водоподготовки.

Магнитная обработка воды применяется в промышленности и в быту, для устранения накипеобразования в теплообменной аппаратуре, трубопроводах и сантехнических системах. Наиболее востребованной и эффективной магнитная обработка воды оказалась в сантехнических устройствах и системах, чувствительных к накипи – в виде образующихся на внутренних стенках труб паровых котлов, теплообменников и других теплообменных аппаратов твёрдых отложений карбонатных (углекислые соли кальция CaCO_3 и магния MgCO_3), сульфатных (SO_4^{2-}) и силикатных (SiO_3^{2-}) солей кальция, магния, железа и алюминия [8]. Согласно СНиП 11-35-76 «Котельные установки», магнитную обработку воды для водогрейных котлов целесообразно проводить, если содержание железа в воде не превышает 0,3 мг/л, кислорода 3 мг/л, хлоридов и сульфатов 50 мг/л, карбонатная жёсткость не выше 9 мг-экв/л, а температура нагрева не должна превышать 95 °С. Для питания паровых котлов – стальных, допускающих внутрикотловую обработку воды, и чугунных секционных – использование магнитной обработки возможно, если карбонатная жёсткость воды не превышает 10 мг-экв/л, а содержание железа 0,3 мг/л [9]. Повышенная жёсткость делает воду непригодной для хозяйственно-бытовых нужд, а несвоевременная очистка теплообменников и труб от накипи приводит к уменьшению диаметра трубопровода, что ведёт к повышенному гидравлическому сопротивлению. Поскольку накипь обладает малым коэффициентом теплопроводности, намного меньшим, чем металл, из которого изготовлены нагревательные элементы, на подогрев воды расходуется больше топлива [10]. При большой толщине накипи происходит ухудше-

¹ 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11 (11, Volokolamskoe Shosse, 125080, Moscow, Russia).

МОДИФИКАЦИЯ СХЕМ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫХ АППАРАТАХ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС И ТЭС

К.э.н., доцент А.В.КОВАЛЕНКО¹; к.т.н. К.М.УРТЕНОВ²; заведующая кафедрой, д.п.н., профессор Т.Л.ШАПОШНИКОВА²; заведующий кафедрой, д.ф.-м.н., профессор М.Х.УРТЕНОВ¹
(ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», г.Краснодар¹ –
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г.Краснодар²)

АННОТАЦИЯ.

В работе, являющейся продолжением статьи [3], предлагается и обосновывается эффективность, двух новых принципиальных схем организации технологического процесса электродиализа при запердельных токовых режимах в современных гибридных электромембранных комплексах водоподготовки для парогенераторов АЭС и ТЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоподготовка, электромембранные комплексы, электродиализаторы, ионообменные мембраны, селективность.

UPDATING OF SCHEMES OF WATER TREATMENT IN ELECTRODIALYSIS DEVICES OF WATER TREATMENT FOR STEAM GENERATORS OF THE NUCLEAR POWER PLANTS AND STEAM POWER PLANTS

Ph.D. (Econ.) A.V.KOVALENKO¹; Ph.D. (Tech.) K.M.URTENOV²; D.Sc. (Pedag.) T.L.SHAPOSHNIKOVA²; D.Sc. (Phys.-Math.) M.Kh.URTENOV¹
(Kuban State University¹ – Kuban State University of Technology²)

ABSTRACT.

In the article it is offered two new basic schemes of the organization of technological process of an electrodiolysis at other-wordly current modes in modern hybrid electro-membrane complexes of water treatment for steam and gas generators of the nuclear power plants and steam power plants.

KEYWORDS: water conditioning, electro-membrane complexes, electrodiolysis device, ion-exchange membrane, selectivity.

Улучшение качества воды, используемой для подпитки пароводяного контура паровых котлов в теплоэнергетике, является в настоящее время одной из важнейших научно-технических проблем. Для решения этой задачи все шире применяются современные гибридные электромембранные комплексы водоподготовки [1], которые являются ресурсо- и энергосберегающими. Они используются в системах водоподготовки в теплоэнергетике, для получения воды, используемой в парогенераторах и для подпитки пароводяного контура паровых котлов. Кроме того, они используются для переработки сточных вод и концентрирования разбавленных радиоактивных стоков.

Эти комплексы включают все основные методы водоподготовки и дополнительно еще и электромембранные блоки [1]. Введение в комплексы для водоподготовки электромембранных блоков сокращает эксплуатационные расходы, вызванные необходимостью регенерации ионообменных смол и утилизации больших объемов вторичных загрязнений, резко снижает количество используемых реагентов и улучшает экологические характеристики гибридного электромембранного комплекса, поэтому даже небольшое повышение эффективности их работы дает значительный экономический эффект. В связи с этим актуальным является проблема повышение эффективности электродиализных аппаратов.

Данная работа является продолжением статьи [3]. В ней предлагается и обосновывается, с ис-

пользованием математической модели переноса ионов соли в камере обессоливания электродиализного аппарата с учетом процессов переноса, диффузии, электромиграции, нарушения условия электронейтральности, джоулевого разогрева раствора, переноса тепла через мембраны в запердельных токовых режимах [2,3] две новые принципиальные схемы организации технологического процесса электродиализа.

Электродиализный аппарат имеет периодическую структуру, состоящую из чередующихся камер обессоливания и концентрирования и двух электродных камер. Принципиальная схема 5 камерного электродиализного аппарата приведена на рис.1. С использованием электродов через электродиализатор пропускается ток. Катионообменные (МК) и анионообменные (МА) мембраны обладают способностью, селективно проводить катионы и анионы, соответственно. Электролит подается с некоторой скоростью. Под действием электрического поля образуются камеры обессоливания (КО) и концентрирования (КК), возникает градиент концентрации электролита.

При математическом моделировании процесса обессоливания во многих случаях достаточно рассмотреть электромассоперенос только в камере обессоливания, считая концентрацию в камерах концентрирования постоянной и учитывая влияние катионообменной и анионообменной мембран в виде граничных условий.

¹ 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149 (149, Stavropolskaya Str., 350040, Krasnodar, Russia).

² 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2 (2, Moskovskaya Str., 350072, Krasnodar, Russia).

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ

М.н.с. Д.А.АХМЕДОВА¹; д.т.н., профессор М.М.АМАГАЛИЕВ¹
(Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, г.Баку, Азербайджанская Республика¹)

АННОТАЦИЯ.

Статья посвящена результатам исследования технологии опреснения морской воды, основанной на комбинировании обратнoосмотического и термического методов, с использованием испарителей мгновенного вскипания, предложена технологическая схема системы опреснения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опреснение морской воды, испарители, обратный осмос, утилизация сбросной теплоты.

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF COMBINED DESALINATION OF SEA WATER

Eng. D.A.AKHMEDOVA¹; D.Sc. (Tech.) M.M.AMAGALIEV¹
(Azerbaijan State Oil Academy¹)

ABSTRACT.

The article is devoted to the research results of technology of desalination of sea water, which is based on a combination of reverse osmosis and thermal methods, using instant boiling evaporators, a technological scheme of desalination system is offered.

KEYWORDS: desalination of sea water, evaporators, reverse osmosis, utilization of waste heat.

Освоение двух дизельных электростанций (ДЭС) на Апшеронском полуострове (Азербайджанская Республика) инициировало исследования по созданию энергосберегающих технологий опреснения за счет бросового тепла указанных ДЭС. Одна из ДЭС (Сангачальская) расположена непосредственно на берегу Каспийского моря, в районе с дефицитом пресноводных источников.

