

МАТЕРИАЛЫ

Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»

Научное издание
2021 • Часть 1



Санкт-Петербург
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

МАТЕРИАЛЫ

**Всероссийской научно-практической
конференции обучающихся
и преподавателей
«ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ:
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»**

Научное издание
2021 • Часть 1

*Под общей редакцией кандидата технических наук,
доцента Т.Ю. Коротковой*

Санкт-Петербург
2021

УДК 620.9
ББК 31
Э651

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор *В.В. Барановский*
(Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз»)

доктор технических наук, профессор *В.В. Пеленко*
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

кандидат технических наук, доцент *Г.А. Стеклова* (Санкт-Петербургский
государственный университет промышленных технологий и дизайна)

Э651 Материалы Всероссийской научно - практической конференции обучающихся и преподавателей в 2 ч / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М.С. Липатов, Г.А. Морозов; под общ. ред. Т.Ю. Коротковой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. - Ч. 1 — 224 с.

ISBN 978-5-91646-246-3

В настоящем сборнике представлены материалы Всероссийской научно - практической конференции «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем», состоявшейся 17 декабря 2020 года в г. Санкт-Петербурге.

Сборник предназначен для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Материалы представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Организаторы конференции не несут ответственность перед авторами и/или третьими лицами за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

Материалы конференции размещены в научной электронной библиотеке elibrary.ru и зарегистрированы в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).

УДК 620.9
ББК 31

ISBN 978-5-91646-246-3

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2021

ПЛЁНОЧНЫЕ ПОЛЫ - СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ

студент гр. 419.2 **Тененик Наталия Сергеевна**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доцент **Гладышев Николай Николаевич**,
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
специалист 2-й категории **Соболева Екатерина Михайловна**
филиал «Водоснабжение Санкт-Петербурга» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются достоинства и технологии инфракрасных теплых (плёночных) полов, принцип действия которых основан на преобразовании электричества в инфракрасное излучение, имеющее ту же природу, что и солнечные лучи.

Ключевые слова. Инфракрасное излучение, теплый пол, электрическое отопление, плёнка.

FILM ALOORS - MODERN HEATING SYSTEM

**Tenenik Nataliia Sergeevna,
Gladyshev Nikolay Nikolaevich,
Soboleva Ekaterina Mikhailovna**

Abstract. The article describes the advantages and technology of infrared warm (film) floors, the principle of which is based on converting electricity into infrared radiation, which has the same nature as the sun's rays.

Keywords. Infrared radiation, warm floor, electric heating, foil.

В современном обществе с каждым годом всё больше возрастает популярность такого вида отопления, как теплый пол. Существуют различные вариации, но выделяют две главные - водяные и электрические. Исходя из того, что в нашей стране преимущественная часть жилого фонда получает тепловую энергию посредством централизованной системы водяного отопления, с первого взгляда водяные теплые полы могут показаться более простыми, выгодными и рентабельными. Но в развитых городах, где значительную часть жилых построек занимают многоквартирные дома, использование этой системы не так популяризировано из-за того, что к таким инженерным коммуникациям

застройщик относится скептически в первую очередь из-за сложности монтажа и риска протечек. А самостоятельное внесение изменений уже владельцами квартир в схему отопления грозит по Жилищному кодексу РФ штрафами и требованиями демонтажа из-за того, что такие изначально незапланированные манипуляции могут нарушить тепловые балансы квартир соседей из-за возможного снижения давления в трубах.

Электрические теплые полы в свою очередь имеют различные варианты реализации и зависят от типа обогревательного элемента. По способу передачи тепловой энергии различают конвекционные (кабельные системы) и инфракрасные(пленочные системы). Также исполнение может быть представлено в виде матов, которые могут быть как конвекционного, так и инфракрасного типа действия [1].

Отопление жилых помещений с помощью пленочных полов является экономически выгодным решением. Пленочные полы позволяют поддерживать определенную температуру в каждом помещении, тонко регулировать параметры системы с учетом погодных факторов и времени суток. Толщина плёнки, которая ровняется примерно половине миллиметра, практически не вносит изменений в толщину отделки пола. Высокий уровень комфорта, отсутствие нагревательных элементов, безопасность в эксплуатации и более высокий коэффициент полезного действия по сравнению с кабельными системами – все это привлекает большинство современных потребителей.

Монтируется теплый пленочный пол очень легко, не требуя реализации сложных инженерных проектов, в том числе отсутствует необходимость в бетонной стяжке. Также неоспоримым преимуществом является то, что систему возможно сочетать с любым напольным покрытием. А при переезде на другое место жительства хозяин может в считанные минуты демонтировать пленку, аккуратно свернуть ее и затем установить в новом доме (рис. 1).

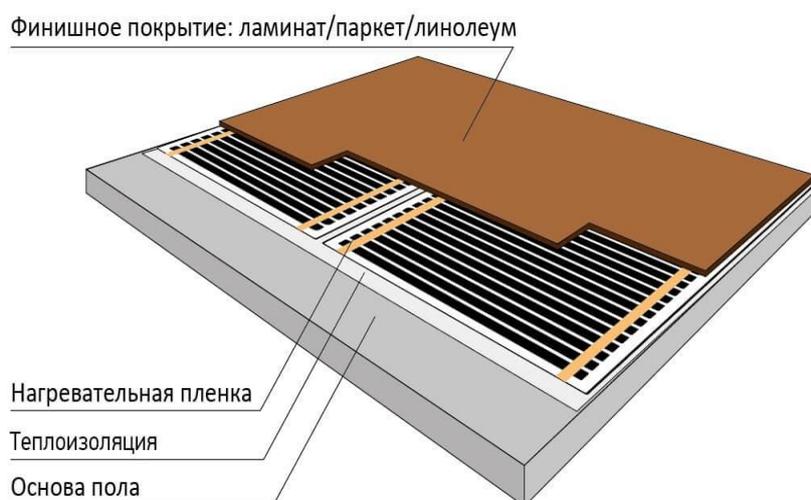


Рисунок 1. Монтаж пленочного пола

Стоит отметить, что система пленочных полов способна переносить повышенные нагрузки, что позволяет её использовать для обогрева любых помещений в частном загородном доме, комнатах многоквартирного здания, а также общественных зданиях, офисах и даже спортзалах.

Пленка изготавливается из особого полимера и элементов, способных преобразовывать электрический ток в инфракрасное излучение. Инфракрасный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, не вызывает заболеваний кожи. Излучение, производимое теплым полом, идентично инфракрасным лучам, исходящим от солнца.

При подаче напряжения карбоновая паста внутри полимерной пленки преобразует ток в излучение, направленное в одну сторону. В случае поломки одной из частей пленки оставшаяся часть продолжает работать в нормальном режиме.

Период службы пленочной системы достигает 15 лет. Главными ее компонентами являются карбоновая паста, медные проводники и полиэстер, способные сохранять свои характеристики в течение долгого времени.

Особое достоинство пленочного теплого пола заключается в удобстве укладки. При этом не нужно применять клей и крепежные элементы. Пленка легко помещается под напольным материалом, а также под стеновыми облицовочными изделиями. К примеру, в санузле пленку можно закрепить под зеркалом, чтобы на нем при высокой влажности не образовывался конденсат.

Для изменения температуры в системе присутствует программный модуль, который может работать в автоматическом режиме. Также возможна регулировка параметров теплого пола вручную. Если хозяева находятся на работе, то система в это время дня сама отключается, а перед приходом хозяев включается. Если в определенных помещениях требуется сохранение прохлады, то инфракрасные полы могут работать с минимальным энергопотреблением.

Считается, что пленочные полы могут оказывать противоаллергическое действие, а также, что инфракрасное излучение способствует уничтожению опасных микроорганизмов в доме и при этом оно не оказывает вреда людям, в том числе маленьким детям. Это позволяет эксплуатировать систему в детских комнатах. Так как в конструкции пленочных полов отсутствуют сильно разогревающиеся элементы, систему можно оставлять включенной на ночь и без присмотра.

Список использованной литературы

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России., 2003.

© Н.С. Тененик, Н.Н. Гладышев, Е.М. Соболева, 2020

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

студент гр. 523 **Сабзалыев Самир Асиф оглы**,
ассистент **Липатов Максим Сергеевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Настоящая статья посвящена постепенному внедрению альтернативных источников энергии. Авторы, основываясь на результатах анализа проектов за 2016-2019 гг., выделяют наиболее оптимальные пути развития энергетической стратегии; демонстрируют положительный опыт внедрения «зеленой энергетики» в субъектах РФ; оценивают сильные и слабые стороны возможного перехода к возобновляемой энергетике в России, путем составления SWOT-анализа.

Ключевые слова. Альтернативные источники энергии, экологическая эффективность, зеленая энергетика, энергосбережение.

ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN RUSSIA

Sabzalyev Samir Asif ogly,
Lipatov Maksim Sergeevich

Abstract. This article is devoted to the gradual introduction of alternative energy sources. The authors, based on the results of the analysis of projects for 2016-2019, identify the most optimal ways to develop the energy strategy; demonstrate the positive experience of implementing "green energy" in the regions of the Russian Federation; assess the strengths and weaknesses of a possible transition to renewable energy in Russia, by compiling a SWOT-analysis.

Keywords. Alternative energy sources, environmental efficiency, green energy, energy saving.

Трудно представить дальнейшее развитие стран без наращивания темпов потребления энергии. Однако такая тенденция может привести к гибели окружающей среды и серьезно сказаться на жизни людей. Одним из выходов, способным улучшить ситуацию, является более масштабное использование нетрадиционных источников энергии. Научные сообщества добиваются технологических прорывов в опробованных и инновационных технологиях. Правительство многих стран вкладывает большие средства в их исследования, развивает альтернативную энергетику и переводит производственные мощности на нетрадиционные источники. На данном этапе развития общества уже

необходимо задумываться о постепенном внедрении альтернативных источников энергии.

В последнее время с самых различных трибун, в средствах массовой информации говорят о необходимости перехода на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Однако нужно не забывать, что эффективность применения различных нетрадиционных видов энергии зависит от интенсивности источника энергии [1].

Ученые доказывают, что от использования углеводов следует постепенно отказываться. Главным источником энергии должны стать солнце, ветер и прочие альтернативные и возобновляемые источники энергии. Но существуют и минусы в переходе на «зеленую энергию». К сожалению, желания не всегда подкрепляются возможностями реализации проектов. Факты говорят о том, что «новая энергетическая экономика» не способна сыграть значимую роль в обозримом будущем. Аргументированных доказательств тому довольно много [2], основные из которых сводятся к низкому КПД энергетических установок, а также к несовершенству законодательной системы в части отсутствия льгот и субсидий от государства. Помимо этого, нужно не забывать о низкой конкурентоспособности альтернативных источников относительно централизованного электроснабжения из-за более существенных капитальных вложений и ограниченной эффективности объектов ВИЭ.

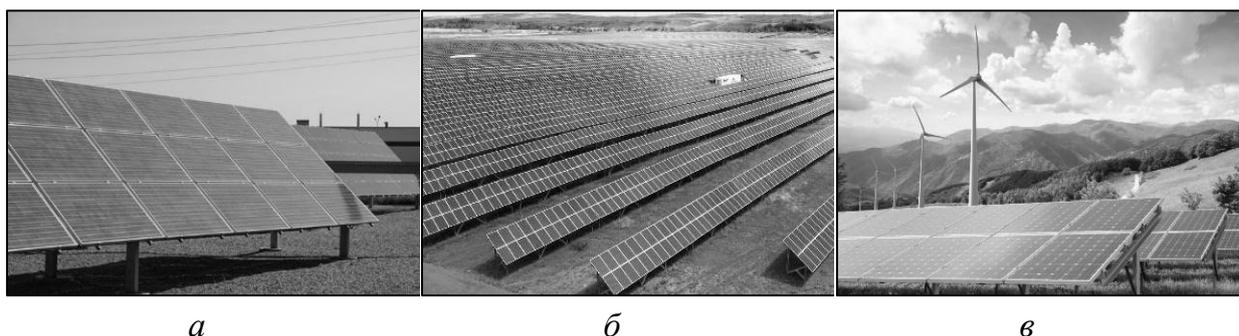
Основываясь на результатах анализа за 2016-2019 гг. можно заметить, что развитие проектов ВИЭ в России происходит с разной степенью интенсивности. К примеру, чаще всего внедряются проекты на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца, несмотря на задачи государственных программ нарастить выработку за счет энергии ветра (55%), а также на основе малой гидрогенерации мощностью до 25 МВт (15%). По остальным направлениям ВИЭ статистика на отраслевом уровне не ведется, кроме того, они не нашли широкого отражения в программных документах [3]. Однако существует ряд примеров успешно реализованных проектов, в частности, по направлениям геотермальной энергетики и биотоплива.

Однако больших достижений в этом направлении у России в целом пока нет, кроме одной сферы — гидроэлектростанций, которые прежде активно строились, благодаря богатым водным ресурсам страны. Все остальные направления развития альтернативной энергетики являются незначительными. Тем не менее ВИЭ используются практически на всей территории РФ. Как правило, это точечные проекты, а не массовые.

Данные проекты чаще всего находят применение в труднодоступных зонах и изолированных территориях, где отсутствует централизованная генерация электроэнергии. В нашей стране в регионах с децентрализованным и автономным энергоснабжением проживает 25 млн человек. Поэтому строительство ветряных и солнечных электростанций должно быть востребовано именно в этих местах. Более экологичные источники смогли бы создать

независимость районов от отдаленных сетей, а также наладить безаварийность энергоснабжения. Подобные источники сооружены на Дальнем Востоке, в Якутии, в Оренбургской и Белгородской областях, в Башкирии и на Алтае.

Положительным примером применения солнечной энергии может считаться солнечная электростанция, расположенная в Белгородской области, номинальная мощность которой 0,1 МВт. Крупнейшей солнечной электростанцией в России, запущенной в эксплуатацию к концу 2015 года стала Орская СЭС мощностью 25 МВт. В Крыму 20 % энергии добывается с помощью ВИЭ, в первую очередь за счёт солнечных батарей и ветряных электростанций. На Крымском полуострове самая дешёвая электроэнергия вырабатывается ветром и солнцем (рис.1).



*Рисунок 1. Примеры внедрения альтернативных источников энергии в России:
а- Белгородская СЭС; б – Орская СЭС; в - гибридная ветро-солнечная
электростанция в Крыму*

Однако у объектов ВИЭ есть существенный недостаток — нестабильная выработка энергии, которую приходится дополнять традиционной генерацией. Когда не светит солнце, или не дует ветер, энергия не вырабатывается, поэтому её нужно каким-то образом накапливать. Пока это не получается. Разработки накопителей энергии ведутся, но в масштабах страны пока не найдено оптимального решения этого вопроса. Не так давно Правительство РФ совместно с Министерством энергетики утвердило схему размещения новых объектов ВИЭ. Согласно плану, к 2030 году в России появится 15 ветроэлектростанций, а с 2022 года прогнозируется ежегодный ввод не менее 6 ГВт генерации энергии, полученной на базе альтернативных источников. Планируется, что доля альтернативных источников вырастет в 2,5 раза [4].

К сожалению, в нашей стране развитие данного направления сильно отстает от Европы и США, но при этом в России постепенно начинает расти интерес к ВИЭ, что вызвано в первую очередь активизацией спроса в связи с ростом цен на электроэнергию. Сегодня генерация на базе ВЭС уже становится конкурентоспособной, хотя еще совсем недавно в России, в связи с заниженной ценой на электроэнергию, объектам на базе ВИЭ было трудно конкурировать с традиционными углеводородными источниками. Оценим сильные и слабые стороны возможного перехода к альтернативной энергетике в России (табл.1).