На Сангачальской ДЭС установлено 18 модулей по 16 МВт, с коэффициентом полезного действия 37-38%. Работа каждого модуля характеризуется сбросом вторичных энергоресурсов систем охлаждения, а также продуктов сгорания с температурой 400-500 °С. В настоящее время для собственных нужд утилизируется бросовое тепло только 6 модулей.

Анализ литературных данных показывает, что наибольшее распространение получили термический и обратнoосмотический методы опреснения, но для каждого из них свойственны определенные преимущества и недостатки. Так, для традиционных установок термического опреснения характерны высокие тепловые затраты (до 50% от общих эксплуатационных затрат), а для обратнoосмотических установок – значительное количество сбросов концентрата (25-50% от исходной воды) [1,2].

Нивелирование основных недостатков рассматриваемых технологий опреснения с максимальным использованием их достоинств, для крупномасштабного опреснения возможно путем их комбинирования (создания гибридных систем) [3], что в сочетании с использованием бросового тепла ДЭС будет способствовать существенному снижению затрат на опреснение.

Настоящая статья посвящена результатам исследования технологии опреснения Каспийской воды, основанной на комбинировании обратнoосмотического и термического методов, с использованием испарителей мгновенного вскипания (ИМВ).

Предложена технологическая схема системы комбинированного опреснения, основанная на следующих процессах (рис. 1):

- двухстадийное опреснение: обратнoосмотическое на первой стадии с последующей термической дистилляцией полученных концентратов на ИМВ с использованием бросового тепла ДЭС;
- включение обратнoосмотической установки (ООУ) (4) между охлаждающим (2) и регенеративными (6) ступенями ИМВ, с нагревом питательной воды ООУ до 35-40 °С за счет тепла охлаждающих ступеней ИМВ;
- нагрев циркуляционного концентрата ИМВ за счет бросового тепла (БТ) ДЭС.

Для предотвращения выпадения CaCO_3 в конденсаторах охлаждающей секции предусмотрено подкисление (К) исходной воды. В зависимости от максимальной температуры нагрева концентрата (t_0) и выхода концентрата ООУ (α) предлагается два варианта предотвращения образования CaCO_3 и CaSO_4 на мембранах и теплообменных поверхностях регенеративной секции ИМВ: введение антинакипина (А) в питательную воду ООУ в области $t_0 < 120$ °С и $\alpha > 0,3$ и Mg-Na-катионитное (3) декальцирование питательной воды ООУ в области значений $t_0 \geq 120$ °С и $\alpha \leq 0,3$ с регенерацией катионита продувочной водой ИМВ [4].

¹ 370010, Азербайджанская Республика, г. Баку, пр. Азадлыг, 20 (20, Azadlyg Av., 370010, Baku, Azerbaijan).

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор А.Г.ЛАПТЕВ¹; инж. М.М.БАШАРОВ¹; асп. А.И.ФАРАХОВА¹
(ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»¹)

АННОТАЦИЯ.

В работе получены математические выражения для расчета эффективности турбулентного осаждения дисперсной фазы, которые могут быть использованы при проектировании тонкослойных отстойников. Представлены результаты расчетов эффективности турбулентной сепарации дисперсных частиц в тонкослойных отстойниках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка сточных вод, тонкослойные отстойники, осаждение дисперсных частиц, сепарация.

THE EFFECTIVENESS OF TURBULENT SEPARATION OF DISPERSED PHASE IN THIN-LAYER SETTLING TANKS

D. Sc. (Tech.) A.G.LAPTEV¹; Eng. M.M.BASHAROV¹; Eng. A.I.FARAKHOVA¹
(Kazan State Power Engineering University¹)

ABSTRACT.

In the work obtained mathematical expressions for calculation of efficiency of turbulent precipitation dispersed phase, which can be used for the design of thin-layer sedimentation tanks. Presents the results of calculations of the efficiency of turbulent separation particles dispersed in thin-layer settling tanks.

KEYWORDS: wastewater treatment, the thin-layer settling tanks, turbulent separation of dispersed phase, separation.

Фактором, существенно ограничивающим эффективность процесса осаждения дисперсных частиц в полых отстойниках, является большая высота зоны осаждения. Для ее уменьшения в полых отстойниках устанавливают горизонтальные или наклонные перегородки, пластины или трубы, которые повышают эффективность процесса (рис.1). Такие отстойники называют тонкослойными.

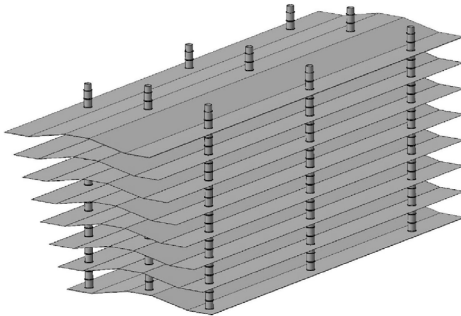


Рис.1. Сепарирующие тонкослойные элементы.

Тонкослойные отстойники рекомендуют для механической очистки производственных сточных вод нефтехимической, нефтяной, угольной и других отраслей промышленности [1-3]. В табл.1 приведены данные Verbeni P. по эффективности выделения нефтепродуктов в гравитационном отстойнике, оборудованном сепарирующими пластинами с зазором 100 мм, и пустотелом горизонтальном отстойнике.

Принцип действия любого аппарата основан на использовании одного или нескольких механизмов сепарации взвешенных в потоке дисперсных частиц. Влияние каждого из механизмов на общую эффективность сепарации зависит от размеров и плотно-

сти частиц, физических свойств среды и условий протекания процесса. При одновременном действии нескольких механизмов общая эффективность определяется по правилу аддитивности

$$\eta_{\Sigma} = 1 - \prod_i (1 - \eta_i), \quad (1)$$

где η_i – эффективность сепарации за счет i -го механизма.

Таблица 1
Выделение нефтепродуктов в отстойниках

Диаметр удаляемых частиц, мкм	Степень улавливания, %	
	без пластин	с пластинами
>150	100	100
120-150	83	100
90-120	75	100
60-90	64	94
30-60	43	81
0-30	23	69

Сепарация дисперсной фазы на пластины тонкослойного отстойника может происходить в результате диффузионного, гравитационного, инерционного и турбулентного осаждения. При проектировании тонкослойных отстойников рекомендуется проводить процесс в ламинарном режиме. Однако, при модернизации действующих в промышленности отстойников приходится решать задачи, когда расход жидкости и размеры отстойника заданы. При этом часто число Рейнольдса $Re_H > 500$ ($Re_H = W_{ж}H / \nu_{ж}$), т.е. режим турбулентный [1], где H – расстояние между пластинами, м; $W_{ж}$ – средняя скорость жидкости в канале между пластинами, м/с; $\nu_{ж}$ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с. Кроме этого для обеспечения равномерного профи-

¹ 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51 (51, Krasnoselskaya Str., 420066, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia).

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЭЦ В ПРУДАХ-ОТСТОЙНИКАХ

Д.т.н., профессор И.В.СЕМЕНОВА¹; инж. Е.И.ИВАНОВА²

(ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С.Черномырдина»¹ – ГУП «Мосводосток»²)

АННОТАЦИЯ.

В статье приведены и проанализированы данные по составу сточных вод и эффективности работы прудов-отстойников двух городских ТЭЦ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пруд-отстойник, экотоксикант, нефтепродукты, железо, степень очистки.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF WASTE WATERS TREATMENT OF CHP IN SETTLING PONDS

D. Sc. (Tech.) I.V.SEMENOVA¹; Eng. E.I.IVANOVA²

(Moscow State Open University named after V.S.Chernomyrdin¹ – State Unitary Enterprise «Mosvodostok»²)

ABSTRACT.

The article presents and analyses data on the composition of waste waters and the effectiveness of the work of settling ponds of two Moscow thermal power plants.