Таблица 1. SWOT-анализ развития возобновляемой энергетики в России

	<i>Положительные</i>	<i>Отрицательные</i>
<i>Внутренние факторы</i>	<p><u><i>Сильные стороны:</i></u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Значительный потенциал возобновляемых источников энергии (гелиоэнергия, ветроэнергия, геотермальная энергия, энергия биомассы и малых рек). 2. Возможность создания электростанций разной мощности, в том числе и по модулям (блокам). 	<p><u><i>Слабые стороны:</i></u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Непостоянство получения энергии (неравномерность энергopotенциала во времени и пространстве). 2. Слабое развитие отечественных технологий на промышленном уровне. 3. Необходимость создания инфраструктуры (дороги, ЛЭП). 4. Сложный механизм стимулирования.
<i>Внешние факторы</i>	<p><u><i>Возможности:</i></u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дополнительное производство электростанций в требуемых объемах в зонах централизованного электроснабжения. 2. Значительное снижение загрязнения окружающей среды. 3. Широкие возможности для иностранных инвестиций. 4. Наличие обширных свободных площадей. 	<p><u><i>Угрозы:</i></u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Технические препятствия: подключение в высоковольтные ЛЭП, подъездные пути. 2. Нефиксированный тариф на электроэнергию. 3. Неблагоприятные условия финансирования. 4. Бюрократическое препятствие. 5. Несовершенство законодательной базы. 6. Непрозрачная разрешительная система.

В мире происходит постоянное уменьшение цен на установки нетрадиционных источников энергии. К примеру, ежегодно только солнечная энергетика становится дешевле на 15 %. В Российской Федерации этот фактор не столь очевиден, так как собственное массовое производство пока не налажено [5].

Человечеству в XXI веке пока не грозит глобальная нехватка энергетических ресурсов при условии соблюдения запланированных стратегий по энергосбережению и энергозамещению альтернативными источниками. В части энергообеспечения основной проблемой, скорее всего, останется не недостаток энергоресурсов, а нехватка инвестиций в их поиск и добычу. Необходимо помнить и про негативное влияние на природную среду техногенного воздействия от предприятий топливно-энергетического комплекса

страны. Следует заботиться об уменьшении ущерба природе как за счёт повышения эффективности потребления всех видов ресурсов, так и посредством повышения экологической чистоты технологий. К сожалению, на ближайшие десятилетия не просматриваются ни новые источники энергии, ни принципиально новые способы получения электричества и тепла. Наиболее вероятным представляется сценарий развития энергетики на основе использования всех или, по крайней мере, большинства уже известных на сегодня энергоресурсов и наиболее прогрессивных технологий их преобразования в электрическую и тепловую энергию.

Эту проблему, над которой работают люди, имеющие лицензию на данный вид деятельности, необходимо решать в самые ближайшие годы, иначе экономический рост будет сдерживаться высокими ценами и снижением доступности энергетических ресурсов.

Российская Федерация продолжает располагать одним из самых огромных, как и внутри страны, так и за ее пределами техническим потенциалом энергосбережения. Формирование в России энергоэффективного строя – это один из самых важных вопросов развития экономики России на пути к инновации, но при сегодняшних эксплуатационных затратах на реализацию непрерывной работы альтернативных источников энергии сложно рассчитывать, так как их использование с экономической точки зрения не рентабельно. Необходимо вести новые исследования и разработки в этом направлении. Только в этом случае будет возможно успешное развитие в данной области.

Список использованной литературы

1. Методика и алгоритм математического анализа многофакторной модели оптимальной конфигурации нетрадиционных возобновляемых источников энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-i-algoritm-matematicheskogo-analiza-mnogofaktornoy-modeli-optimalnoy-konfiguratsii-netraditsionnyh-vozobnovlyaemyh>
2. Альтернативные источники энергии: виды, плюсы и минусы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://narobraz.ru/avto/alternativnye-istochniki-energii-vidy-plyusy-i-minusy.html>
3. Нормативная модель поддержки ВИЭ: совершенствование механизмов и инструментов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://rawi.ru/2019/06/normativnaya-model-podderzhki-vie-sovershenstvovanie-mehanizmov-i-instrumentov/>
4. Министерство энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://government.ru/department/85/events/>
5. Энергетика КНР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика_КНР

© С.А. Сабзалыев, М.С. Липатов, 2020

АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ОСВЕЩЕНИЕ КОРПУСОВ ЗДАНИЯ ВШТЭ

студент гр. 513 **Кащеев Кирилл Олегович**,
Науч. руководитель: ассистент **Кундюков Олег Анатольевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В качестве объекта модернизации используется здание вуза с несколькими корпусами. В настоящей статье предлагается заменить существующее люминесцентное освещение на светодиодное. Обосновывается выгода от перехода на светодиодное освещение.

Ключевые слова. Энергосбережение, освещение, светодиодное освещение.

ANALYSIS OF THE COST OF LIGHTING A BUILDING IN HSTE

Kirill Kascheev Olegovych,
Kundyukov Oleg Anatolievich

Abstract. A university building with several buildings is used as an object of modernization. This article proposes replacing the existing fluorescent lighting with LED. The benefits of switching to LED lighting are substantiated.

Keywords. Energy saving, lighting, led lighting.

Объектом модернизации является Высшая Школа Технологии и Энергетики (ВШТЭ), г. Санкт-Петербург, ул.Ивана Черных д.4. Основан в 1931 году, как Ленинградский Институт Промкооперации Всекомпросвета. В 1981 году университет награжден орденом Трудового Красного Знамени. В 1987 году включен в число ведущих ВУЗов России. В 2015 году присоединен к СПбГУПТД [1].

Основная цель энергосбережения - наименьшие затраты при монтаже и обслуживании системы, а также комфорт сотрудников университета от работы системы. Кроме того, переход на светодиодное освещение осуществляется в связи с федеральным законом об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [2].

Характеристика здания ВШТЭ

Объект автоматизации ВШТЭ состоит из пяти корпусов А, Б, В, Д и спортзала, соединённых между собой галереями.

Этажность строений: корпус «А» - 5 этажей (11800 м²); корпус «Б» - 7 этажей (13700 м²); корпус «В» - 6 этажей (4560 м²); корпус «В*» - 6 этажей (8 573 м²); корпус «Д» - 2 этажа (2680 м²); спортзал -3 этажа (970 м²).

S (общая)=11800+13700+4560+8573+2680+970=42288 м² - общая площадь всех корпусов.

Организация управления освещением

В каждом корпусе имеется рабочее и дежурное освещение, которое включает в себя следующие функции:

Рабочее освещение - предназначено для обеспечения выполнения производственного процесса и освещения прохода.

Дежурное освещение - предназначено для освещения охраняемых помещений университета в нерабочее время и составляет примерно 5 % от общего потребления, совпадающее с темным временем суток, обеспечивающее минимальную освещенность для несения дежурств и охраны. Следует уделять особое внимание и придерживаться норм при выборе светильников в учебных учреждениях. Так в учебных кабинетах освещенность рабочей поверхности должна быть не менее 500 лк (ГОСТ) [3]. Можно рассчитать количество светильников, ориентируясь на число Люкс (Лк) – единица, которая показывает соотношение Лм/м². [4]

Сейчас университет использует люминесцентные лампы мощностью 36 Вт и 18 Вт. Есть 2 типа ламп. Рассмотрим переход на светодиодные лампы мощностью 10 Вт (900 Лм) и 18 Вт (1800 Лм) [5]. Первый тип светильников состоит из 4-х диодных ламп по 10 Вт. Второй – состоит из 2 ламп по 18 Вт. Светильники эквивалентны друг другу по мощности, поэтому в дальнейших расчетах не будет производиться разделения их по типам. Сначала находится площадь, которую должен освещать один светильник. После этого считается количество светильников, количество потребляемой энергии освещением и затраты на него за месяц и производится расчет, который показывает, насколько в выгоднее использовать светодиодные лампы. Стоит учесть время работы рабочего и дежурного освещения, а также стоимость 1 кВт энергии = 8,5 р (ПСК). Также стоит учесть, что 5 % энергии уходит на дежурное освещение.

Сравнение затрат на электроэнергию при использовании светодиодного и люминесцентного освещения за один месяц

$900*4=3600$ Лм (световой поток одного светильника); $3600/S_1 = 500$ Лк (норма освещения в аудиториях и помещениях по ГОСТ) [5];

$S_1=3600/500=7,2$ м², S_1 - площадь, освещаемая одним светильником;

$N_{св} = 42\ 288/7,2=5\ 873$ шт, $N_{св}$ - общее количество светильников в вузе.

Люминесцентные лампы:

$E_ч = 5\ 873*4*18/1000=422,8$ кВт*ч, $E_ч$ - энергия, потребляемая светильниками за один час;

$E_{др} = 422,8*12=5\ 073,6$ кВт*ч, $E_{др}$ - энергия, потребляемая светильниками за один рабочий день;

$E_m = 5\,073,6 \cdot 26 = 131\,913,6$ кВт*ч, E_m - энергия потребляемая люминесцентными лампами за месяц, не считая воскресных дней;

$P_{po} = 131\,913,6 \cdot 8,5 = 1\,121\,265,6$ р, P_{po} - затраты при условии, что свет горит все рабочее время;

5% уходит на дежурное освещение, которое работает 24/7.

$S_d = 42288/100 \cdot 5 = 2\,114,4$ м², S_d - площадь, освещаемая дежурным освещением;

$N_p = 2\,114,4/7,2 = 294$ шт, N_p - количество светильников дежурного освещения;

$E_{дд} = 294 \cdot 4 \cdot 18/1000 = 21,1$ кВт*ч, $E_{дд}$ - энергия, потребляемая дежурным освещением за один час;

$E_{мд} = 21,1 \cdot 12 \cdot 30 = 7\,596$ кВт*ч, $E_{мд}$ - энергия, потребляемая дежурным освещением за оставшиеся 12 часов;

$P_{дл} = 7\,596 \cdot 8,5 = 64\,566$ р, где $P_{дл}$ - доп. затраты на дежурное освещение.

Светодиодные лампы:

$E_{ч} = 5\,873 \cdot 4 \cdot 10/1000 = 234,9$ кВт*ч, $E_{ч}$ - энергия потребляемая светильниками за один час;

$E_{ч} = 234,9 \cdot 12 = 2\,818,8$ кВтч, $E_{ч}$ - энергия потребляемая светильниками за один рабочий день;

$E_m = 2\,818,8 \cdot 26 = 73\,288,8$ кВт*ч, E_m - энергия потребляемая диодными лампами за месяц, не считая воскресений;

$P_{po} = 73\,288,8 \cdot 8,5 = 622\,954,8$ р, P_{po} - затраты при условии, что свет горит все рабочее время;

$E_{дл} = 294 \cdot 4 \cdot 10/1000 = 11,76$ кВт*ч, $E_{дл}$ - энергия, потребляемая дежурным освещением за один час;

$E_{ост} = 11,76 \cdot 12 \cdot 30 = 4\,233,6$ кВт в месяц, $E_{ост}$ - энергия, потребляемая дежурным освещением за оставшиеся 12 часов;

$P = 4\,233,6 \cdot 8,5 = 35\,985,6$ р, P - доп. затраты на дежурное освещение.

Затраты за один месяц составили для:

1) Люминесцентного освещения – $1\,121\,265,6 + 64\,566 = 1\,185\,831,6$ р;

2) Светодиодного освещения - $622\,954,8 + 35\,985,6 = 658\,940,2$ р.

Затраты на светодиодное освещение *выгоднее на 55 %*. В таблице 1 приведен сравнительный анализ люминесцентных и диодных ламп.

Стоимость установки светодиодного освещения:

1) Стоимость лампы 18 Вт – 102 р.

Стоимость светильника без ламп – 524 р.

Общая стоимость светильника – 732 р.

2) Стоимость 10 Вт – 88 р.

Стоимость светильника без ламп – 888 р.

Общая стоимость светильника - 1240 р.

Так как используются оба типа светильников, возьмём среднюю стоимость – 986 р.

Стоимость установки светильников в вузе: $986 \cdot 5\ 874 = 5\ 791\ 764$ р
 + 30% от стоимости за установку. Итого получаем $7\ 529\ 293,2$ р.

Таблица 1. Сравнение люминесцентных и светодиодных ламп

Параметр/Тип	Люминесцентные	Светодиодные
Затраты в месяц, Р	1 185 831,6р	658 940,2р
Стоимость лампы, Р _л	50/70	88/102
Срок службы	До 25 000 часов	До 50 000 часов
Экологичность	Нет (содержит ртуть)	Да
Утилизация	Требует особых мер утилизации	Не требует специальных мер утилизации
Техническое обслуживание	умеренно	редко

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что переход на светодиодное освещение поможет снизить затраты на электроэнергию в 2 раза и не будет проблем с утилизацией. Также светодиодные лампы экологичны и срок службы заметно больше, по сравнению с люминесцентными.

Список использованной литературы

1. Высшая школа технологии и энергетики – светильника [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL : <https://clck.ru/S9XNq>
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/
3. Сравнение светодиодных и люминесцентных ламп [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL : http://artaledshop.ru/article/?ELEMENT_ID=463
4. Выбор мощности светильника [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL:https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Feflight.com%2Fnews%2F180%2F&cc_key=
5. Нормы освещения - [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL : <https://clck.ru/S9XQV>

© К.О. Кашеев, О.А. Кундюков, 2020

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ ВХОД - ВЫХОД

канд. техн. наук., доцент **Ковалёв Евгений Николаевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Приведён практический пример разработки математической модели объекта управления по сигналам входа и выхода этого объекта.

Ключевые слова. Модель, входные и выходные сигналы, передаточная функция, регрессионный анализ.

DEVELOPMENT OF A CONTROL OBJECT MODEL BASED ON INPUT - OUTPUT SIGNALS

Kovalev Evgeny Nikolaevich

Abstract. A practical example of developing a mathematical model of a control object based on input and output signals of this object is given.

Keywords. Model, input and output signals, transfer function, regression analysis.

При разработке алгоритмов управления сложным объектом необходим учет динамических характеристик этого объекта. Задача идентификации объекта управления состоит в разработке модели, которая позволяет предсказывать поведение объекта и определять наиболее эффективные управляющие воздействия с точки зрения целей управления. Например, в системе управления прокатным станом модель объекта является составной частью системы автоматического регулирования толщины проката.

Одним из важных этапов разработки системы управления сложным технологическим объектом является этап FAT-тестов (Factory Acceptance Test – заводские приемочные испытания). В число испытаний FAT-тестов входит также проверка и отладка алгоритмов управления разрабатываемой системы. В этих проверках широко используются модели объектов управления, поскольку само технологическое оборудование на данном этапе не доступно.

Модель объекта представляет собой программный блок в программном обеспечении управляющего контроллера. Функциональные зависимости между потоками входной и выходной информации модели соответствуют зависимостям между входными и выходными сигналами объекта.

Компьютерная и микропроцессорная техника систем управления предоставляет большой объём информации о входных и выходных сигналах объектов управления. Это даёт возможность разрабатывать модели, описывающие объекты управления с большой достоверностью.

Рассмотрим задачу: по реальным трендам входной $x(t)$ и выходной $y(t)$ величин подобрать некую аппроксимирующую передаточную функцию (математическую модель), которая с достаточной точностью описывала бы поведение реального объекта. Информация об $x(t)$ и $y(t)$ может быть представлена в виде массива данных $y[n]$, $x[n]$, записанных с периодом квантования ΔT .

Передаточная функция, определяющая связь между входным и выходным сигналами:

$$W_0(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_mz^{-m}}{a_0 + a_1z^{-1} + \dots + a_mz^{-m}}, \quad a_0 = 1. \quad (1)$$

Поскольку $W_0(z) = Y(z)/X(z)$, то переходя от z – преобразования к функциям дискретного времени, получаем:

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + b_2x[n-2] + \dots - a_1y[n-1] - a_2y[n-2] - a_3y[n-3] - \dots \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что величина выходного сигнала $y[n]$ в текущий момент времени $t = n * \Delta T$ определяется величинами входного сигнала $x[n]$ в текущий и предыдущие моменты времени, а также выходными сигналами $y[n]$ в предыдущие моменты времени. Линейная математическая модель объекта описывается уравнением (2).

Для определения коэффициентов уравнения (2) надо задаться видом передаточной функции объекта, то есть определить количество коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции (1). Затем, располагая массивом данных $y[n]$, $x[n]$ и применяя метод наименьших квадратов, рассчитать коэффициенты числителя и знаменателя передаточной функции [1]. Эта задача легко решается с помощью инструмента регрессионного анализа, входящего в состав Excel Microsoft Office.

Например, в качестве искомой передаточной функции можно взять

$$W_0(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + a_3z^{-3}}. \quad (3)$$

Таблица данных для регрессионного анализа будет иметь следующий вид:

X[n]	X[n-1]	Y[n-1]	Y[n-2]	Y[n-3]	Y[n]

Регрессионный анализ даст значения коэффициентов следующей модели:

$$Y[n] = A1X[n] + A2X[n-1] + A3Y[n-1] + A4Y[n-2] + A5Y[n-3]. \quad (4)$$

Уравнения вида (2) для передаточной функции модели (3) будут такими:

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] - a_1y[n-1] - a_2y[n-2] - a_3y[n-3]. \quad (5)$$

Сравнивая (4) и (5), можно определить коэффициенты передаточной функции модели (3). В качестве примера найдём уравнение математической модели привода оправки трубопрокатного стана. На рис. 1 приведены тренды заданной и фактической скоростей привода за цикл работы оправки.

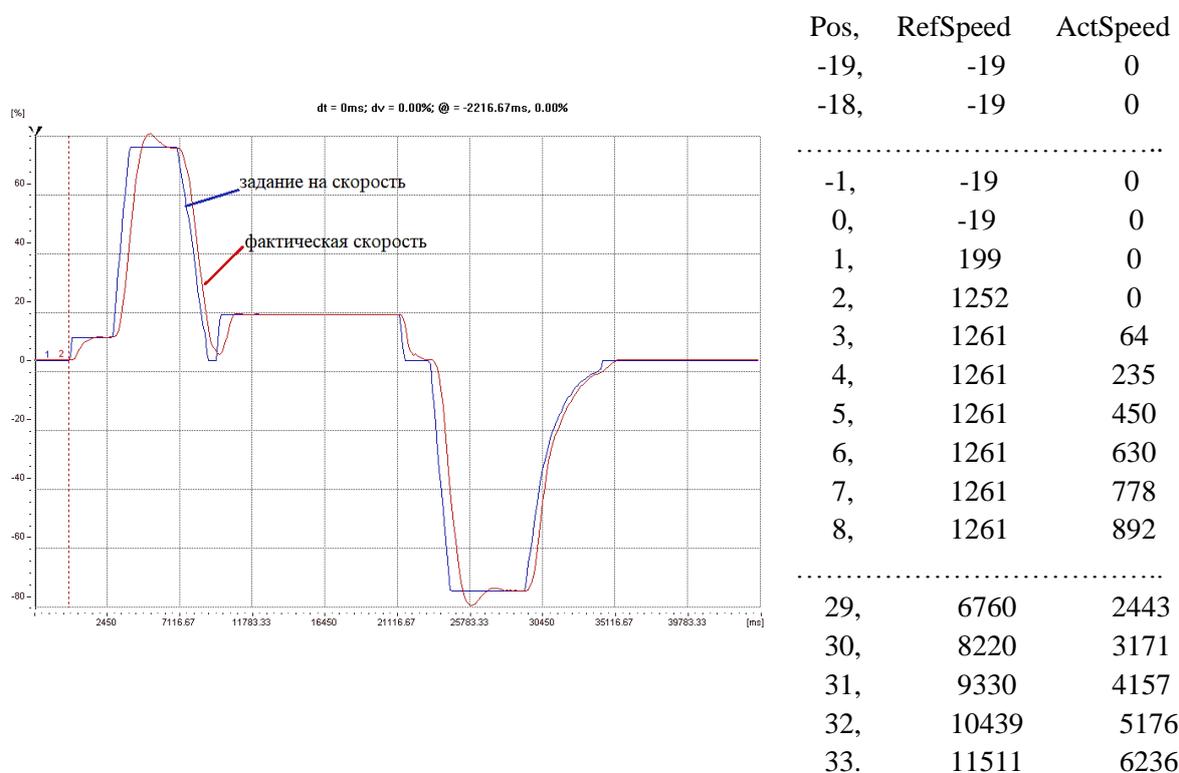


Рисунок 1. Заданная и фактическая скорости привода

На рис. 1 приведены также фрагменты таблицы значений входных и выходных сигналов за цикл работы механизма. Всего в таблице 320 строк; период выборки 150 мс. В таблице 1 показан фрагмент таблицы, подготовленной для регрессионного анализа.

Таблица 1. Подготовка к регрессионному анализу

$X[n-1]$	$X[n]$	$Y[n-3]$	$Y[n-2]$	$Y[n-1]$	$Y[n]$
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	218	0	0	0	0
218	1271	0	0	0	0
1271	1280	0	0	0	64
1280	1280	0	0	64	235
1280	1280	0	64	235	450
1280	1280	64	235	450	630
1280	1280	235	450	630	778
1280	1280	450	630	778	892
1280	1280	630	778	892	991
1280	1280	778	892	991	1060
1280	1280	892	991	1060	1114
1280	1280	991	1060	1114	1161
...

ВЫВОД ИТОГОВ								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный		0,99997143						
R-квадрат		0,99994287						
Нормированный		0,99676754						
Стандартная ошибка		49,9767411						
Наблюдения		320						
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	5	13770387843	2754077569	1102656,651	0			
Остаток	315	786767,5162	2497,674655					
Итого	320	13771174611						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
оправка	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Переменная X 1	0,03209227	0,01330594	2,411875413	0,016442224	0,005912519	0,058272019	0,005912519	0,058272019
Переменная X 2	0,02477842	0,010534184	2,296252748	0,022317634	0,003462894	0,044915402	0,003462894	0,044915402
Переменная X 3	0,17754007	0,043065364	4,122572227	4,79667E-05	0,092807956	0,262272189	0,092807956	0,262272189
Переменная X 4	-1,10895342	0,093419157	-11,8707281	4,11355E-27	-1,292757807	-0,925149027	-1,292757807	-0,925149027
Переменная X 5	1,87401446	0,054325162	34,49625151	5,3135E-109	1,767128426	1,980900496	1,767128426	1,980900496

Рисунок 2. Результаты регрессионного анализа

Коэффициенты по переменным X1, X2, X3, X4, X5 таблицы итогов регрессионного анализа соответствуют коэффициентам передаточной функции (3), которая принимает следующий вид:

$$W_0(z) = \frac{0,02478 + 0,03209 z^{-1}}{1 - 1,87401 z^{-1} + 1,10895 z^{-2} - 0,17754 z^{-3}} \quad (6)$$

На рис. 3 показаны тренды заданной и фактической скоростей привода, а также тренд скорости привода, рассчитанный по полученной математической модели.

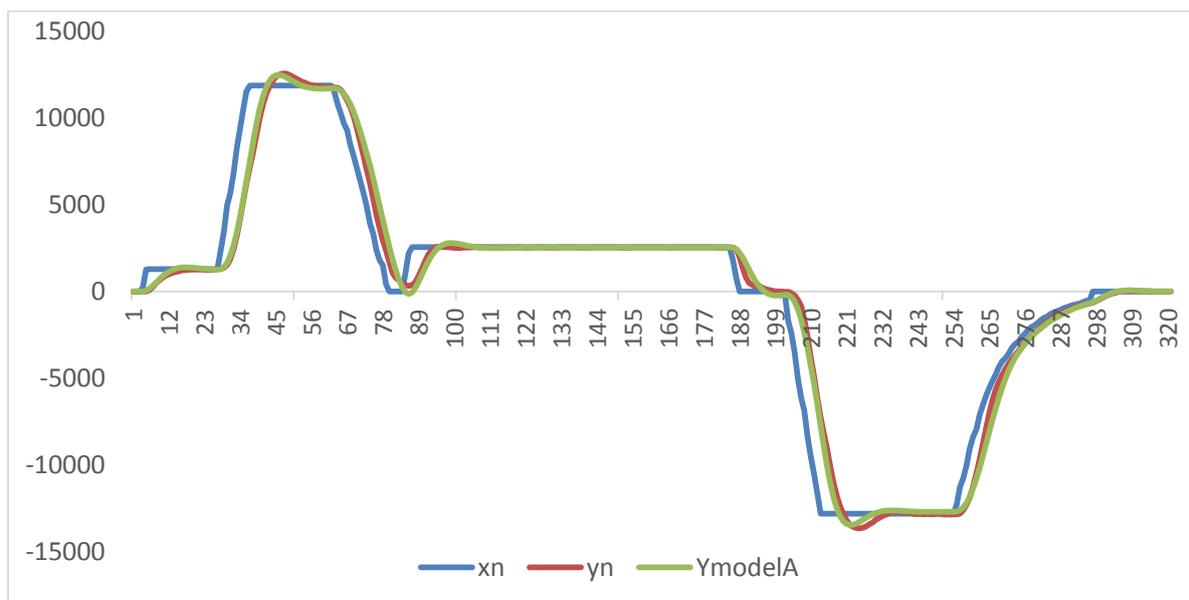


Рисунок 3. Тренды скоростей привода оправки:
 xn – тренд заданной скорости; yn – тренд фактической скорости;
 YmodelA – тренд скорости, рассчитанный по модели

Расчётное уравнение модели имеет вид:

$$y[n] = 0,0248x[n] + 0,0321x[n-1] + 1,8740y[n-1] - 1,1090y[n-2] + 0,1775y[n-3].$$

Полученная в результате регрессионного анализа модель позволяет определить скорость привода оправки при любом характере заданного сигнала. Например, при ступенчатом задании скорости получаем переходную характеристику привода.

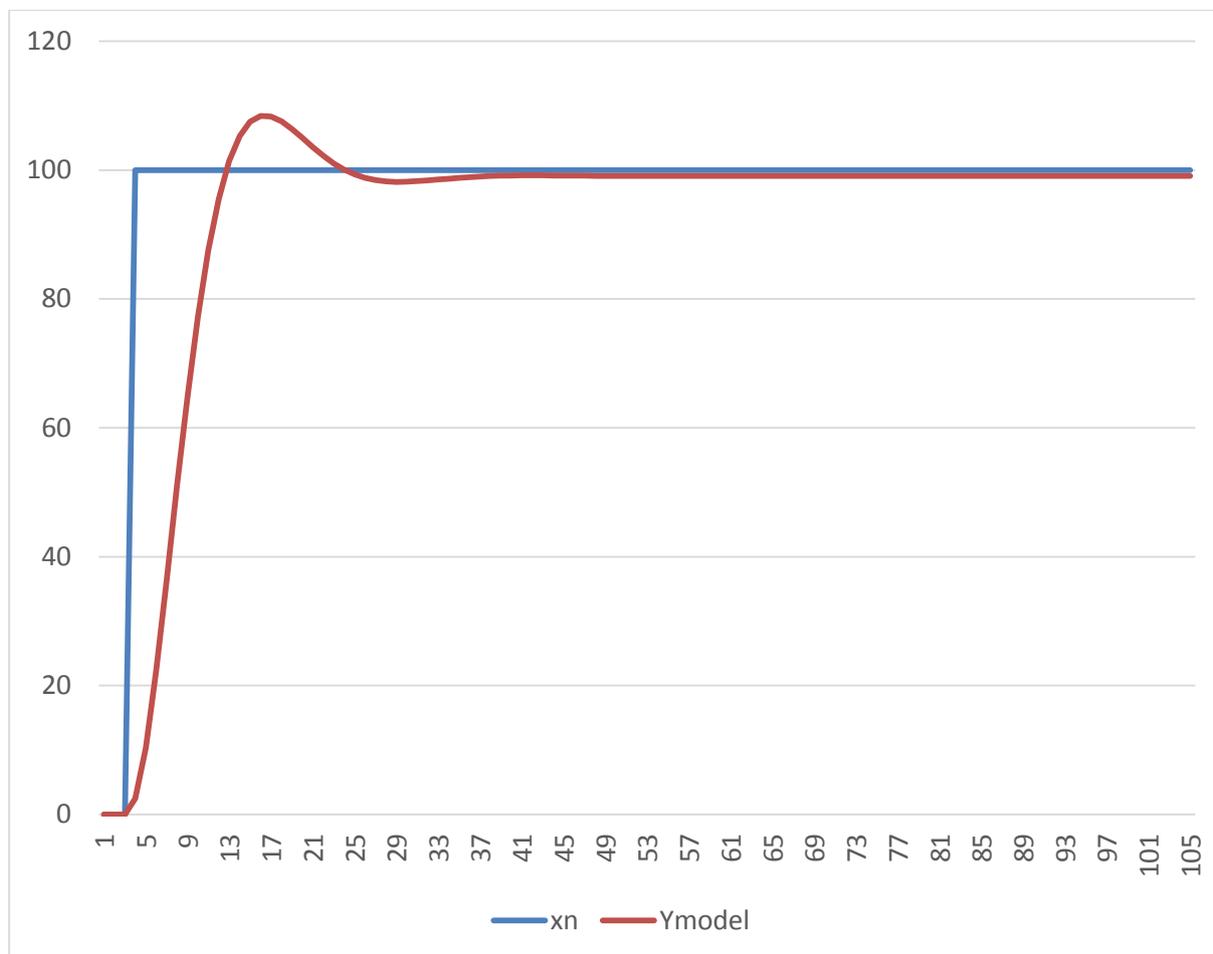


Рисунок 4. Переходная характеристика, рассчитанная по модели привода

Заключение. Обработка массива информации о входных и выходных сигналах объекта управления с помощью готового инструментария регрессионного анализа позволяет получать эффективные математические модели, адекватно описывающие объект.

Список использованной литературы

1. Яковлев В.Б. Регрессионный анализ. Расчеты Excel и Statistica – Москва : РУСАЙНС, 2018. – 178 с.

© Е.Н.Ковалёв, 2020

ИНТЕГРИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОШИБОК JIRA В РАБОТУ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

магистрант 7-529 гр. **Желдыбаков Александр,**

Науч. руководитель: ст. преподаватель **Бондаренкова Ирина Владимировна**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассматривается внедрение в работу проектной организации интегрированной системы отслеживания ошибок JIRA, которая позволяет управлять проектами на различных этапах их подготовки. Оценивается использование различных архитектурных версий системы, функциональных возможностей этих версий и дополнительно подключаемых модулей.

Ключевые слова. Баг-трекинг-системы, система отслеживания ошибок JIRA, интеграция, проектная организация, проблемы проектирования, предпроектное обследование, пользователь.

JIRA BUG-TRACKING SYSTEM INTEGRATION INTO THE PROJECT ORGANIZATION WORK

Zheldybakov Alexandr,

Bondarenkova Irina Vladimirovna

Abstract. The introduction of an integrated JIRA bug-tracking into the design organization work is considered. This system allows to manage projects at various stages of their preparation. The use of various architectural versions of the system, the functionality of these versions and additional plug-ins are evaluated.

Keywords. Bug-tracking systems, JIRA bug-tracking system, integration, design organization, design problems, pre-design survey, user.

При работе со сложными проектами постоянно возникает необходимость отслеживать и регистрировать проблемы, возникающие при проектировании. Для решения таких задач можно использовать, так называемые, баг-трекинг-системы или системы отслеживания ошибок (багов). Они представляют собой программные продукты, которые позволяют контролировать и регистрировать ошибки и неполадки, возникающие при проектировании, а также отслеживать процесс устранения каждой ошибки, выявленной специалистом, до тех пор, пока проблема не будет устранена. Применение системы отслеживания ошибок повышает эффективность процесса разработки проекта.

Систему отслеживания ошибок JIRA называют «bug tracking системой номер один» из-за большого разнообразия выполняемых ее функций и количества присоединяемых плагинов, позволяющих увеличивать ее

возможности. Данная система позволяет управлять проектами, создавать отчеты по выполненным объемам, отслеживать ошибки как глобальные, так и отдельных проектов, интегрироваться с множествами системами управления версиями [1]. Одной из особенностей данной системы является наличие плагина Confluence, который позволяет организовать внутренний интернет-портал и обеспечить доступ к нему всем пользователям для хранения данных, редактирования, обмена информацией и опытом [2]. Система является мобильной и может работать через смартфон, что является значительным преимуществом при работе удаленно, например, при выезде специалиста на обследование объектов.