KEYWORDS: pond, environmental toxicant, oil products, iron, degree of purification.

Водная сеть города Москва испытывает большую антропогенную нагрузку, принимая в себя условно очищенные сточные воды промышленных предприятий. Предприятия энергетического комплекса составляют часть промышленного потенциала г.Москвы и вносят значительный вклад в техногенную нагрузку.

На протяжении трёх лет (2007-2009 гг.) мы проводили анализы по определению качества воды, которые городские ТЭЦ сбрасывают в водную сеть города. Обсуждению этих данных посвящена настоящая статья.

Из городских теплоэлектростанций для анализа в данной статье нами были выбраны два предприятия с близкими характеристиками, которые сбрасывают очищенную промышленную воду в р.Москву, р.Яузу и р.Городня.

Схема очистки промышленных вод ТЭЦ однотипна. Первоначально сточные воды проходят локальную очистку на предприятии, а затем на заключительной стадии частично очищенная вода поступает в пруды-отстойники. Пруд-отстойник представляет собой водоприемник, в котором вода отстаивается и проходит завершающие этапы очистки. Из пруда воду сбрасывают в реку. Таким образом, пруд-отстойник и реки города образуют единую природно-промышленную систему.

Конструкция прудов отстойников является типовой и однотипной у обоих изучаемых объектов. Каждый пруд разделен на две секции. Секции в прудах-отстойниках образуются продольными и поперечными разделительными стенками или дамбами. В верхней секции пруда устроены отсеки для задержания взвешенных веществ и нефтепродуктов. Пруды снабжены устройствами для сброса воды из верхних секций в нижние секции и перепуска очищенной воды в водоем или коллектор. Кроме указанных основных элементов, пруд-отстойник имеет оборудование для сбора нефтепродуктов и подземные емкости-накопители. Каждый из прудов (в тексте ПО-1 и ПО-2) расположен вблизи своей ТЭЦ.

Площадь зеркала воды у ПО-1 – 1,2 га, у ПО-2 – 1,5 га.

При анализе работы отстойников мы брали и анализировали пробы воды на входе в отстойник и на выходе из него перед непосредственным сбросом воды в природную водную артерию. В табл.1 приведены в качестве примера результаты анализов проб воды, взятых на входе и выходе из пруда-отстойника ПО-1.

Анализ многолетних статистических данных позволяет выявить ряд характеристик работы очистных сооружений промышленного предприятия:

- определить техногенную нагрузку, которую оказывает предприятия на водные объекты города;
- на основе анализа входных и выходных показателей оценить эффективность работы прудов-отстойников;
- при сравнении показателей различных предприятий сделать заключение о работе локальных систем очистки каждого отдельного предприятия.

В России принята система нормирования примесей, основанная на значении ПДК и оценки состояния сброса сточных вод в соответствие с этой величиной.

В зарубежных странах все большее значение приобретает нормирование, которое получило название «концентрация на конце трубы». Суть этого способа состоит в сравнении состава выбросов нескольких предприятий одного профиля. Считается, что если на предприятии применяется более совершенная технология производства или внедрены современные методы очистки, то содержание экотоксикантов в промышленных выбросах будет наименьшим. При таком варианте в качестве эталона выбирают предприятие, которое имеет наилучшие показатели по содержанию токсичных примесей. Предприятия, в выбросах которых содержатся большие концентрации токсичных веществ, облагаются штрафами, что побуждает их к внедрению новых технологий или совершенствованию систем очистки.

¹ 107996, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 22 (22, Pavla Korzhagina Str., 107996, Moscow, Russia).

² 119017, г. Москва, ул. Новокузнецкая, д.26/8, стр. 1 (26/8, build. 1, Novokuznetskaya Str., 119017, Moscow, Russia).

ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ

ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТУРБОАГРЕГАТОВ ТЭЦ, ГРЭС И АЭС

**Инж. В.М.КУРМАКАЕВ¹; заместитель генерального директора, д.т.н., профессор Л.А.ХОМЕНОК¹
(ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования
им. И.И. Ползунова», г.Санкт-Петербург¹)**

АННОТАЦИЯ.

В статье рассмотрены проблемы электроэрозионных повреждений турбоагрегатов. Описаны существующие взгляды на причины данных повреждений, выявлены их несовершенства и противоречия, рассмотрены положительные и отрицательные стороны существующих взглядов. Выявлена необходимость дальнейшего развития действенных методов предотвращения электроэрозионных повреждений. Показана необходимость создания единой научной базы по предотвращению электроэрозионных повреждений и определен круг актуальных вопросов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроэрозионные повреждения турбоагрегатов, роторные токи, предотвращение электроэрозионных повреждений, электромагнитная модель турбины и генератора.

PROBLEM OF ELECTRO-EROSIVE DAMAGES OF TURBINE UNITS OF CHP POWER PLANTS, STATE DISTRICT POWER PLANTS AND THE ATOMIC POWER PLANTS

**Eng. V.M.KURMAKAEV¹; D.Sc. (Tech.) L.A.KHOMENOK¹
(Joint-Stock Company «I.I.Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment»¹)**

ABSTRACT.

In article problems of electroerosive damages of turbine units are considered. Existing views at the reasons of the given damages are described; their imperfections and the contradiction are revealed, considered positive and negative sides of existing views. Necessity of the further development of effective methods of prevention of electro-erosive damages is revealed. Necessity of creation of uniform scientific base on prevention of electro-erosive damages is shown and the circle of pressing questions is defined.

KEYWORDS: spark damage to turbines, rotor currents, preventing damage to spark, electromagnetic model of the turbine and generator.

Как было показано в [1] проблема электроэрозионных повреждений связана с появлением паразитных напряжений и токов на валопроводе турбоагрегата. Она стала актуальной в 30-ые годы прошлого столетия. В это время были сделаны попытки объяснения данных повреждений, выявления причин их появления, и разработки методов по их предотвращению. Однако проблема остается актуальной и в настоящее время. В [1] были показаны негативные последствия разделения энергетического оборудования (в части предотвращения электроэрозионных повреждений) на тепломеханическую и электромеханическую составляющие.

В этой связи, в отечественной энергетике можно выделить два направления в объяснении причин электроэрозионных повреждений. Это так называемые «электромеханическое» и «тепломеханическое» направления.

Электромеханическое направление наиболее развито в среде инженеров, конструкторов на заводах-изготовителях электрических машин и на предприятиях, осуществляющих их ремонт и обслуживание. Данное направление характеризуется только теоретическими выкладками в объяснении причин появления паразитных напряжений и токов на валах турбогенераторов без проведения расчетного анализа и экспериментальных исследований. Не рассматриваются процессы протекания контурных (роторных) токов в генераторе и турбине в целом, а также не анализируется взаимное влияние электромагнитных и механических факторов на процессы электроэрозии. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что подавляющее количество случаев электроэрозионных повреждений происходит на турбинных узлах и деталях.

Подтверждением вышесказанного служат следующие факты:

- заводы-изготовители не нормируют безопасный уровень паразитного напряжения на валу генератора и не представляют расчетных зависимостей данного напряжения от режимов работы генератора [2];

- при расчете магнитного поля учитывается только радиальный (рабочий) магнитный поток генератора, а осевой поток от лобовых частей обмоток учитывается только как дополнительные потери в его элементах, при этом считается, что он не выходит за пределы генератора и не оказывает влияния на турбинное оборудование [2];

Данное направление характеризуется тем, что основными мероприятиями по предотвращению электроэрозионных повреждений являются мероприятия, выработанные еще в 30-ые годы прошлого века – это размыкание контура роторных токов, т.е. установка подстоловой изоляции и заземление валопровода [3]. Однако, как указывалось в [1], основной объем электроэрозионных повреждений происходит именно на взаимосопрягаемых деталях и узлах турбины. Это говорит о непричастности в большинстве случаев паразитных контурных (роторных) токов, созданных несимметрией магнитной системы генератора, рисунок 1. Так как в каждом таком случае при замыкании контура тока должны страдать как подшипники турбины, так и подшипники генератора (возбудителя), что на практике происходит крайне редко. Так же и продольный магнитный поток в роторе генератора, (создающий униполярную ЭДС и токи в подшипниках), гораздо больше, чем в роторах турбины, но, как указывалось выше, подшипники генератора страдают крайне редко.

¹ 191167, г. Санкт-Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6 (3/6, Atamanskaya Str., 191167, Saint-Petersburg, Russia).

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПО ВЫБОРУ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Заведующий кафедрой, к.т.н., профессор В.Д.БУРОВ¹; к.т.н., доцент А.А.ДУДОЛИН¹; с.н.с., к.т.н. В.В.МАКАРЕВИЧ¹; ст. преподаватель Е.В.МАКАРЕВИЧ¹
(Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт¹)

АННОТАЦИЯ.

В статье рассмотрен метод выбора газопоршневых установок для энергетических предприятий небольшой мощности. Приведены технические характеристики газопоршневых установок различных производителей. Показано, что выбор конкретного типа ГПУ для каждого проекта является сложной многокритериальной задачей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: газопоршневые энергоустановки, факторно-критериальная модель, КПД, категории потребителей.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF SELECTION OF GAS-PISTON POWER PLANTS

Ph.D. (Tech.) V.D.BUROV¹; Ph.D. (Tech.) A.A.DUDOLIN¹; Ph.D. (Tech.) V.V.MAKAREVICH¹; Eng. E.V.MAKAREVICH¹
(Moscow Power Engineering Institute¹)

ABSTRACT.

The article deals with the method of selection of gas-piston installations for power plants of small capacity. Shows the technical characteristics of gas-piston plants of different manufacturers. It is shown that the choice of a particular type of GPU for each project is a complex multi-criteria task.

KEYWORDS: gas piston power plants, factor-criteria model, efficiency, categories of consumers.

Средний возраст оборудования ТЭС превышает 30 лет, износ оборудования ежегодно нарастает. В новых экономических условиях при высоком уровне инфляции и отсутствии возможности использования централизованных средств для замещения отработавших свой ресурс и требующих замены генерирующих мощностей, ориентация на традиционное централизованное электро- и теплоэнергоснабжение от крупных источников становится проблематичной. К тому же до 70% территории России находится в зонах децентрализованного электроснабжения. Доставить туда электроэнергию — задача, посильная только «малой энергетике». Энергетика России является по большей части «малой» в количественном аспекте, а средняя мощность электростанции составляет всего 340 кВт.

«Малая энергетика» - сегмент энергетического хозяйства, включающий в себя генерирующие установки и энергообъекты, установленной мощностью до 30 МВт, в том числе не подключенные к централизованным электросетям, функционирующие на основе традиционных видов топлива и на основе возобновляемых источников энергии [1].

1) «Малая энергетика» обычно включает в себя локальные энергообъекты, как правило, независимые от районных энергокомпаний, являющихся монополистами на рынке;

2) Энергообъекты «малой энергетике» используются в качестве главных источников энергоснабжения небольших городов, поселков, торговых и спортивных центров промышленных предприятий и различных месторождений топливно-энергетического комплекса;

3) Заказчиками строительства объектов малой энергетике выступают, промышленные предприятия разных отраслей экономики, а также различные административные образования и частные компании.

4) Единичная мощность агрегатов малой мощ-

ности на объекте малой энергетики, как правило, не превышает 10 МВт.

5) Объекты «малой энергетики» могут работать как изолировано от энергосистемы - в островном режиме, так и параллельно с существующими сетями, когда основная часть электроэнергии вырабатывается собственным энергокомплексом, а пиковая нагрузка обеспечивается от энергосистемы.

Согласно «Сценарным условиям развития электроэнергетики на период до 2030 г.» предусматривается стимулирование использования экологических и энергоэффективных технологий, а также обеспечение прямой поддержки со стороны государства подобных инвестиционных проектов.

Наибольшее применение в «малой энергетике» нашли энергоустановки на базе высокоэффективных поршневых (ГПУ) или газотурбинных двигателей (ГТУ). Одним из важных критериев выбора того или иного агрегата в качестве энергоисточника, является КПД производства электроэнергии в простом цикле, т.е. без утилизации тепловой энергии. ГПУ, по сравнению с ГТУ, менее чувствительны к влияниям температуры наружного воздуха; характеризуется более высоким и более устойчивым значением КПД производства электроэнергии в широком диапазоне изменения нагрузки.

В настоящее время электростанции на базе ГПУ мощностью от 1,0 до 4,0 МВт являются наиболее востребованным источником постоянного энергоснабжения различных категорий потребителей. Газопоршневые установки единичной мощностью 8,0÷9,0МВт, как и более мощные газодизельные установки, применяются реже и на более крупных энергообъектах. В зависимости от вида топлива газопоршневой электростанции (ГПЭС), графиков и характера электрических нагрузок потребителей электроэнергии, рассматривались четыре основные категории:

¹ 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14 (14, Krasnokazarmennaya Str., 111250, Moscow, Russia).

О РАСЧЕТЕ ТЕПЛОБМЕНА В ТОПКАХ ЖАРОТРУБНЫХ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

К.т.н., профессор А.А.ВЕРЕС¹; к.т.н., доцент О.Г.САПУНОВ¹

(ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С.Черномырдина»¹)

АННОТАЦИЯ.

В статье приведена уточненная методика расчета теплообмена в жаротрубных паровых и водогрейных котлах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жаротрубный котел, теплофикация, теплообмен, температура горения.

ABOUT HEAT EXCHANGE CALCULATION IN FIRE CHAMBERS OF FIRE TUBE STEAM AND WATER-HEATING BOILERS

Ph.D. (Tech.) A.A.VERES¹; Ph.D. (Tech.) O.G.SAPUNOV²

(Moscow State Open University named after V.S.Chernomyrdin¹)

ABSTRACT.

In the article the modern method of calculation of heat exchange in the fire tube steam and water-heating boilers is resulted.

KEYWORDS: fire tube steam and water-heating boilers, heat transfer, combustion temperature.

В настоящее время в системах теплоснабжения часто используются жаротрубные паровые и водогрейные котлы в диапазоне мощности от 1 до 7 МВт. Это обусловлено стремлением сократить энергетические потери, эксплуатационные и капитальные затраты.

В работе [1] исследованы перспективы использования жаротрубных водогрейных котлов для модульных котельных с высоким уровнем автоматизации технологических процессов. В рассматриваемой котельной установлены три жаротрубных водогрейных котла ТТГ-7000, производимых фирмой «РЭМЭКС» (г.Черноголовка Московской области). Показано преимущество в теплоснабжении модульной котельной по сравнению с традиционными котельными, имеющими в своём составе водотрубные котлы. Кроме того водотрубные котлы имеют большие значения к.п.д. (более 92%), что сокращает энергетические потери.