Для обоснования экономической целесообразности интегрирования данной системы была использована информация, полученная из открытых источников. Система JIRA предоставляет пробный пакет услуг, который позволяет пользоваться программным обеспечением одновременно десяти пользователям, имеет два Гб хранилища данных и поддержку от сообщества совершенно бесплатно. Стоит отметить основное преимущество этой системы перед другими: перед покупкой подписки на данный сервис имеется возможность протестировать его путем частичного внедрения в команду до десяти человек.

Для расчета стоимости интеграции системы в проектную деятельность организации для команды, состоящей более чем из десяти пользователей, необходимо учитывать, что цена напрямую зависит от количества пользователей: от 7 \$/месяц за одного человека. Причем, чем больше пользователей, тем меньше цена. По сравнению с похожей системой Wrike, у которой имеется возможность включения в команду всего пяти пользователей на время бесплатного периода, цена за одного пользователя начинается от 9,8 \$/месяц [3]. Таким образом, использование системы JIRA является предпочтительным.

Архитектура сети интегрированной системы отслеживания ошибок JIRA имеет облачную (Cloud) и серверную (Server) версии. Эти два типа архитектуры имеют незначительные различия. Ключевой особенностью версии Cloud является хранение информации в облачном хранилище разработчика, это позволяет экономить на локальных серверах. В случае использования версии Server вся информация хранится на сервере частной компании-пользователя, и все данные передаются в рамках локальной сети компании. В обоих случаях взаимодействие пользователь – программное обеспечение и пользователь – пользователь осуществляется непосредственно через браузер [4].

Принцип работы интегрированной системы отслеживания ошибок JIRA достаточно прост для понимания и практической реализации. Система работает по принципу карточек: «к выполнению», «в работе», «выполнено».

В качестве примера можно рассмотреть следующую ситуацию: главный инженер проекта получает техническое задание на проектирование какого-либо объекта, далее создает задачу на выполнение и присваивает ей исполнителя. Исполнитель, в свою очередь, получает уведомление о новом задании и

приступает к его выполнению. Система предоставляет возможность перемещать карточки с заданиями между этапами, а также добавлять комментарии к заданиям. В результате выполнения всех заданий проекта имеется возможность создать архив или выпустить релиз.

Интегрированная система поиска ошибок JIRA была внедрена в работу проектной организации ООО «КЭТ» в конце 2019 года. Был установлен плагин Confluence, позволяющий создавать базы данных для обмена информацией и специализированное пространство для обмена опытом в команде. С помощью данного плагина также были созданы пространства, применяемые для ускорения процесса подготовки проектной документации, предпроектных обследований, согласований проектных решений и контроля выполнения этих этапов.

Система отслеживания ошибок JIRA, интегрированная в деятельность проектной организации ООО «КЭТ», в настоящее время используется для хранения телефонных номеров главных инженеров и ответственных лиц; шаблонов писем на получение допуска; шаблонов актов предпроектного обследования и мест выбора пересечений коммуникаций; справок о порядке действий во время и после предпроектного обследования. Специалист, выполняющий предпроектное обследование на местности без технической возможности доступа к персональному компьютеру, может оперативно получать всю необходимую информацию и документы, имея при себе смартфон и подключение к интернету.

В настоящее время в проектную деятельность компании ООО «КЭТ» была внедрена версия Cloud в виду простоты ее настройки. В дальнейшем планируется перейти на версию Server, так как это позволит настраивать интерфейс системы и использовать большее количество плагинов для повышения производительности системы.

Так как система отслеживания ошибок JIRA была внедрена в деятельность проектной организации ООО «КЭТ» относительно недавно, то к настоящему времени удалось рассмотреть только основные моменты работы, используя базовые функции системы. В дальнейшем планируется интегрировать весь функционал системы, а также задействовать большее количество пользователей.

Список использованной литературы

1. Система управления проектами и задачами JIRA компании Atlassian и ее применение [Электронный ресурс] // URL: <http://jira.ru/jira.shtml>
2. Использование JIRA и Confluence в большом проекте [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/post/432158/>
3. Сравнение сервисов JIRA и Wrike [Электронный ресурс] // URL: <https://startpack.ru/compare/jira/wrike-project-management>
4. Jira Cloud vs Server: плюсы и минусы продуктов от Atlassian [Электронный ресурс] // URL: <https://andreyex.ru/hosting/jira-cloud-vs-server-plyusy-i-minusy-produktov-ot-atlassian/>

© А.С.Желдыбаков, И.В.Бондаренкова, 2020

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ ТЕПЛОСЕТИ

студент гр. 527 **Казakov Эльдар Рауфович**,
ассистент **Липатов Максим Сергеевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена внедрённая система оперативного дистанционного контроля, используемая для своевременного выявления участков с повышенной влажностью в изоляционном слое трубопроводов. Предусмотренные контрольные точки, расположенные на определенном расстоянии друг от друга, позволяют с высокой точностью определить участок с нарушением в работе трубопровода. Также рассмотрены приборы для выявления повреждений и приведена статистика неисправностей в тепловых сетях.

Ключевые слова. Система операционного дистанционного контроля, СОДК, рефлектометр, теплосеть.

OPERATIONAL REMOTE CONTROL SYSTEM AT THE UNDERGROUND LAYING OF THE HEAT NETWORK

Kazakov Eldar Raufovich,
Lipatov Maksim Sergeevich

Abstract. This article the introduced system of operational remote control used for the timely detection of areas with high humidity in insulating pipelines is considered. The provided control points, located at a certain distance from each other, make it possible with high accuracy to determine the section with a violation in the operation of the pipeline. Devices for detecting damage are also considered and the statistics of defectiveness are given in this article, the layer of heat networks.

Keywords. Operating remote control system, ORCS, reflectometer, heat network.

Для предприятий и организаций, занимающихся обслуживанием трубопроводов тепло- и водоснабжения, постоянно стоит задача обеспечения высокой точности определения течей в трубах. Несмотря на развитие технологий, ошибки в локализации утечек остаются. Часть проблем связана с возможностями оборудования, часть с ошибками специалистов, но также

существуют случаи, когда природа ошибки не очевидна и требует проведения более глубокого анализа.

Довольно часто, даже зная, что трубопровод имеет дефект и идут значительные потери теплоносителя, определить место порыва визуально практически невозможно. Именно из-за этого в зимний период приходится либо раскапывать всю улицу в поисках течи, либо ждать пока вода сама промоет себе путь наружу. Поэтому становится все более актуально применение при подземной прокладке теплосети трубопроводов, оснащенных системой оперативного дистанционного контроля (СОДК).

СОДК была создана для постоянного получения данных о состоянии теплоизоляционного слоя из пенополиуретана предизолированных трубопроводов в течении всего срока их службы. Трубопроводы тепловых сетей строятся из стали и основной причиной их дисфункции является коррозия, которая появляется посредством контакта с влагой. Скорость коррозии на некоторых участках теплопроводника достигает величины выше 1 мм/год. Это приводит к выходу из строя отдельных участков теплопроводов через 5-7 лет после начала эксплуатации. Система ОДК служит для контроля сухости изоляции трубопроводов и позволяет определить такие неисправности, как:

- Намокание изоляции;
- Расстояние до промокшей изоляции;
- Прямой контакт провода системы ОДК и металлической трубы;
- Нарушения изоляционного слоя соединительного кабеля;
- Разрыв сигнальных проводников;
- Повреждение полиэтиленовой оболочки;
- Окисление соединительных мест сигнальных проводов внутри слоя изоляции.

Собранная информация направляется в центр обработки данных отделов диагностики, где проходит расшифровка и составление технического заключения о состоянии трубопроводов. Здесь учитывается все, что связано с теплосетью, - год прокладки, количество аварий на участке, тип изоляции трубопровода, измерение толщин стенок трубы, результаты визуально-измерительного контроля. Как известно, ПИ-трубы состоят из: стальной трубы, защитной оболочки из оцинкованной стали, полиэтиленовой трубы-оболочки и изоляции из пенополиуретана (рис. 1).



Рисунок 1. Трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией

Внедряя систему оперативного дистанционного контроля, в слое пенополиуретана проводят 3 медных проводника параллельно стальной теплоносущей трубе на расстоянии $16 \div 25$ мм, каждый сечением $1,5 \text{ мм}^2$ и удельным сопротивлением $0,012 - 0,015 \text{ Ом/м}$. Основным проводником считается тот, который расположен справа по ходу движения теплоносителя. Его пускают во все ответвления и по нему определяется состояние труб. По левому проводнику – транзитному, осуществляется функция создания петли. Предусмотренные системой контрольные точки предназначены для возможности доступа эксплуатирующего персонала к сигнальным проводникам. Точки не должны быть друг от друга дальше, чем 300 метров. Система ОДК считается работоспособной, если сопротивление изоляции между сигнальными проводниками и стальным трубопроводом не ниже 1 МОм на 300 м теплотрассы. Для контроля сопротивления изоляции следует использовать напряжение 250 В.

Коммутационные терминалы находятся на улице в ящиках ковера, в помещениях тепловых и насосных пунктов, либо в тепловых камерах теплосети (рис. 2).



Рисунок 2. Расположение коммутационных терминалов системы ОДК

Сами измерения и определение места повреждения проводятся с помощью специальных приборов (рис.3).



*Рисунок 3. Основные приборы для выявления скрытых утечек воды:
а- портативный цифровой рефлектометр РЕЙС-105М1; б – импульсный рефлектометр РИ-10М2; в - волоконно-оптический рефлектометр TR600*

Проанализировав технические характеристики устройств, представленных на рынке, простоту в их эксплуатации, можно прийти к выводу, что самым распространенным является импульсный рефлектометр, т.е. устройство, позволяющее определить повреждение на расстоянии от 2 до 30 км. Погрешность измерений таких приборов составляет около 1-2 %. Точность измерений зависит не от погрешности рефлектометра, а от погрешности волновых характеристик всех элементов трубопровода (рис. 4).

Концепция работы системы ОДК строится на принципе отражения импульсов, или свойстве воды увеличивать проводимость электрического тока. Пенополиуретан в сухом состоянии обладает высоким сопротивлением и при попадании на него влаги улучшается проводимость и подключенные к системе датчики фиксируют снижение сопротивления изоляции, также позволяя определять расстояние до места снижения сопротивления. При обрыве сигнальной петли поступает сигнал о неисправности.

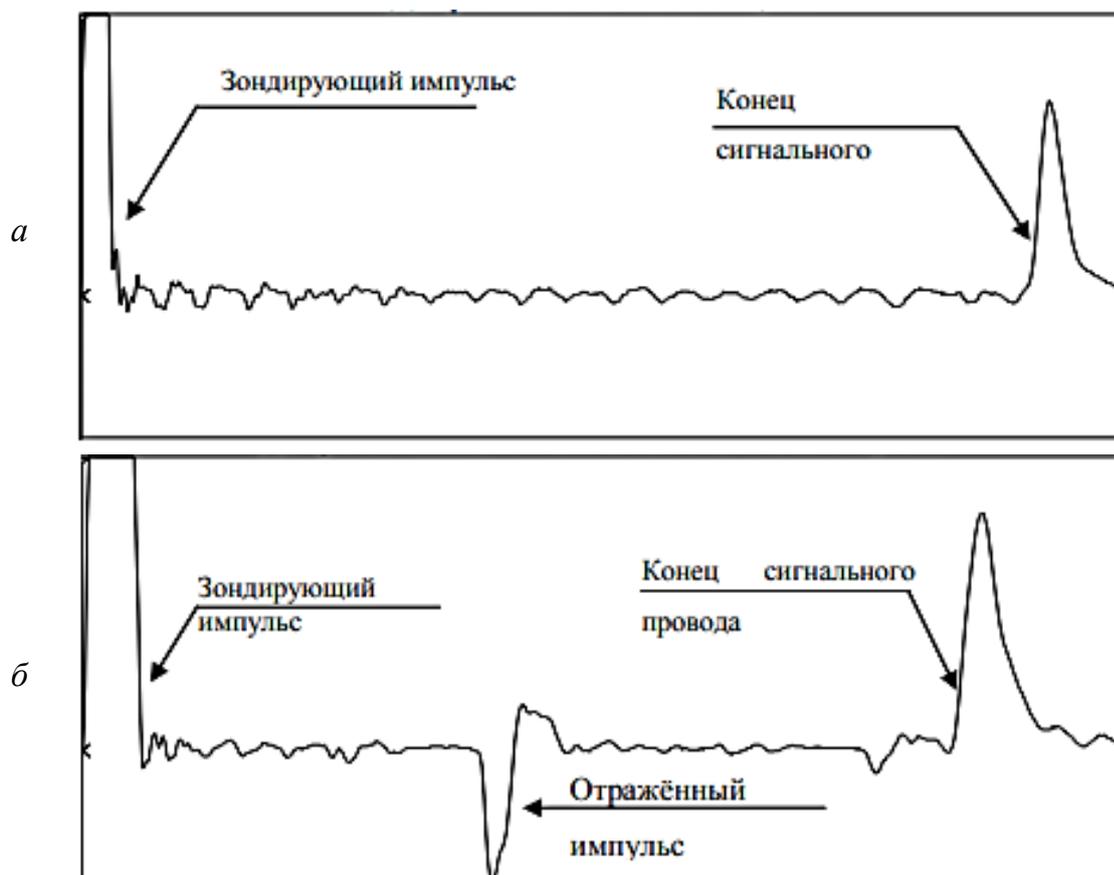


Рисунок 4. Рефлектограмма сигнального провода:
 а - не имеющего повреждений; б - имеющего дефект типа
 «намокание изоляции»

Слишком малое сопротивление указывает на повышенную влажность изоляции или на наличие контакта между сигнальными проводами и стальной трубой. Если протяженность исследуемого участка больше максимально контролируемой одним детектором длины, то необходимо разбить теплотрассу на несколько участков с независимыми системами контроля.

Количество участков определяется по формуле: $N = L_{пр}/L_{max}$,

где $L_{пр}$ – длина проектируемой теплотрассы, м;

L_{max} – максимальный диапазон действия рефлектометра, м.

На основе данных, из опыта эксплуатации тепловых сетей ГУП «ТЭК СПб» в настоящее время в распоряжении предприятия имеется 1431 система ОДК, которая охватывает 526 км сетей, то есть 11% от всей протяженности труб ТЭКа. За счет применения технологии СОДК за последние годы предприятием было сэкономлено 10 тыс. тонн условного топлива. Изучив рабочую информацию, можно систематизировать основные дефекты теплосетей, представив их в следующей диаграмме (рис.5).