В данной работе предлагается уточнение существующей методики расчёта экранных топков котельных агрегатов [2] применительно к жаротрубным котлам. Расчётная схема жаротрубного котлоагрегата представлена на рис.1. По движению газов котёл выполнен трёхходовым. Прямое течение – по жаровой трубе 3, обратное – по входным дымогарным трубам 5 и снова – прямое по выходным дымогарным трубам 6, далее по коллектору 9 покидают пределы котла. Рабочий объём котла образован внешним барабаном 1 и жаровой трубой 3, замкнутыми на переднюю 10 и задние 11, 12 трубные доски и внутреннее 13 и внешнее 14 днища. Днища 13 и 14 соединены между собой кронштейнами 15. Для ис-

ключения перегрева фронтальная часть котла в месте установки горелочного устройства 2 защищена изоляцией. Котёл установлен на раме 16, что в значительной мере облегчает транспортировку и монтаж котла.

Отмеченные особенности конструкции жаротрубного котла вызывают затруднения при расчёте теплообмена в топке. Конструкция топки жаротрубного котла существенно отличается от топков, серийно выпускаемых в Российской Федерации промышленных водогрейных и паровых котлов. Из рассмотрения исключены жаротрубные паровые котлы с производительностью менее 2 т/ч и водогрейные с тепловой мощностью менее 2 МВт. Сравнение производилось с водогрейными котлами типа КВ-ГМ-6,5-150, КВ-ГМ-10-150 Дорогобужского котельного завода и паровыми котлами типа ДЕ-4-14ГМ, ДЕ-6,5-14ГМ, ДЕ-10-14ГМ Бийского котельного завода.

Тепловой расчёт топки жаротрубного котла производился по методике [2] с коррекцией на отличия жаровой топки от традиционных экранных топков. В качестве топлива для котельного агрегата выбран природный газ Московского кольца следующего состава: $\text{CH}_4=96,57\%$, $\text{C}_2\text{H}_6=1,4\%$, $\text{C}_3\text{H}_8=0,4\%$, $\text{C}_4\text{H}_{10}=0,18\%$, $\text{C}_5\text{H}_{12}=0,1\%$, $\text{N}_2=1,2\%$, $\text{CO}_2 \leq 0,12\%$.

Низшая теплота сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{c}} = 36300 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$ ($8670 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$). Теоретический объём воздуха для сжигания 1 м^3 газа $V^0 = 9,62 \text{ м}^3 / \text{м}^3$. Объёмы продуктов сгорания при $\alpha = 1,0$ - $V_{\text{RO}_2} = 1,02 \text{ м}^3 / \text{м}^3$, $V_{\text{N}_2}^0 = 7,61 \text{ м}^3 / \text{м}^3$, $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 2,16 \text{ м}^3 / \text{м}^3$, $V_{\text{r}}^0 = 10,79 \text{ м}^3 / \text{м}^3$.

¹ 107996, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 22 (22, Pavla Korchagina Str., 107996, Moscow, Russia).

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПГУ-ТЭЦ, РАССЧИТАННЫХ МЕТОДОМ КПД ОТБОРОВ И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

К.т.н., доцент А.М.КУЗНЕЦОВ¹

(Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт¹)

АННОТАЦИЯ.

В статье приведена методика и результаты расчетов показателей работы парогазовой ТЭЦ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: парогазовая ТЭЦ, экономия топлива, расчет КПД, эксергетический метод.

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF THE CCGT-CHP, CALCULATED BY THE METHOD EFFICIENCY OF THE STEAM EXTRACTION AND EXERGY METHOD

Ph.D. (Tech.) A.V.KUZNETSOV¹

(Moscow Power Engineering Institute¹)

ABSTRACT.

The article presents the methods and results of calculations of the parameters of work combined-cycle steam and gas CHP power station.

KEYWORDS: combined-cycle steam and gas CHP, fuel economy, calculation of efficiency, exergy method.

На рис.1 показана упрощенная схема ПГУ-ТЭЦ, примененная в [1]. В статье [2] приведена формула для определения КПД отбора:

$$\eta_T = 0,002(t_n - t_k), \quad (1)$$

где t_n и t_k – температура насыщения пара в сетевом подогревателе и в конденсаторе, °С.

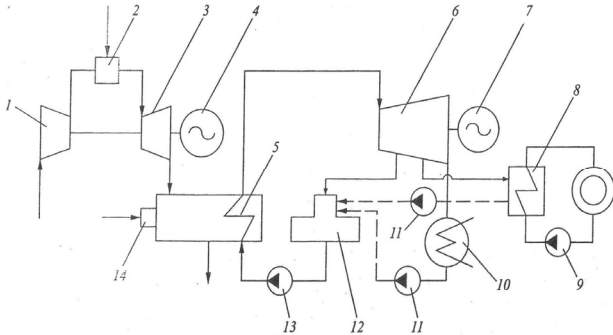


Рис. 1. Тепловая схема ПГУ-ТЭЦ.

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3,6 – газовая и паровая турбины; 4,7 – генераторы; 5 – котел-утилизатор; 8 – сетевой подогреватель; 9,11,13 – сетевой, конденсатный, питательный насосы; 10 – конденсатор; 12 – деаэрактор; 14 – дожигающее устройство.

В этой же статье даны и другие формулы, необходимые для расчетов расходов топлива.

КПД ПГУ определяется с применением КПД отбора:

$$\eta = \frac{(N_T + N_P)\eta_{сн}^э + Q_T\eta_T\eta_{сн}^T}{V_{ГТУ}Q_H^P}, \quad (2)$$

где N_T и N_P – электрическая мощность газовой и паровой турбин, МВт;

$V_{ГТУ}$ – расход условного топлива на ГТУ, кг/с;

$\eta_{сн}^э$ и $\eta_{сн}^T$ – коэффициенты, учитывающие электрические и тепловые потери;

Q_T – отдаваемое потребителю тепло, МВт;

Q_H^P – теплотворная способность условного топлива, кДж/кг.

Величины, необходимые для расчета, заимствованы из [3].

В результате расчета показателей ТЭЦ методом КПД отборов по формулам (1) и (2) для зимнего режима получаем:

$$\eta_T^э = 0,182; \quad \eta^э = 0,587.$$

В результате расчета показателей ТЭЦ методом КПД отборов по формулам (1) и (2) для летнего режима получаем:

$$\eta_T^л = 0,152; \quad \eta^л = 0,563.$$

Удельный расход условного топлива на отпущенное тепло для потребителя по методу КПД отборов определяется формулой:

$$b_T = \frac{34,1 \cdot \eta_T}{\eta_k \eta_o \eta_{эс}}, \quad (3)$$

где η_k и η_o – КПД котла и турбины, замещающей КЭС;

$\eta_{эс}$ – КПД, учитывающий потери электроэнергии при передаче электроэнергии от замещающей КЭС к потребителю.

Для зимнего режима:

$$b_T^э = 18,5 \text{ кг/ГДж.}$$

Для летнего режима:

$$b_T^л = 15,4 \text{ кг/ГДж.}$$

По эксергетическому методу найдено $b_T^э = 38,046 \text{ кг/ГДж}$ и $b_T^л = 34,63 \text{ кг/ГДж}$ [3]. Расход топлива на отпускаемое тепло по эксергетическому методу получился значительно завышенным.

Расход топлива на отопление сильно зависит от температуры наружного воздуха. В [4] приведены среднемесячные наружные температуры ряда городов России. Воспользуемся этим приложением и рассчитаем показатели работы ТЭЦ в отопительный период в г.Москве. Отопительный период для Москвы длится 7 месяцев. Температура наружного воздуха меняется от +8 °С до -26 °С. График температур сетевой воды показан на рис.2. Расчетные тем-

¹ 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14 (14, Krasnokazarmennaya Str., 111250, Moscow, Russia).

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Д.т.н., профессор Р.А.АМЕРХАНОВ¹; к.т.н., доцент К.А.ГАРЬКАВИЙ¹
(ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», г.Краснодар¹)

АННОТАЦИЯ.

Изложен метод оценки надежности энергетической системы на основе положений теории графов. Приведен метод определения вероятности существования или исключения связанных случайных величин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надежность системы, теория графов, математическая логика.

ANALYSIS OF ENERGETIC SYSTEM RELIABILITY BY METHODS OF GRAPH THEORY

D.Sc. (Tech.) R.A.AMERKHANOV¹; Ph.D. (Tech.) K.A.GARKAVIY¹
(Kuban state agrarian university, Krasnodar¹)

ABSTRACT.

Method of energetic system reliability assessment on the basis of the graph theory rules is stated. There was cited the method of determination of existence probability or the deletion of linked random quantity.

KEYWORDS: system reliability, graph theory, mathematical logics.

При оценке эффективности функционирования технических систем важную роль играют многие факторы. В общем случае различают три класса объективных критериев оценки: технические показатели, экономические показатели, показатели надежности [1,2].

Надежность, которая в действительности реализуется у изделия, зависит от концепции разработки, культуры производства и последующей грамотной эксплуатации до некоторого предельного состояния. Следует отметить, что расчеты по надежности представляют собой лишь незначительную часть объема работ в рамках целого комплекса практической деятельности по обеспечению надежности, включая, в первую очередь, теорию надежности технических систем.

Достаточно общий метод исследования надежности, использующий такие понятия, как структурная схема расчета, диаграмма состояний и т.д., дает теория графов. Использование положений теории графов при решении задач надежности технических систем имеет ряд преимуществ [3,4]:

- метод теории графов является весьма естественным для описания многих технических систем, в том числе коммуникационных систем;

- представление структуры системы в виде графа является удобным этапом формулировки математической модели изучаемого явления;

- при решении задачи можно использовать уже имеющийся математический аппарат теории графов.

Для графов с конечным числом вершин и ребер, проблема существования алгоритма решения задач, в том числе экстремальных, как правило, решается положительно. Для решения задач математического моделирования, анализа и оптимизации технических систем обращаются к топологическим моделям. Они позволяют установить зависимость взаимосвязи между изменениями технологии и количественными характеристиками изучаемой системы от входных переменных, воздействующих на систему [5].

В данном случае следует обратиться к параметрическим потоковым графам. Параметрические потоковые графы – это взвешенные по дугам и вершинам связанные орграфы, отображающие преобразование элементами системы параметров физических потоков системы. Вершины параметрического потокового графа отображают элементы (технологические операторы) системы, а также точки стыковки сетей, источни-

ки и стоки физических потоков. Вес каждой вершины соответствует системе уравнений математической модели изучаемой установки. Дуги параметрического потокового графа соответствуют физическим потокам системы.

При построении топологии анализируемой системы руководствуются следующими правилами:

- техническая система подразделяется на свои составляющие элементы (компоненты); у каждого двухполосного элемента ребра графа измеряют значение разностной величины (РВ) (к примеру, напряжения);

- точки, между которыми нет РВ, отличной от нуля, в графе объединяют в одну точку;

- элементы системы заменяют точками, а связь между ними – соединительной линией (соответствующими ребрами).

Знак ребра между двумя вершинами может быть положительным или отрицательным в зависимости от направления РВ.

Граф в общем случае может состоять из n ветвей и k узлов, которые можно пронумеровать в соответствующей последовательности. Начальную позицию (вершину) обозначим как $(k-1)$, а конечную – как k . Между начальным и конечным вершинами структурной схемы расчета надежности вводится фиктивная, нулевая ветвь. Топология структурной схемы расчета надежности определяется матрицей инцидентностей, элементы которой записываются так:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я вершина связана с } i\text{-м ребром} \\ 0, & \text{если } i\text{-я вершина не связана с } i\text{-м ребром} \end{cases} \quad (1)$$

Для описания орграфа пользуются матрицей инцидентностей. Напомним, что инцидентность – это геометрический термин, характеризующий принадлежность (связи, соединения) между основными структурными элементами системы.

Пусть G – граф, имеющий n вершин и m ребер. Матрица инцидентностей размером $n \times m$ указывает на то, что n столбцы соответствуют вершинам, а m строк – ребрам графа. Какой-либо элемент матрицы a_{ij} принимает значение 1 или 0 в зависимости от того, инцидентно j -е ребро i -й вершине или нет. Для петли, если они имеются, все элементы столбца считаются равными 0. Следует, что в основе расчета матрицы находится булева функция [6].

Булева функция – это функция, аргументы которой, как и сама функция, принимают значения из двухэле-

¹ 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13 (13 Kalinina Str., 350044, Krasnodar, Russia).

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕГУЛЯРНЫХ НАСАДОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В ГРАДИРНЕ

Асп. Д.Ф.МАСАГУТОВ¹; с.н.с., к.т.н. А.С.ПУШНОВ¹
(ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет инженерной экологии»¹)

АННОТАЦИЯ.

Анализ влияния удельной поверхности и гидравлического сопротивления регулярных насадок на эффективность процесса испарительно-го охлаждения оборотной воды в градирне. Рассмотрены оросители различного типа – пленочные, капельные и капельно-пленочные. Показано, что пленочные оросители, имеющие более развитую удельную поверхность контакта взаимодействующих фаз, обеспечивают большую эффективность процесса тепло- и массообмена.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градирня, обратное водоснабжение, регулярные насадки.

THE INFLUENCE OF THE SPECIFIC SURFACE AND HYDRAULIC RESISTANCE OF REGULAR PACKING ON THE EFFICIENCY OF EVAPORATIVE COOLING OF RECYCLED WATER IN A COOLING TOWER

Eng. D.F.MASAGUTOV¹; Ph.D. (Tech.) A.S.PUSHNOV¹
(Moscow State University of Environmental Engineering¹)

ABSTRACT.

The article concerns the analysis of the specific surface area and hydraulic resistance of regular packing on the efficiency of evaporative cooling of circulating water in cooling towers. Sprinklers are considered different types - film, drip and drip-film. It is shown that the film sprinklers having a more developed specific surface area of contact of the interacting phases provide greater efficiency of heat and mass transfer.

KEYWORDS: the cooling tower, circulating water supply, regular packing.

Регулярные насадки различного типа – пленочные, капельные и капельно-пленочные из различных материалов в настоящее время в больших масштабах находятся в эксплуатации в секционных вентиляторных и башенных градирнях систем обратного водоснабжения в энергетике и других отраслях промышленности.

Оценка энергоэффективности осуществляемого в градирнях процесса испарительного охлаждения связана, главным образом, с гидравлическим сопротивлением блоков используемой там насадки. В свою очередь, гидравлическое сопротивление насадки определяется её геометрическими характеристиками, к которым относятся развиваемая насадкой удельная поверхность – a , м²/м³ и доля свободного объема (порозность) – ε , м³/м³.

Указанные геометрические характеристики насадки связаны между собой соотношением:

$$d_e = (4 \cdot \varepsilon) / a, \quad (1)$$

где d_e – эквивалентный диаметр канала, образованного элементами насадки, м.

Численно величина порозности равна живому сечению насадки.

Общепринятая в теплоэнергетике зависимость для оценки охлаждающей способности различных конструкций насадки по величине объемного коэффициента тепломассоотдачи β_{xv} в градирнях имеет вид [1]:

$$\beta_{xv} = (G_{ж} \cdot \Delta t \cdot c_{ж}) / (K \cdot V \cdot \Delta i_{cp}), \quad (2)$$

где $G_{ж}$ – массовый расход охлаждающей воды, кг/с;

$\Delta t = (t_{гор} - t_{охл})$ – перепад температур (глубина охлаждения), °С;

$c_{ж}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С);

K – поправочный коэффициент в уравнении теплового баланса;

V – объем оросителя (насадки), м³;

Δi_{cp} – средняя логарифмическая разность тепло-содержаний насыщенного воздуха при температуре воды и воздуха в основной массе потока, Дж/кг.