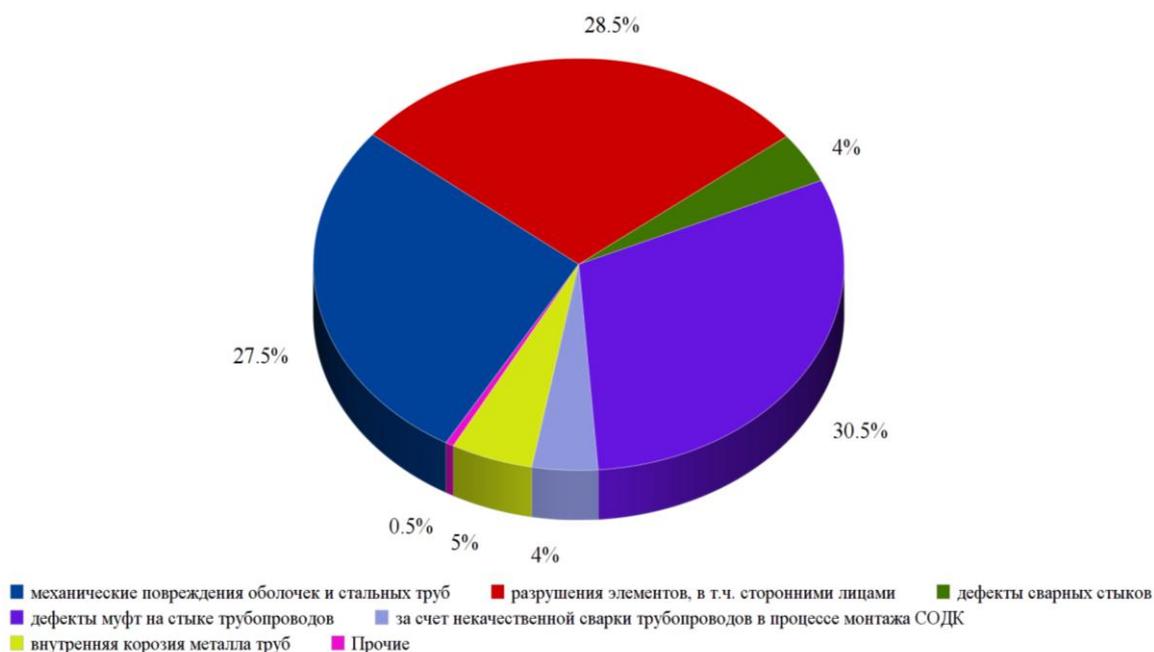


Рисунок 5. Статистика по дефектности теплосетей

Таким образом, основными преимуществами системы ОДК перед традиционными являются:

- Повышение долговечности (с 10-15 до 30 и более лет).
- Снижение тепловых потерь с действительных 25-35 до 2-4 %.
- Снижение эксплуатационных расходов в 9 раз.
- Снижение расходов на ремонт теплотрасс в 3 раза.
- Снижение капитальных затрат в строительстве в 1,3 раза.
- Значительное снижение сроков строительства.
- Наличие системы оперативного дистанционного контроля за увлажнением изоляционного слоя.

Опыт внедрения и поставки оборудования для диспетчеризации показаний состояния трубопроводов в ППУ-изоляции свидетельствует о своевременности, достаточно высоком уровне оснащенности и экономической эффективности данного направления. Профессиональный подход позволяет полностью автоматизировать процесс оповещения об аварийных ситуациях на трубопроводах тепловых сетей, что возможно только для трубопроводов, оснащенных СОДК.

Список использованной литературы

1. Интернет ресурс: <https://www.teploenergoplast.ru/faq/sistema-operativnogo-dstantsionnogo-kontrolya-/>
2. СТО 18929664.41.105–2013. Система оперативно-дистанционного контроля трубопроводов с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке или стальном защитном покрытии. Проектирование, монтаж, приемка, эксплуатация.

© Э.Р. Казаков, М.С. Липатов, 2020

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

д-р. техн. наук, профессор **Кондрашкова Галина Анатольевна**,
канд. техн. наук, доцент **Дятлова Елена Павловна**,
ст. преподаватель **Бондаренкова Ирина Владимировна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассматриваются источники неопределенностей измерительной информации о физических величинах, определяющих свойства и состав технологических параметров в технологических процессах на примере целлюлозно-бумажного производства. Предлагаются к использованию дифференциальные и интегральные измерительные процедуры для более достоверного определения параметров в системах управления технологическими процессами.

Ключевые слова. Управление, измерение, неопределенность технологических параметров, неинформативные величины, измерительные процедуры.

**IMPROVEMENT OF INFORMATION AND MEASURING SUPPORT OF
AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

**Kondrashkova Galina Anatolievna,
Diatlova Elena Pavlovna,
Bondarenkova Irina Vladimirovna**

Abstract. Sources of uncertainties in measuring information of physical quantities that determine the properties and composition of the technological parameters in technological processes are considered using the examples of pulp and paper production. Differential and integral measuring procedures are proposed for use for a more reliable parameters determination in process control systems.

Keywords. Control, measurement, technological parameters uncertainty, non-informative values, measuring procedures.

Как известно управление – суть преобразования информации [1, с.125]. Поэтому улучшение управления в любых системах (в том числе социальных) должно быть связано с совершенствованием их информационного обеспечения.

В первую очередь для систем автоматического управления технологическими процессами важнейшим критерием их качества является обеспечение информационно-измерительными технологиями. Это объясняется тем, что точность получения измерительной информации особенно в технологических объектах в десятки раз меньше точности передачи, обработки и использования информационных сигналов с помощью цифровых технологий. Тому имеются ряд объяснений. Во-первых, измерение технологических параметров в большинстве случаев не имеют методологической основы. То есть, наблюдаемые физические величины не изучены с метрологической точки зрения и не имеют моделей физических величин, восходящих к принятым основным единицам международной системе единиц СИ [2]. Так измерение влажности бумажного полотна на бумагоделательных машинах определяется по косвенным измерениям физических величин: интенсивности инфракрасного излучения (ИК-влажномеры), изменению электромагнитных сверхвысоких колебаний (СВЧ-влажномеры), определению реактивного и активного электрического сопротивления бумажного полотна (диэлькометрические, емкостные и кондуктометрические, емкостно-индуктивные влагомеры) и другим физическим явлениям [3, с. 255]. Однако на показания этих средств измерения влияют колебания других характеристик бумажного полотна – структурный, фракционный состав полотна, масса 1 м^2 , толщина, температура и даже вибрация. Влияние этих неинформативных величин связано с применением для измерения соответствующей физической величины физической модели, а именно осуществляется измерение влагосодержания в материале, в котором непосредственно не определяется влага и сухое вещество, содержащееся в материале, как это делается при взвешивании проб бумажного полотна при его высушивании до постоянного веса. В такой физической модели влагосодержания при перечисленных способах его определения не могут учитываться свободная влажность в межмолекулярном пространстве и влажность, связанная с молекулами состава бумажного полотна. Даже такая широко известная и повсеместно применяемая в системах управления технологическими процессами величина как температура не имеет теоретически обоснованной модели физической величины [4]. При этом в международной системе единиц SI единица термодинамической температуры – Кельвин – определяется, как $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды, которой приписано значение термодинамической температуры $T = 273,16 \text{ К}$. Хотя по молекулярно-кинетической теории строения вещества температуру характеризует скорость броуновского движения молекул, которую определять в настоящее время не представляется возможным.

Во-вторых, в связи с этим селекция таких физических величин, используемых в системах управления технологическими объектами, затруднена неопределенностью влияния на эту операцию разнообразных сопутствующих неинформативных величин [5, с.35]. Так измерение температуры в технологических потоках зависит не только от броуновской скорости движения молекул веществ, но и от целенаправленного движения потоков молекул. При этом, чем выше скорость такого движения молекул, тем больше неопределенность измерения их температуры переменной во времени и в пространстве технологического объекта. То же относится, к примеру, измерения влажности и влагосодержания бумажного полотна. К перечисленным выше влияниям внутренних и особенно внешних факторов, поскольку вторые существенно искажают показания именно средств измерения этой величины, относится так же неравномерность его распределения вдоль и поперек бумажного полотна при значительных скоростях движения и поперечных размерах полотна.

В-третьих, первичное измерительное преобразование физических величин в измерительные сигналы в технологических аппаратах сопровождается внедрением первичных измерительных преобразователей в объекты в виде специальных датчиков, которые в результате энергетического взаимодействия с технологической средой вносят неопределенность в получаемые измерительные сигналы. Последние могут искажаться как во времени (в процессе эксплуатации), так и в пространстве объекта (изменение свойств по пространству объекта). Отмечается так же изменение целостности защитных кожухов датчиков температуры и других датчиков при взаимодействии их с агрессивными веществами в технологических агрегатах.

В-четвертых, получение измерительной информации средствами измерения для контроля и управления технологическими параметрами сопровождается влиянием неинформативных параметров – внешних влияющих величин, которые имеют временные и пространственные изменения, что было упомянуто выше при измерении влагосодержания бумажного полотна. Эти влияния оцениваются дополнительными погрешностями, размеры последних подлежат стандартным оценкам. Однако эти неопределенности могут частично или полностью быть скомпенсированы специальной постановкой измерительных процедур для технологических параметров.

Предлагается обсудить ряд возможных подходов к улучшению информационно-измерительного обеспечения систем управления технологическими процессами.

Первый подход предлагается для более широкого использования, поскольку в ряде случаев управления он используется в целлюлозно-бумажном производстве и состоит в управлении по дифференциальным значениям технологических величин. Он заключается в измерении технологических

параметров в нескольких точках технологического объекта. При этом в качестве корректирующего сигнала управления используются разностные значения этих технологических параметров. Таким образом, автоматическая система управления адаптируется к необходимому режимному изменению этого технологического параметра. При этом разностное значение измеряемой физической величины с учетом её пространственной адекватности информирует систему именно о надлежащих преобразованиях технологического потока или технологических характеристик изготавливаемого продукта. Такая схема контроля используется в варочных котлах целлюлозно-бумажного производства. При управлении измеряется температура в различных зонах прохождения щепы с варочным раствором для производства целлюлозы. По-видимому, для управления качеством производства целлюлозы целесообразно использовать не только измерение температуры в верхней части котла, а именно её изменения по мере провара щепы в пространстве варочного котла в различных его зонах. При этом неопределенность оценки температуры для управления уменьшится в связи с исключением или уменьшением факторов, влияющих на неопределенность измерения управляемого параметра, которые перечислены выше.

Аналогичную измерительную процедуру для более достоверного определения влагосодержания бумажного полотна следует использовать при измерении влажности полотна в начале сушильных групп цилиндров и на накате при выпуске бумажного полотна с бумагоделательной машины. Тогда, даже при наличии двух или трех датчиков влажности перед сушильной частью БДМ и сравнении их показаний с датчиками на накате в сканирующем устройстве с учетом транспортного запаздывания результатов измерения влажности перед сушкой полотна, этот дифференциальный сигнал позволяет информировать систему управления сушкой о качестве этого процесса и применять его для управления влажностью.

Такой разностный сигнал, характеризующий потерю влажности бумажного полотна при сушке, окажется более достоверным в связи с учетом поправок на искажения из-за наличия внутренних и внешних влияющих величин, перечисленных выше для применяемых средств измерения влажности. Он может использоваться САУ температурой сушильных групп цилиндров для обеспечения качества выпускаемой продукции на накате БДМ без дополнительных режимов увлажнения и пересушивания полотна.

Второй подход к уменьшению неопределенности информативных технологических параметров заключается в использовании интегральных оценок этих параметров с учетом их пространственных и (или) временных изменений [6]. Такой подход целесообразно применять в распределенных в пространстве технологических объектах. Интегральные оценки технологических параметров так же служат для контроля (но и только) технологических параметров. Например, измерение влажности или массы 1 м^2 бумажного полотна с помощью

датчиков, установленных на сканирующем устройстве, служит для контроля качества полотна в виде распределения этих величин по ширине полотна. Задача контроля состоит из наблюдения за качеством производимого полотна по влажности и массе 1 м^2 определяемого заданными границами изменения этих параметров поперек и вдоль полотна. Однако эта информация практически не применяется для управления влажностью и массой 1 м^2 полотна. Размер технологического параметра влажности в интегральном значении будет полезен при управлении сушильной частью БДМ как корректирующий сигнал разностной оценки влагопотерь в этой части машины. Масса 1 м^2 полотна как технологический параметр зависит от массоподготовительного отдела бумажного производства, и значительное транспортное запаздывание информации не позволяет оперативно влиять на этот технологический параметр. Тем не менее информацию именно об интегральных оценках массы 1 м^2 полотна следует использовать при подготовке бумажной массы перед напорным ящиком бумагоделательной машины.

Следует применять интегральные оценки при измерении температуры в варочных котлах с помощью установки ряда датчиков по периметру котла в различных зонах нагрева с последующим осреднением температурных абсолютных и относительных размеров. Эти оценки также рационально использовать в системах автоматического управления режимами производства целлюлозы.

Итак, использование дифференциальных подходов к постановке измерительных процедур позволяет получать оценки разностных значений физических величин с уменьшенным или исключенным составом систематических неопределенностей измерений. При этом в системах управления технологическими процессами могут применяться разностные и абсолютные значения измеряемых величин. Например, в цифровых частотомерах измерение уточненного значения частоты получают использованием интервала наблюдения не 1 с , а $10-100 \text{ с}$, получая при этом среднее значение частоты колебаний напряжения свободных от случайных флюктуаций. При применении интегральных процедур измерений в технологических процессах осредненные после суммирования оценки физических величин имеют уточненные значения благодаря учету случайных неопределенностей измерений. Это осуществляется аналогично правилу обмена быстродействия на точность [4, с.42], который нередко применяется в измерительной технике. Если возможно использовать интегральные процедуры измерения совместно с дифференциальными, то удастся уменьшить влияние как статистических, так и случайных неопределенностей измерений технологических параметров. Это дает возможность совершенствовать информационно-измерительное обеспечение систем управления технологических процессов на базе избыточного использования средств

измерения и алгоритмов обработки измерительных сигналов. По разностным значениям – следует управление этими величинами, а по абсолютным размерам – контроль протекания технологических процессов.

Микроминиатюризация и современные технологии изготовления датчиков позволяют надеяться на удобство и надежность работы с измерительной аппаратурой, поскольку именно существенное уточнение измерительной информации в системах контроля и, главное, управления позволяет повысить качество выпускаемой продукции. Предлагаемые подходы с использованием дифференциальных и интегральных оценок информации о технологических параметрах (величинах) связаны с избыточным использованием измерительных устройств, однако, как известно, затраты на измерительную аппаратуру в десятки раз превосходят стоимость основных производственных фондов. Поэтому, если измерения технологических параметров по таким подходам к измерительным процедурам приведут к совершенствованию качества управления и улучшению конкурентоспособности выпускаемой продукции, эти расходы окупятся достаточно быстро.

Список использованной литературы

1. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова, под ред. Г.Н. Поварова. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
2. Горбань И.И. Измерение физических величин в непрогнозируемо изменяющихся статистических условиях // Математические машины и системы. – Киев, 2015, № 4 – С. 80-91.
3. Кондрашкова Г.А. Технологические измерения и приборы в целлюлозно-бумажной промышленности: учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 386 с.
4. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 304 с.
5. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Принятие решений в условиях неопределенности. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 289 с.
6. Цветков В.Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации // Информационные технологии. – 2015. – №1. – С. 3-7

© Г.А. Кондрашкова, Е.П. Дятлова, И.В. Бондаренкова, 2020

УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ

соискатель кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке»

Бурганова Фирюза Ильсуровна,

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, Российская Федерация

студент гр. 431 **Зверев Леонид Олегович**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Науч. руководитель: профессор, д-р техн. наук **Зверева Эльвира Рафиковна**

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Разработка экологически чистых методов утилизации отхода предприятий – нефтешлама является актуальной задачей. Предлагается использовать нефтяной шлам как котельное топливо, предварительно снизив его вязкость путем добавления присадки. Карбонатный шлам положительно влияет на реологические свойства нефтешлама, уменьшая его вязкость в зависимости от используемой температуры на 5-30 %. Утилизация нефтешлама может уменьшить негативное экологическое воздействие на окружающую среду, отказаться от инвестиций в реконструкцию и строительство новых нефте- и золошлакоотвалов.

Ключевые слова. Нефтяной шлам, утилизация, методы утилизации, отходы.

METHODS OF OIL SLUDGE UTILIZATION

Burganova Firyuza Ilurovna,

Zverev Leonid Olegovich,

Zvereva Elvira Rafikovna

Abstract. Development of environmentally friendly methods of utilization of waste from enterprises – oil sludge is an urgent task. It is proposed to use oil sludge as a boiler fuel, having previously reduced its viscosity by adding an additive. Carbonate sludge has a positive effect on the rheological properties of oil sludge, reducing its viscosity depending on the temperature used by 5-30%. Utilization of oil sludge can reduce the negative environmental impact on the environment, abandon investments in the reconstruction and construction of new oil and ash dumps.

Key words. Oil sludge, utilization, utilization methods, waste.

Деятельность предприятий топливно-энергетического комплекса связана воздействием на окружающую среду. Разработка экологически чистых методов утилизации отхода предприятий – нефтешлама (НШ) является актуальной задачей.

Основной причиной образования нефтешлама является взаимодействие нефтепродуктов с влагой, кислородом воздуха и механическими примесями. В результате окислительных процессов исходные нефтепродукты образуют смолоподобные соединения. Шламы являются пастообразными массами, влажность которых колеблется в пределах 65-85 %. Плотность нефтешламов находится в интервале 830-1700 кг/м³, а температура застывания от -3 °С до +80 °С. Шламы различных производств имеют особенности в зависимости от химического состава получаемых продуктов, образующихся сточных вод и методов их очистки, используемых на данном предприятии [1].

Состав НШ сложен и зависит от исходной нефти и технологических процессов. В основном, они содержат нефтепродукты 5-60 % масс, воду 40-85 % масс. и механические примеси 5-40 % масс. в зависимости от места образования нефтешлама.

Нефтяной шлам относится к 3-му классу опасности. Поэтому его нельзя утилизировать методом захоронения на полигонах ТБО (ТКО). Переработку и утилизацию нефтяных шламов применяют после извлечения из неё полезных продуктов. В основном применяют следующие методы утилизации нефтяных шламов: термический, физический, химический, физико-химический, биологический методы утилизации.

Авторы предлагают использовать нефтяной шлам как котельное топливо, предварительно снизив его вязкость путем добавления присадки.

В качестве присадки использовали продукт умягчения воды на водоподготовительных установках тепловых электростанций, целесообразно использовать тонкодисперсную фракцию обезвоженного карбонатного шлама с размером частиц не более 0.09 мм с суммарным содержанием карбонатов кальция и магния не менее 85 %. Как показали ранее проведенные исследования, карбонатный шлам в виде присадки положительно влияет на вязкостно-температурные характеристики мазута.

В качестве нефтешлама использовали вязкую углеводородную жидкость со слабым запахом, отобранную из резервуаров в Казахстане, который накапливается в результате хранения и перевозки нефти и продуктов из нее в различных емкостях – резервуарах.

Вязкость является важным эксплуатационным параметром, обуславливающим ход протекания различных технологических процессов на различных производствах, включая производство тепловой и электрической энергии. Снижение вязкости может приводить к облегчению технологических стадий использования рассматриваемых материалов, а увеличение вязкости может говорить об упрочняющем модифицировании материалов, увеличению

энергозатрат, связанных с перекачкой, транспортировкой и распылом в форсуногорелочных устройствах, что приводит к удорожанию транспортировки и хранения топлива и оказывает существенное влияние на работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС и котельных, а также на объем выбрасываемых в атмосферу вредных веществ.

Определение условной вязкости жидких нефтепродуктов (в градусах Энглера, °Е) проводилось в вискозиметре Энглера ВУ-М-ПХП согласно ГОСТ 6258-85. Метод определения заключается в измерении времени истечения из вискозиметра 200 см³ испытуемого нефтепродукта при температуре испытания.

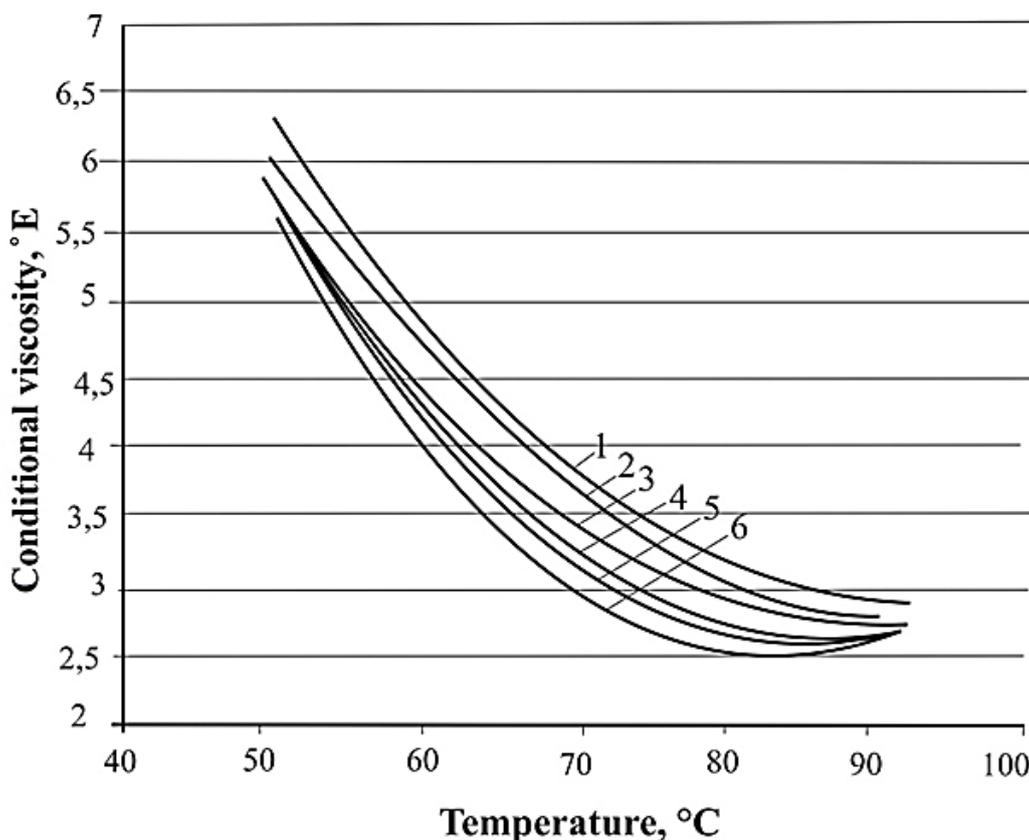


Рисунок 1 – Зависимость условной вязкости от температуры:

- 1 – проба чистого нефтешлама;
- 2 – проба нефтешлама с добавлением 0,05 мас. % карбонатного шлама;
- 3 – проба нефтешлама с добавлением 0,1 мас. % карбонатного шлама;
- 4 – проба нефтешлама с добавлением 0,2 мас. % карбонатного шлама;
- 5 – проба нефтешлама с добавлением 0,3 мас. % карбонатного шлама;
- 6 – проба нефтешлама с добавлением 0,5 мас. % карбонатного шлама

Испытания, проведенные с нефтешлагом при добавлении присадки в количестве 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5% говорят об улучшении реологических свойств нефтешлагов при использовании карбонатной присадки [2].

Как видно из рис. 1, по сравнению с вязкостью «чистого» нефтешлага в случае использования карбонатной присадки вязкость уменьшается на 7–10 %

при концентрации присадки в мазуте 0,05-0,5 мас. %, что минимизирует расход тепла на подогрев нефтешлама при разгрузке из цистерн, хранении и подаче в котел. Испытания реологических свойств нефтешлама проводились при температурах 50,60,70,80, и 90⁰С. В соответствии со структурно-групповым составом нефтешлам представлен в значительной степени парафиновыми углеводородами (31-35%) [3]. Содержащиеся в топливе парафины при понижении температуры легко кристаллизуются. При определенных размерах и концентрации кристаллы образуют пространственную структуру, в результате чего топливо теряет подвижность.

Согласно полученным экспериментальным данным, можно заключить, что соединения присадки сорбируются на поверхности зарождающихся кристаллов парафиновых углеводородов и препятствует их росту и ассоциации, тем самым оказывая положительное действие на реологические свойства: снижается вязкость нефтешлама. В связи с этим уменьшаются энергетические затраты на подогрев нефтешлама и на его перекачку по трубопроводам. Кроме того, по мере увеличения молекулярной массы углеводородов их ассоциирующая способность возрастает, следовательно, эффективность действия присадки в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки ТЭС будет повышаться.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что нефтешлам с карбонатной присадкой может вполне эффективно вторично использоваться как котельное топливо. Карбонатный шлам положительно влияет на реологические свойства нефтешлама, уменьшая его вязкость в зависимости от используемой температуры на 5-30 %.

Утилизация нефтешлама может уменьшить негативное экологическое воздействие на окружающую среду, отказаться от инвестиций в реконструкцию и строительство новых нефте- и золошлакоотвалов.

Список использованной литературы

1. Хуснутдинов И.Ш., Сафиуллина А.Г., Заббаров Р.Р., Хуснутдинов С.И. Методы утилизации нефтяных шламов // Известия высших учебных заведений. – 2015. – № 10. – С. 3-20.
2. Зверева Э.Р., Дмитриев А.В., Шагеев М.Ф., Ахметвалиева Г.Р. Результаты промышленных испытаний карбонатной присадки к мазуту // Теплоэнергетика. – 2017. – №9. – С. 50-56.
3. Хайдаров Ф.Р., Хисаев Р.Н., Шайдаков В.В., Каштанова Л.Е. Нефтешламы. Методы переработки и утилизации: монография. – Уфа. – 2003. – 74 с.

© Ф.И. Бурганова, Л.О. Зверев, Э.Р. Зверева, 2020

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ТОПЛИВО

студент гр. 423 **Крезуб Антонина Игоревна**,

Науч. руководитель: д-р. физ.-мат. наук, проф. **Циовкин Юрий Юрьевич**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В результате сжигания ископаемых видов топлива, рекордные объемы углекислого газа, входящего в состав парниковых газов, выбрасываются в атмосферу и фактически тратятся в пустую. В статье предлагается исследование технологии углеродного регулирования, разработанной канадской компанией SeeO₂Energy, основанной на принципе реверсивного твердооксидного топливного элемента. Проанализирован принцип действия установки улавливания и преобразования CO₂. Определены перспективы применения установки SeeO₂Energy. Рассматриваются термодинамические и теплофизические свойства углекислого газа, его преимущества.

Ключевые слова. Выбросы парниковых газов; диоксид углерода; улавливание и применение углекислого газа; реверсивные твердооксидные топливные элементы.

CONVERTING CARBON DIOXIDE INTO FUEL

Krezub Antonina Igorevna,

Tiomkin Yuri Yurievich

Abstract. As a result of burning fossil fuels, record quantities of carbon dioxide, a greenhouse gas, are being released into the atmosphere and actually wasted. The article proposes a study of the carbon regulation technology developed by the Canadian company SeeO₂Energy, based on the principle of a reversible solid oxide fuel cell. The operating principle of the CO₂ capture and conversion unit is analyzed. The prospects of using the SeeO₂Energy installation have been determined. The thermophysical and thermophysical properties of carbon dioxide and its advantages are considered.

Keywords. Greenhouse gas emissions; carbon dioxide; carbon dioxide capture and use; reversible solid oxide fuel cells.

Энергосбережение мира обеспечивается в основном за счет сжигания ископаемого топлива. Согласно 10-му изданию Доклада о разрыве в уровнях выбросов, подготовленных Программой ООН по окружающей среде, в 2018 году выбросы CO₂, которые преобладают в общем объеме выбросов парниковых

газов, выросли до рекордного уровня, а именно, 37,5 тСО₂э. При таком увеличивающемся объеме выбросов следует повышение температуры Земли до 3,2 градуса, что увеличит частоту и интенсивность климатических воздействий, таких как волны тепла и штормы по всему миру [1, с. 5].

Таким образом, одной из важнейших проблем энергетики является сокращение количества выбросов парниковых газов в атмосферу. Последствия выработки энергии обуславливают потребность в создании и внедрении инновационных технологий по утилизации углекислого газа.

Компания SeeO₂Energy, основанная в 2018 году в Канаде, активно занимается проблемой глобальных выбросов углекислого газа СО₂. SeeO₂Energy разрабатывает технологию с помощью которой будет возможно преобразование парниковых газов в ценные виды топлива и химикатов до того, как они попадут в атмосферу. Таким образом, целью данной компании является преобразование углекислого газа в прибыльный актив, уменьшив при этом мировую зависимость от ископаемого топлива одновременно снизив общий углеродный след. На данный момент компания активно финансируется инвесторами и готовится к испытаниям прототипа установки. Первая компания, протестирующая технологию, ATCO Energy. Выход на рынок планируется в 2021 году.

Главная разработка компании представляет собой высокотемпературный электролизер, который использует СО₂ из потоков выбросов и преобразует его в различные виды химикатов и топлива, которые можно использовать в дальнейшем.

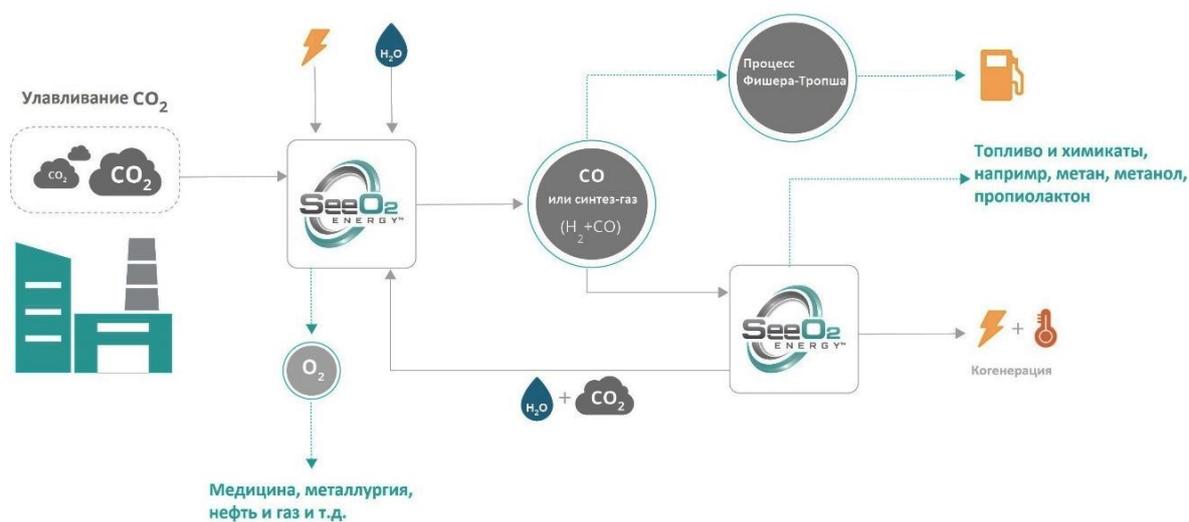


Рисунок 1. Общая концепция

Технология основана на реверсивных твердооксидных топливных элементах (RSOFCs – Reversible Solid Oxide Fuel Cells). Топливные элементы предназначены для превращения химической энергии топлива в электрическую без механической фазы. Твердооксидные топливные элементами считаются

перспективными за счет следующих факторов: не используется платина – материалы менее редки и более дешевы, нечувствительность катализатора к угарному газу, а при высоких температурах способность использовать его в качестве топлива, возможность работы без топливного процессора и воздухоочистителей, малые системы гибки в пуске-остановке, теплоту уходящих газов можно использовать для теплоснабжения, как в когенерационных циклах. Недостатками таких топливных элементов являются: низкий ресурс, высокая температура работы, низкая плотность мощности [7, с. 406].

Устройство может работать в двух режимах. В режиме твердооксидной электролизной ячейки устройство электролизует воду (H_2O) в водород (H_2) и кислород (O_2) или CO_2 в монооксид углерода (CO) и O_2 , также данный режим позволяет совместно электролизовать CO_2 и H_2O с образованием синтез-газа (H_2+CO). Когда устройство работает в режиме твердооксидного топливного элемента (SOFC - Solidoxidefuelcell), тепло и электричество производятся из синтез-газа и кислорода.