По вычисленным из формулы (2) коэффициентам теплоотдачи – β_{xv} строят график зависимости вида:

$$\beta_{xv} / q_{ж} = f(\lambda). \quad (3)$$

По этому графику определяют значения коэффициентов A и показателя степени m в формуле:

$$\beta_{xv} = A \cdot \lambda^m \cdot q_{ж}. \quad (4)$$

В формуле (4) m – показатель степени;

A – коэффициент, м⁻¹;

$\lambda = q_v / q_{ж}$ – относительный расход воздуха, кг/кг;

q_v – удельный массовый расход атмосферного воздуха, кг/(м²·с);

$q_{ж}$ – удельная массовая плотность орошения, кг/(м²·с);

В формуле (4) коэффициент A отражает влияние конструктивных особенностей данного типа насадки на её охлаждающую способность при осуществлении процесса испарительного охлаждения оборотной воды в градирнях. По величине коэффициента A , имеющего размерность м⁻¹, обычно производят сравнение различных конструкций насадок между собой.

¹ 105066, г. Москва, ул. Старая Басманная, д. 21/4 (21/4, Staraya Basmannaya Str., 105066, Moscow, Russia).

К РАСЧЕТУ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ НАСАДКИ

Д.т.н., профессор А.В.БАРАКОВ¹; к.т.н., профессор В.Ю.ДУБАНИН¹; к.т.н., доцент Н.Н.КОЖУХОВ¹; ст. преподаватель, к.т.н. Д.А.ПРУТСКИХ¹
(ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»¹)

АННОТАЦИЯ.

В работе получено аналитическое выражение для определения высоты слоя дисперсного материала в воздухоохладителе косвенно-испарительного типа с центробежным псевдооживленным слоем насадки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздухоохладитель, псевдооживленный слой, высота слоя, косвенно-испарительное охлаждение.

ABOUT THE CALCULATION OF AN AIR COOLER INDIRECT-EVAPORATIVE TYPE WITH CENTRIFUGAL FLUIDIZED BED OF THE PACKING

D.Sc. (Tech.) A.V.BARAKOV¹; Ph.D. (Tech.) V.Yu.DUBANIN¹; Ph.D. (Tech.) N.N.KOZHUKHOV¹; Ph.D. (Tech.) D.A.PRUTSKIKH¹
(Voronezh State Technical University¹)

ABSTRACT.

In this work it was obtained an analytical equation for the height of a layer of disperse material in an air cooler indirect-evaporative-type with centrifugal fluidized bed of the packing.

KEYWORDS: air cooler, pseudo-liquefied layer, the layer height, indirect-evaporative cooling, packing.

Способ водоиспарительного охлаждения основан на термодинамической неравномерности атмосферного воздуха, которую можно считать нетрадиционным (возобновляемым) источником энергии в системах кондиционирования производственных и жилых помещений [1].

Эффективность работы испарительного воздухоохладила, как известно, во многом определяется такими параметрами его насадки, как удельная поверхность контакта фаз, интенсивность тепло-массообмена, смачиваемость, стойкость к коррозии и стоимость. Насадка в виде центробежного псевдооживленного слоя дисперсного материала не только наиболее полно отвечает указанным требованиям, но и позволяет осуществлять регенеративную передачу теплоты от вспомогательного потока воздуха к основному [2,3]. Принципиальная схема такого воздухоохладила показан на рис.1.

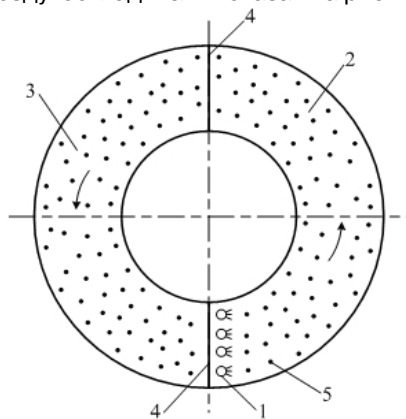


Рис.1. Принципиальная схема воздухоохладила (вид сверху).

1 – форсунки для подачи воды; 2 – «мокрая» камера; 3 – «сухая» камера; 4 – вертикальные перегородки; 5 – частица дисперсного материала.

Воздухоохладитель состоит из кольцевой камеры, разделенной вертикальными перегородками 4 на «мокрую» и «сухую» части. В нижней части пере-

городок 4 (около газораспределительной решетки) выполнены окна для циркуляции насадки.

В начале «мокрой» камеры 2 расположены форсунки 1 для увлажнения частиц дисперсного материала. Подача воды в них должна регулироваться таким образом, чтобы в конце «мокрой» камеры насадка полностью высыхала. При этом температура насадки уменьшается. Её предельное значение равно температуре мокрого термометра. В «сухой» камере насадка нагревается, обеспечивая при этом соответствующее охлаждение воздуха.

Основным конструктивным параметром такого воздухоохладила является высота слоя насадки. Для ее определения рассмотрим процесс тепло-массообмена в «мокрой» камере аппарата.

Выделим в движущемся слое насадки элемент $dydz$ (рис.2) и составим для него уравнение теплового баланса

$$c_B \rho_B w_B dydz = \alpha (\theta - t) f_{уд} dzdy, \quad (1)$$

где c_B – теплоемкость воздуха; ρ_B – плотность воздуха; w_B – скорость воздуха; t – температура воздуха; α – коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности частиц; θ – температура частиц; $f_{уд}$ – удельная поверхность частиц.

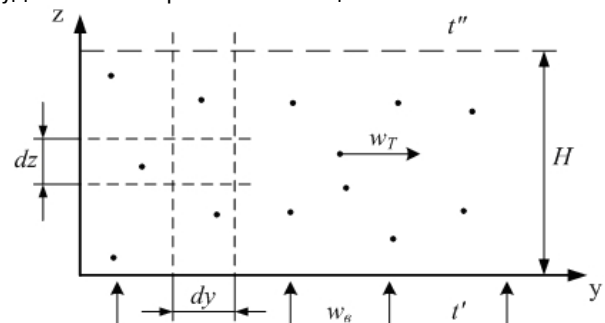


Рис.2. Расчетная схема тепло-массообмена.

Разделяя переменные и интегрируя (1) при начальном условии $z=0, t=t'$, получим

¹ 394026, г. Воронеж, Московский проспект, д. 14 (14, Moskovskiy Prospekt, 394026, Voronezh, Russia).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОСТОЙ ПЕРЕГОНКИ ВОДНОГО РАСТВОРА ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Ассистент Д.В.ФЕОКТИСТОВ¹

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹)

АННОТАЦИЯ.

Экспериментально получены термограммы простой перегонки водных растворов бинарных смесей. Установлены границы интервалов изменения температуры паров, соответствующие определенным стадиям процесса перегонки. Приведены результаты экспериментальной оценки влияния мощности тепловой энергии, подводимой к перегонному аппарату, на удельный расход тепла и производительность. Даны рекомендации о величине подводимой тепловой энергии по интервалам изменения температуры паров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: термограмма, перегонка, тепловой баланс, оценка энергоэффективности, диффузия.

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF POWER EFFICIENCY OF PROCESS OF SIMPLE DISTILLATION OF THE WATER SOLUTION OF ETHYL SPIRIT

Eng. D.V.FEOKTISTOV¹

(National research Tomsk polytechnic university¹)

ABSTRACT.