Принцип работы первого и второго режима изображены на рис.2 и рис.3, соответственно

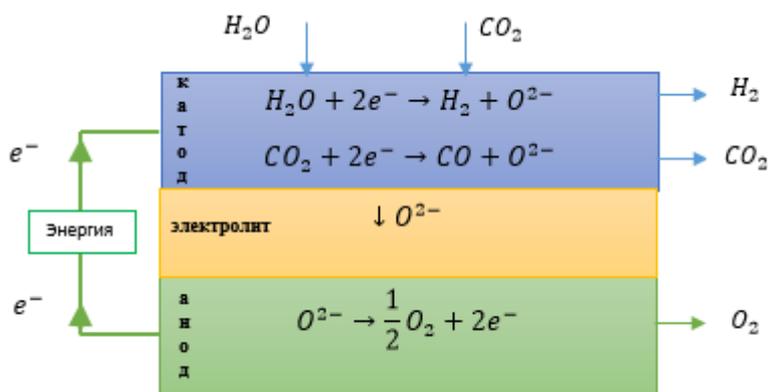


Рисунок 2. Принцип работы SOEK

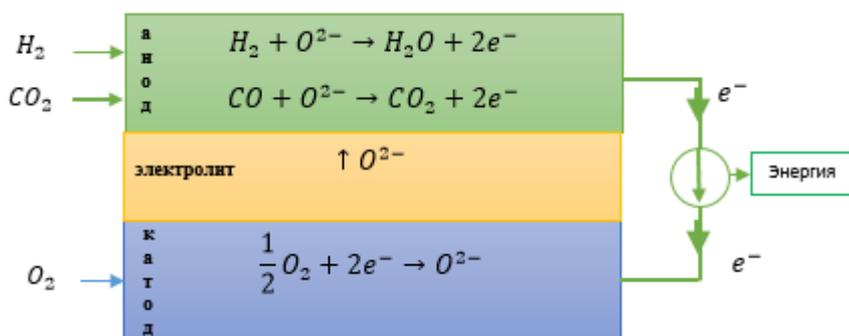
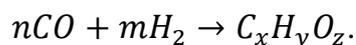


Рисунок 3. Принцип работы SOFK

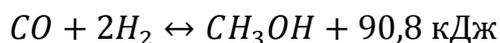
Образование углеводородов из синтез-газа ($CO+H_2$) является сложным каталитическим процессом, включающим большое число последовательных и параллельных превращений. Такой процесс назван синтезом Фишера-Тропша,

он протекает при нормальных и повышенных давлениях в присутствии катализаторов на основе переходных металлов VIII группы (в основном Fe, Co, Ru). Синтез Фишера-Тропша можно рассматривать как восстановительную олигомеризацию оксида углерода:



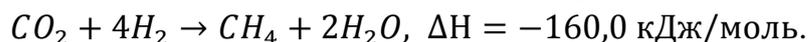
Оптимальные результаты дают железные катализаторы при давлении 25-30 атм и температуре 230-240°C; рутениевые катализаторы при высоком давлении 100-1000 атм и температуре 120-130°C; кобальтовые катализаторы, которые считаются наиболее эффективными и перспективными, при давлении 1-30 атм и температуре 120-130°C. Конечными продуктами в общем случае являются алканы, алкены и кислородсодержащие соединения. При этом, как обычно при олигомеризации, образуется сложная смесь продуктов разной молекулярной массы [8, с.43].

Основная реакция образования метанола (CH₃OH) из синтез-газа



является гомогенной, обратимой и экзотермической.

Реакция Сабатье производит метан и воду из диоксида углерода при условии никелевого катализатора и повышенной температуры 300-400 °C:



Реализация мероприятий SeeO₂ Energy по очистке атмосферы благоприятно по нескольким причинам:

Во-первых, высокотемпературные SOEC имеют явные кинетические и термодинамические преимущества по сравнению с существующими более низкотемпературными подходами: реакции протекают быстрее, варианты альтернативных катализаторов шире и катализаторы более стабильны.

Во-вторых, продукты (синтез-газ, H₂ и CO) могут использоваться непосредственно для различных целей и в дальнейшем могут быть преобразованы для замены природного газа, метанола, аммиака, синтетического жидкого топлива и т.д.

В-третьих, по подсчетам на каждую тонну удаляемого и повторно используемого CO₂ исключаются три тонны выбросов CO₂. По словам Беатрис Молеро, основателя SeeO₂Energy: «Если бы наши коммерческие установки использовались нашими конечными пользователями, такими как производители экологически чистых пластмасс или нефтехимии, мы бы значительно снизили выбросы CO₂ - что эквивалентно удалению 100 миллионов автомобилей с дорог или 700 000 реактивных самолетов» [2, 4].

В-четвертых, внедрение данной технологии запустит монетизацию процесса выбросов отходов, новые ценные активы для предприятий.

В-пятых, RSOFCS в режиме топливных элементов (SOFC) может использоваться для обеспечения электричеством зданий и в качестве источника энергии для электромобилей.

Однако использование твердооксидных топливных элементов затрудняется следующими факторами: большая стоимость установок, высокие температуры приводят к медленному запуску и охлаждению устройства и деградации материалов, из чего следуют затраты на обновление материалов.

Диоксид углерода благодаря своим физико-химическим и термодинамическим характеристикам выгодно выступает в качестве рабочего тела, поэтому его улавливание и использование эффективно. Во-первых, углекислый газ CO₂ (R744) представляет собой негорючий естественный дешевый хладагент, который все шире используется в холодильных установках. Во-вторых, диоксид углерода просто получить. В-третьих, использование данного газа в различных агрегатных состояниях (газ, жидкость, твердое вещество) позволяет решать различные технологические задачи. В-четвертых, обезвоженный диоксид углерода (как газообразный, так и жидкий) не корродирует металлы [5, с.19].

Таблица 1. Термодинамические и теплофизические параметры CO₂ и H₂O

Параметр, размерность	CO ₂	H ₂ O
Молекулярная масса, г/моль	44,01	18,02
Критическая температура, К	304,15	647
Критическая плотность, кг/м ³	467	322
Критическое давление, Мпа	7,36	0,022
Температура тройной точки, К	216,55	273,16
Давление тройной точки, Мпа	0,52	0,61
Плотность жидкости тройной точки, кг/м ³	1178,5	999,79
Плотность газа тройной точки, кг/м ³	13,762	0,00485
Кинематическая вязкость жидкости тройной точки, см ² /с	0,0022	0,0179
Кинематическая вязкость газа тройной точки, см ² /с	0,0079	18,428
Теплопроводность жидкости тройной точки, Вт/м·К	0,180	0,561
Теплопроводность газа тройной точки, Вт/м·К	0,011	0,017

Исходя из данных табл.1, можно сказать, что диоксид углерода характеризуется низкой кинематической вязкостью жидкости и газа, что обеспечит высокие коэффициенты теплоотдачи, малое гидравлическое сопротивление на участках гидравлических систем.

Наиболее перспективным является использование сжиженного углекислого газа CO₂ в качестве рабочего тела в тепловом контуре органического цикла Ренкина. При этом оптимальный температурный диапазон использования составляет от 80 °С до минус 50 °С. Это обусловлено повышенным давлением насыщенного газа CO₂ в контуре циркуляции теплового двигателя [5, с. 20].

Если обратить внимание на возобновляемые источники энергии и электромобили, стоит упомянуть технологию газовой энергии (PowertoGas,

P2G), в частности водородной энергии и воздушно-литиевые батареи с высокой плотностью энергии. Однако при внедрении таких технологий возникают трудности, связанные с тем, что водород необходимо сжимать ниже температуры $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$ для увеличения плотности энергии и получения возможности его эффективного хранения и транспортировки, а архитектуру воздушно-литиевых батарей необходимо усовершенствовать, иначе их работа ограничивается 10-120 циклами зарядки-разрядки, время работы аккумулятора снижается вследствие загрязнения поверхности электродов продуктами побочных реакций в случае присутствия в газовой среде азота, углекислого газа и воды. На основе этих разработок предлагается создать систему угольно-воздушной вторичной батареи(CASB), которая заключается в применении окислительно-восстановительной реакции CO_2 и углерода к вторичной батарее из-за легкого хранения CO_2 и высокой плотности энергии углерода. Данная система включает в себя твердооксидный топливный элемент, в котором хранится жидкий CO_2 и твердый углерод. Хранение двуокиси углерода проще и безопаснее хранения водорода, поскольку критическая температура CO_2 составляет $31\text{ }^{\circ}\text{C}$, а давление, при котором углекислота хранится в 40-литровом баллоне, 6 МПа. CASB работает как вторичная батарея за счет электролиза CO_2 и выработки электроэнергии с использованием углерода. Кроме того, теоретическая эффективность преобразования окислительно-восстановительной реакции $\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ равна 1, так что ожидается, что система CASB будет работать эффективно [3, 9].

Заключение:

Таким образом, инновационная разработка канадской компании SeeO₂Energy по преобразованию углекислого газа в топливо и полезных химических продуктов имеет важную роль в области промышленной и экологической безопасности. Проведенный анализ новой технологии утилизации парниковых газов дает возможность сделать следующие выводы:

1. В результате внедрения такого устройства по эффективному использованию CO_2 снизится эмиссия парниковых газов в окружающую среду, что замедлит повышение глобальной температуры, остановив антропогенное изменение климата и улучшив международную ситуацию.

2. Если внедрение технологии углеродного регулирования станет рентабельным, то возникнет новая индустрия улавливания парниковых газов.

3. Можно ожидать применения SeeO₂Energy на крупных угольных станциях, что особенно актуально для Китая, который лидирует по количеству выбросов CO_2 от сжигания топлива в атмосферу [2, с. 3].

4. Преимущества теплофизических и термодинамических свойств CO_2 , например, высокая теплопроводность, относительно низкая вязкость, низкая критическая температура, высокая температура тройной точки, позволяют использовать его в различных температурных режимах и термодинамических

циклах (Ренкина, Брайтона, Лоренца), благодаря чему будет возможно широкое использование углекислого газа в различных научных решениях [6, с. 29].

Список использованной литературы

1. Emissions Gap Report 2019 URL: <https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/11/EGR19ESEN.pdf> (дата обращения: 16.11.20).
2. CO₂ Emissions from Fuel Combustion Overview (2020 edition) URL: <https://webstore.iea.org/download/direct/4036> (дата обращения: 16.11.20).
3. Calgary-based spin-off turns green idea to gold | Mitacs <https://www.ucalgary.ca/news/ucalgary-graduates-awarded-greenstem-fellowships> (дата обращения 16.11.20).
4. SeeO₂ Energy URL: <https://www.seeo2energy.com/the-technology/> (дата обращения: 05.11.20).
5. Гафуров А.М., Гафуров Н.М. Характерные особенности использования углекислого газа CO₂ в качестве низкокипящего рабочего тела // Инновационная наука. 2016. №1-2 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakternye-osobennosti-ispolzovaniya-uglekislogo-gaza-so-2-v-kachestve-nizkokipyaschego-rabocheho-tela> (дата обращения: 05.11.2020).
6. Гафуров А. М., Осипов Б. М., Гатина Р. З., Гафуров Н. М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2017. №9-10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnye-puti-snizheniya-vybrosov-uglekislogo-gaza> (дата обращения: 05.11.2020).
7. Захаренко С.О., Махотин Д.Л. Применение твердооксидных топливных элементов // сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. - Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. - С. 405-407.
8. Лapidус А.Л., Крылова А.Ю. О механизме образования жидких углеводородов из Со и Н₂ на кобальтовых катализаторах // Российский химический журнал. - 2000. - №1. - С. 43-56.
9. Proposal of carbon-air secondary battery system and evaluation of its potential as a large-capacity energy storage // Session S8 abstract | APCChE2019 URL: <http://www3.scej.org/meeting/apcche2019/abst/abstracts-s8.html> (дата обращения: 01.12.2020).

© А.И. Крезуб, Ю.Ю. Циовкин, 2020

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

студент гр. 519 **Воропанова Мария Андреевна**,
Науч. руководитель: ст. преподаватель **Новиков Александр Игоревич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей статье кратко излагаются основные сведения о системах вентиляции. В статье рассматривается разработанная система управления приточно-вытяжной вентиляцией. Кроме того, в данной статье описываются основные технические характеристики средства автоматизации данной системы – программируемого логического контроллера Pixel.

Ключевые слова. Система управления, приточно-вытяжная вентиляция, ПИ-регулятор, экраны оператора.

DEVELOPMENT OF THE SUPPLY AND EXHAUST VENTILATION CONTROL SYSTEM

Voropanova Mariya Andreevna,
Novikov Alexandr Igorevich

Abstract. In this paper, the main information about ventilation systems is briefly provided. The paper reports on the developed supply and exhaust ventilation control system. Moreover, the core technical specifications of the device, used to automate this system, that being the "Pixel" programmable logic controller, are described.

Keywords. Control system, supply and exhaust ventilation, PI controller, operator screens.

Вентиляцией называется совокупность мероприятий и устройств, используемых при организации воздухообмена для обеспечения заданного состояния воздушной среды в помещениях и на рабочих местах в соответствии со СНиП. Системы вентиляции обеспечивают поддержание допустимых метеорологических параметров в помещениях различного назначения [1].

По назначению системы вентиляции разделяются на:

- приточные (П);
- вытяжные (В);
- приточно-вытяжные (ПВ).

Установки вентиляции бывают с нагревом и с нагревом и охлаждением воздуха.

В качестве средства автоматизации для рассматриваемой системы был использован программируемый логический контроллер (ПЛК) Pixel отечественной компании Segnetics (Санкт-Петербург) с модулями расширения MR того же производителя (рис 1).

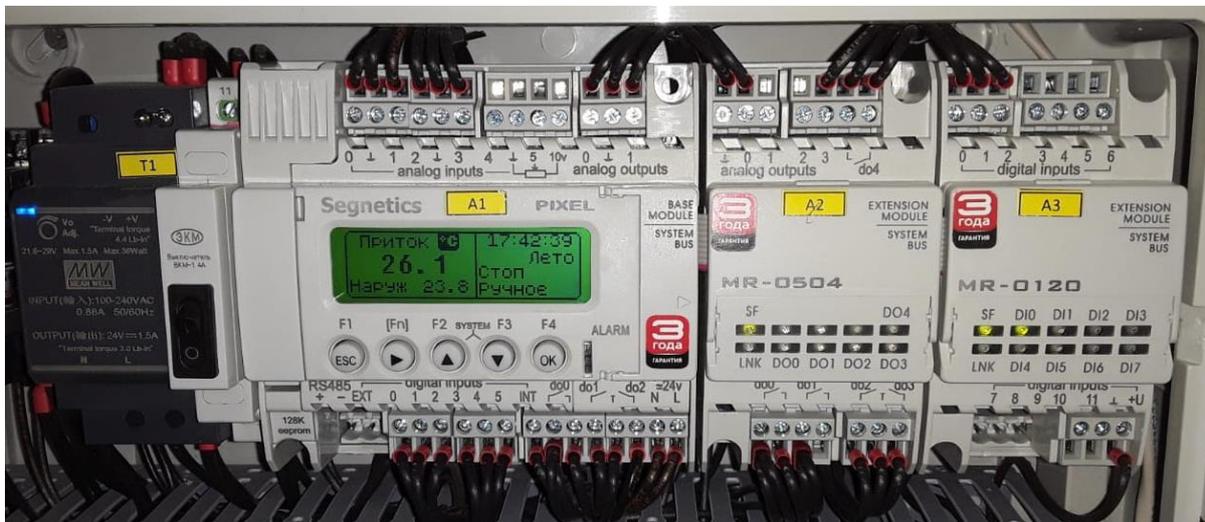


Рисунок 1. Внешний вид ПЛК Pixel с модулями расширения MR

Контроллеры Pixel адаптированы для решения задач автоматизации управления климатом в помещении (вентиляция, отопление, кондиционирование, а также водоподготовка и т.п.) [2].

ПЛК Pixel имеют 6 опторазвязанных дискретных входов, 2 релейных дискретных выхода и 1 симисторный либо транзисторный выход в зависимости от исполнения, 5 аналоговых входов для подключения термометров сопротивления, 1 аналоговый вход для измерения тока/напряжения, 2 аналоговых выхода без гальванической изоляции с защитой от перегрузки. Блок питания не встроен в контроллер. Интерфейс оператора имеет 5 кнопок управления, одноцветный дисплей и 2 светодиода. Передача данных может осуществляться по коммуникационному порту RS485 или с использованием сетевой карты Ethernet 10 Мбит или LONWorks.

Для программирования контроллера использовался бесплатный программный пакет того-же производителя SMLogix (рис. 2), в который входит пакет SMArt (рис. 3) для создания пользовательских интерфейсов.