Thermograms of simple distillation of aqueous solutions of binary mixes are experimentally gained. Boundary lines of intervals of change of temperature of steams, matching to certain stages of process of distillation are installed. Results of an experimental estimation of agency of power of thermal energy brought to the distiller, on a specific heat abstraction and productivity are resulted. Recommendations about magnitude of brought thermal energy on intervals of change of temperature of steams are made.

KEYWORDS: thermogram, distillation, heat balance, energy efficiency estimation, diffusion.

Наиболее неэкономичным по потреблению энергии из типовых процессов химической технологии являются процессы разделения [1]. Большая часть затрат (55,9%) приходится на дистилляцию [2]. Свыше 65% энергии, расходуемой на ректификацию, потребляется нефтеперерабатывающей промышленностью, до 29% – химической, свыше 5% – газоперерабатывающей [3]. Эффективность полезного использования тепла в процессах ректификации не превышает 5-10% [4]. Все это явилось обоснованием многочисленных исследований, направленных на повышение эффективности потребления и преобразования энергии в ректификационных и перегонных аппаратах.

Проблема оптимизации использования тепла в установках по разделению бинарных и многокомпонентных жидкостей решается достаточно давно [5]. В качестве критерия оптимальности ректификационных и перегонных аппаратов чаще всего используется себестоимость продукции, капитальные и эксплуатационные затраты, время окупаемости и др. [6].

Необходимая для проведения процесса разделения в промышленных аппаратах тепловая энергия может быть определена двумя методами: аналитическим на основе решения уравнения теплового баланса [3] или графоаналитическим с использованием тепловых диаграмм [4]. Эти методы не обеспечивают вычисление значения оптимальной величины подводимого тепла.

Целью данной работы является экспериментальная оценка энергоэффективности процесса простой перегонки водного раствора этилового спирта, типичного вещества, которое употребляют как основное сырье или вспомогательный материал более 150 различных производств [5].

Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, моделирующей условия работы перегонного аппарата.

Для исследуемого процесса уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_{\text{спир.}} = Q_{\text{п.о.с.}} + Q_{\text{н.и.}} + Q_{\text{дист.}} + Q_{\text{куб.}} + Q_{\text{э.у.}},$$

где Q , Дж, – тепло: выделяемое источником нагрева (спиралью), за время работы перегонного аппарата τ , $Q_{\text{спир.}}$; затраченное на нагревание до температуры испарения перегоняемого вещества, $Q_{\text{н.и.}}$; аккумулированное: дистиллятом, $Q_{\text{дист.}}$, кубовым остатком, $Q_{\text{куб.}}$, элементами установки, $Q_{\text{э.у.}}$. $Q_{\text{п.о.с.}}$ – потери теплоты в окружающую среду, Дж.

Используя результаты серии экспериментальных опытов для исследуемого процесса, установлены составляющие теплового баланса, которые сведены в табл.1, их анализ показал что, полезно использованное тепло $Q_{\text{н.и.}}$ установки составляет 43,43%.

Таблица 1
Тепловой баланс процесса простой перегонки

Составляющая баланса	$Q_{\text{спир.}}$	$Q_{\text{п.о.с.}}$	$Q_{\text{н.и.}}$	$Q_{\text{э.у.}}$	$Q_{\text{куб.}}$	$Q_{\text{дист.}}$
%	100	49,00	43,43	5,57	1,80	0,20

По серии экспериментальных опытов, получены термограммы простой перегонки, на рис.1 приведена термограмма 40% водного раствора этилового спирта. Из анализа термограммы, установлены интервалы изменения температуры паров, которая замерялась платиновым термометром сопротивления в точке отвода паровой фазы по патрубку колбы Вюрца, соединенному с охлаждающей емкостью.

Выделим следующие температурные интервалы, которые характеризуют определенные стадии процесса простой перегонки бинарных смесей:

I. Разогрев перегоняемого вещества.

II. Интенсивное увеличение температуры до кипения низкокипящего компонента.

¹ 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30 (30, Prospekt Lenina, 634050, Tomsk, Russia).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОК КАНАЛЬНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Д.т.н., профессор В.И.ЛЕЛЕКОВ¹; асп. В.Л.ГУСАРОВ¹
(ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С.Черномырдина»¹)

АННОТАЦИЯ.

Описана методика оптимизации толщин стенок стальных трубок для активных зон ядерных реакторов, базирующаяся на оценке надежности методом статистических испытаний Монте-Карло.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ядерный реактор, надежность, активная зона, стальные трубки.

APPLICATION OF THE MONTE CARLO METHOD FOR OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE TUBE CHANNEL OF NUCLEAR REACTORS WITH TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY INDEXES

D.Sc. (Tech.) V.I.LELEKOV¹; Eng. V.L.GUSAROV¹
(Moscow State Open University named after V.S.Chernomyrdin¹)

ABSTRACT.

A technique for optimization of wall thicknesses of steel tubes for the active zones of nuclear reactors, based on the evaluation of the reliability by the method of the statistical tests of Monte-Carlo is described.

KEYWORDS: nuclear reactor, reliability, active zone, steel tubes.

Повышение рабочей температуры и давления теплоносителя [1] приводит к необходимости изменять в активной зоне реактора трубки из температуростойких аустенитных сталей, что неблагоприятно сказывается на нейтронно-физических характеристиках реактора. В этой связи приобретает актуальность задача выбора оптимальных толщин стенок стальных трубок, рекомендуемых для работы в условиях активных зон реакторов канального типа.

К толщинам стенок рассматриваемых трубок предъявляются два противоречивых требования. С одной стороны, толщина стенки должна быть достаточной, чтобы обеспечивать надлежащую прочность и надежность трубок. С другой стороны она должна быть минимально необходимой, чтобы обеспечивать хорошие нейтронно-физические характеристики и, как следствие, высокие технико-экономические показатели ядерной энергетической установки (ЯЭУ).

Известно, что существует некоторое оптимальное значение стенки рассматриваемых трубок, при которой себестоимость вырабатываемой АЭУ энергии минимальна и надежность канала приемлема. При значениях толщин стенок, больших оптимального значения, себестоимость возрастает из-за ухудшения нейтронно-физических характеристик реактора. При значениях толщин, меньших оптимального значения, себестоимость также возрастает по причине появления отказов трубок (нарушение герметичности) и связанных с ними простоев установки для устранения последствий отказов, а также из-за увеличения стоимости общей загрузки урана в реак-

тор, так как топливные каналы с отказавшими трубками выгружаются с недовыгоревшим горючим.

На основе вышеизложенного можно сформулировать следующие положения:

- для определения оптимальной толщины стенок трубок из аустенитной стали, работающих в активной зоне, необходимо исследование зависимости себестоимости C вырабатываемой энергии от толщины S стенок трубок: $C = f(S)$ - для построения такой зависимости необходима разработка методики оценки показателей надежности трубок, в частности методики, позволяющей рассчитывать вероятность отказа трубки как функцию ее толщины и времени эксплуатации;

- наряду с решением основной достаточно сложной задачи определения оптимального значения толщины стенки $S_{\text{опт}}$ соответствующему минимуму себестоимости, большой практический интерес представляет поиск хотя бы некоторого первого приближения к $S_{\text{опт}}$.

Для решения задачи определения величины $S_{\text{опт}}$ ли некоторых приближений к ней необходим, прежде всего, анализ резервов, заложенных в коэффициент запаса прочности, рекомендуемый для расчета толщины стенки трубок нормами [2]. В основе последних лежит метод «допускаемых напряжений» со строго регламентированным коэффициентом запаса. Необходимо провести комплексное исследование факторов, определяющих коэффициент запаса, чтобы уточнить (снизить) его величину до той, при которой вероятность отказа трубки $P(S)$

¹ 107996, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 22 (22, Pavla Korchagina Str., 107996, Moscow, Russia).