Как и любая система управления, разрабатываемая система должна отображать всю необходимую информацию о контролируемом процессе, сигнализировать в случае аварии, иметь защитные функции.

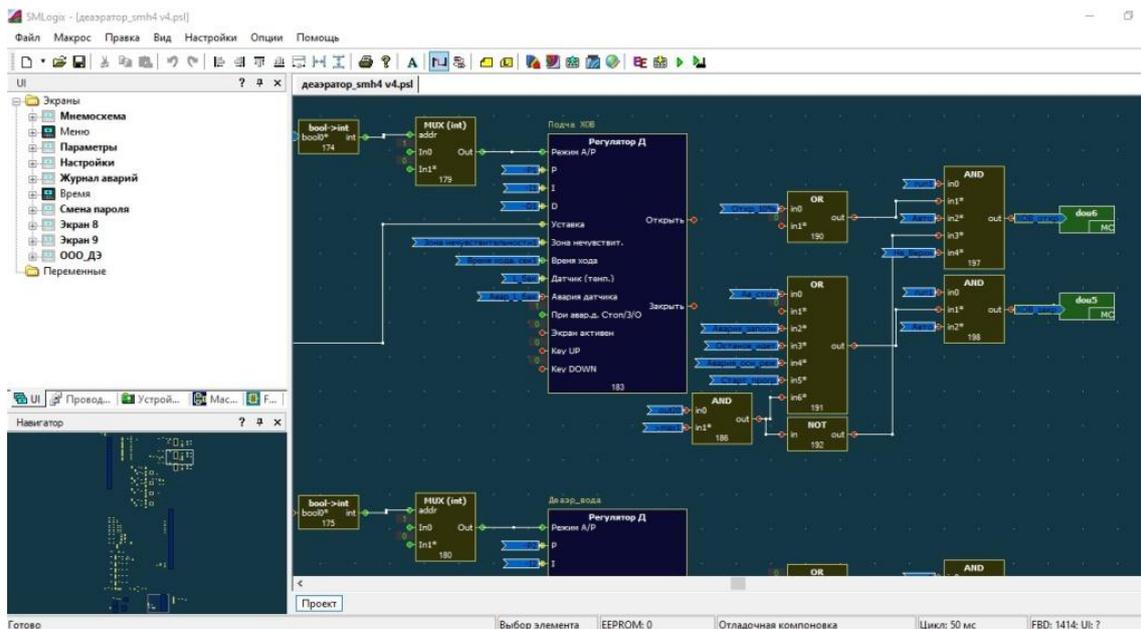


Рисунок 2. Система программирования SMLogix

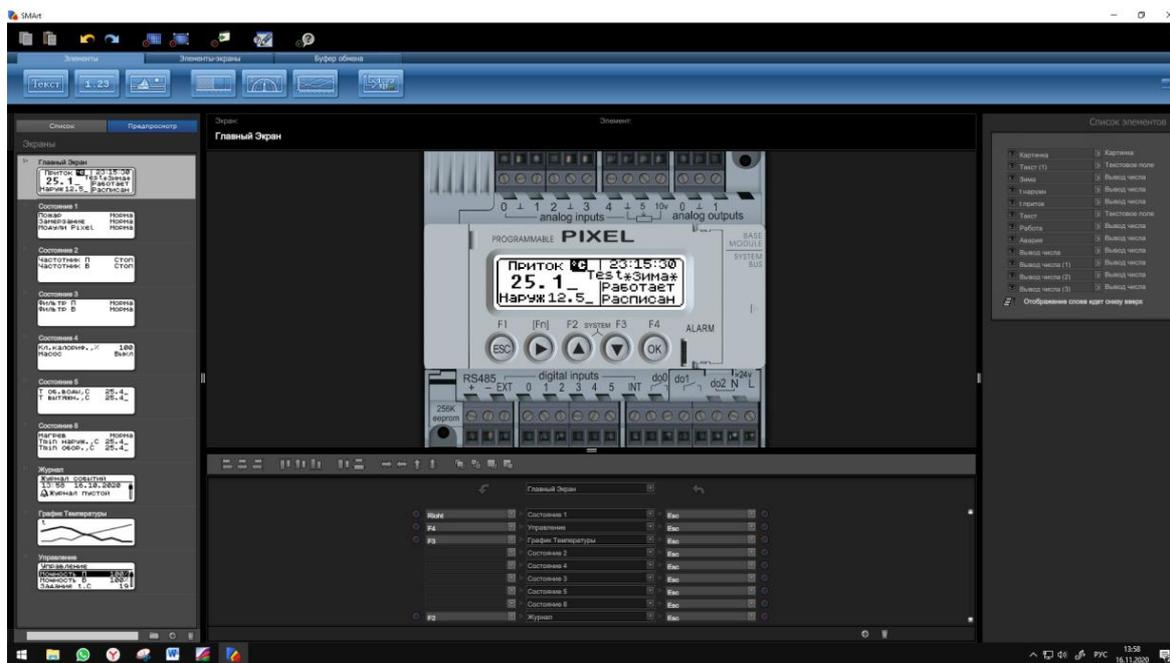


Рисунок 3. Пакет для создания пользовательских интерфейсов SMART

Основными функциями данной ПВ-установки являются:

- запуск вентиляторов ПВ-установки;
- остановка всех установок по сигналу пожар;
- остановка установки по сигналу замерзания, прогрев установки;
- отображение тревожных сообщений пожар, замерзание, загрязнения фильтра, перехода на ручное управление и др.;
- отображение текущих температур;
- индикация наличия аварии;

- переход в режим «Зима» при температуре наружного воздуха ниже установленной;
- ручное управление клапанами и насосами;
- автоматическое регулирование температуры;
- разрешение работы охладителей только в режиме «Лето»;
- прогрев нагревателей в режиме «Зима».

Пользовательский интерфейс (экраны оператора) должен быть максимально информативен, но в то же время не перегружен информацией.

Исходя из перечисленных функций ПВ-установки следует, что пользователь должен иметь доступ к большому количеству информации. Поэтому было удобным распределить ее по нескольким экранам (рис. 4)

Для перехода между экранами, переключениями между пунктами меню экранов и ввода данных используются клавиши, представленные в табл.1.



Рисунок 4. Экраны оператора

Таблица 1. Кнопки управления

	Кнопка «ESCAPE». Служит для выхода на главный экран
	Кнопка подтверждения действия/ команды или ввода данных
	Кнопка перемещения на следующий экран
	Кнопка перемещения по компонентам экрана

Более подробно следует рассмотреть Главный экран, экран График и экран Управление

На главном экране расположена основная информация.

В правом нижнем углу экрана можно видеть состояния, представленные в табл.2.

Таблица 2. Состояния работы ПВ-установки

Стоп	Приток воздуха остановлен
Заслонки	Открытие заслонок перед запуском вентиляторов
Прогрев	Прогрев нагревателей перед запуском установки (в режиме «Зима»)
Работает	Установка работает
Норма	Установка работает в штатном режиме
Пожар	Аварийная ситуация «Пожар»
Замерзан	Аварийная ситуация «Угроза замерзания»
Авария	Другая аварийная ситуация
Расписан	Установка остановлена по расписанию
Ручное	Ручное управление клапаном и насосом
Фильтры	Загрязнение фильтров

В случае возникновения нескольких аварий одновременно в нижней строке отображается наиболее приоритетное сообщение. Например, при угрозе замерзания и загрязнении фильтров на экране отобразится только сообщение об угрозе замерзания. Но состояние фильтров все еще будет доступно на экране «Состояние».

На экране «График» (рис. 5) отображается информация о:

- заданной температуре притока воздуха (тонкая линия);
- текущей измеренной температуре притока воздуха (толстая линия).

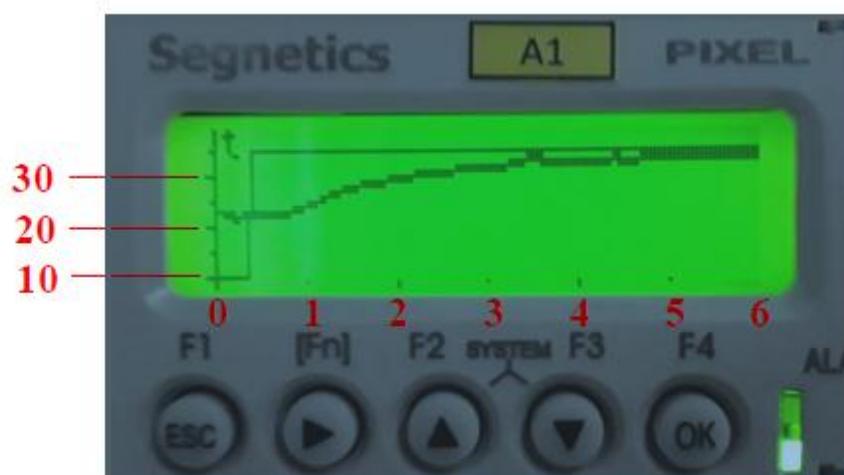


Рисунок 5. Экран «График»

По горизонтальной оси времени цена деления шкалы - 1 минута. Всего на экране помещается график продолжительностью 6 минут.

По вертикальной оси температуры цена деления шкалы составляет 5 °С. Для удобства оператора использованы деления разной длины. Таким образом, длинные деления соответствуют температурам 10, 20 и 30 °С, а короткие – 15, 25 и 35 °С.

Для автоматического регулирования температуры в помещении в данной системе управления был использован ПИ-регулятор.

Чтобы найти пропорциональные (Кр) и интегральные (Ки) коэффициенты для процессов нагрева и охлаждения воздуха в помещении, первоначально нужно было построить графики при ручном управлении.

Сначала подбирались коэффициенты для процесса нагрева воздуха. Для этого была получена разгонная кривая. После этого по полученному графику находились коэффициенты.

Аналогичным способом происходил подбор коэффициентов и для охлаждения воздуха.

Все пункты меню экрана управления представлены на рис. 6.

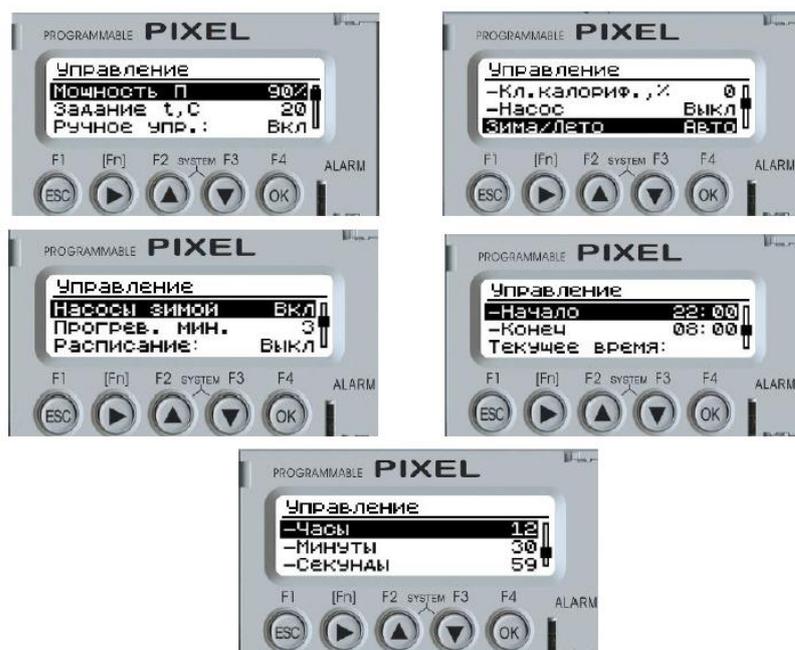


Рисунок 6. Меню экрана управления

Доступной для ввода является информация о:

- мощности притока воздуха в помещение. Мощность притока воздуха отображается на экране в процентах от 20 до 100 с шагом 10%;
- заданной температуре воздуха, значение которой будет поддерживать система регулирования. Температура задается в градусах Цельсия в диапазоне от 10 до 35 с шагом 1 °С;

- режиме управления (Вкл/Выкл):
 - ✓ процент открытия клапана калорифера. Данный параметр необходим для регулирования температуры подаваемого воздуха. На экране отображается в процентах в диапазоне от 0 до 100 с шагом 5 %. Данная функция доступна, когда включено «Ручное управление»;
 - ✓ состояние насоса (Вкл/Выкл). Включенный насос подает горячую воду в систему. Данная функция доступна, когда включено Ручное управление;
- режиме работы установки (Лето/Зима/Авто). Определение режима «Зима» или «Лето» происходит автоматически (Авто), но может быть задано пользователем принудительно. В режиме Зима работают только нагреватели, охладители всегда отключены;
- режиме работы насосов зимой (Вкл/Авто). В режиме «Вкл» насосы зимой должны быть включены всегда. В режиме «Авто» насосы работают только при запущенной установке;
- времени прогрева перед запуском установки в режиме «Зима». Задается в интервале от 0 до 7 минут, с шагом 1 минута;
- состоянии расписания работы установки. Расписание (Вкл/Выкл):
 - ✓ время начала (Начало) с шагом в 30 минут;
 - ✓ время завершения (Конец) с шагом 30 минут;
- текущем времени:
 - ✓ часы (0 – 23);
 - ✓ минуты (0 – 59);
 - ✓ секунды (0 – 59).

Данная система управления состоит из 34 установок с 50 вентиляторами. К ней разработана инструкция оператора, в частности благодаря которой система успешно эксплуатируется с сентября 2020 года.

Список использованной литературы

1. NOVOSIBDOM.RU: Справочник – Инженерные системы – Классификация систем вентиляции [Электронный ресурс]. – URL: <http://es.novosibdom.ru/node/32> (дата обращения: 27.10.2020).
2. КИП Сервис: Контроллеры для автоматизации вентиляции Pixel Segnetics [Электронный ресурс]. – URL: https://kipservis.ru/segnetics/plc_pixel.htm (дата обращения: 28.10.2020).

© М.А. Воропанова, А.И. Новиков, 2020

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

канд. техн. наук, доцент **Гладышев Николай Николаевич**,
ассистент **Базулин Илья Сергеевич**,
ассистент **Морозов Григорий Алексеевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрен новый подход к оценке эффективности централизованной системы теплоснабжения. Основной идеей его является введение понятия полезно используемой теплоты у потребителя, что дает возможность получить КПД централизованной системы. На основании представленных результатов сравнительного расчета, предлагаются возможные пути модернизации систем теплоснабжения.

Ключевые слова. Централизованные системы теплоснабжения, коэффициент полезного действия, источник энергоснабжения, комбинированное отопление, низкотемпературный теплоноситель.

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS

Gladyshev Nikolay Nikolaevich,
Bazulin Ilya Sergeevich,
Morozov Grigory Alekseevich

Abstract. A new approach to evaluating the efficiency of a centralized heat supply system is considered. The main idea of which is to introduce the concept of useful heat for the consumer, which makes it possible to obtain the efficiency of a centralized system. Based on the presented results of the comparative calculation, we talk about possible ways to modernize heat supply systems.

Keywords. Centralised systems of a heat supply, efficiency, power source, combined heating, low-temperature heat transfer agent

Основной причиной создания систем централизованного теплоснабжения в РФ является проблема утилизации сбросной теплоты при генерировании электрической энергии на ТЭС. В дальнейшем такие системы получили распространение при использовании в качестве источников теплоты крупных водогрейных котельных, мощностью до 300 МВт и выше. Теоретическим обоснованием такого развития централизованного теплоснабжения можно

считать достаточно высокий КПД водогрейных котлов при генерировании тепловой энергии, передаваемой сетевой водой в системы отопления жилых зданий.

Однако при оценке эффективности работы системы теплоснабжения в целом, необходимо учитывать эффективность всех основных звеньев, входящих в её состав, т.е., помимо источников, нужно учитывать транспортные коммуникации (тепловые сети) и отапливаемые здания.

В этом случае уравнение для определения КПД системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) может быть записано в следующем виде [1, с. 52 – 55]:

$$\eta_{\text{сцт}} = \frac{\sum Q_{\text{пол}}}{B_{\text{т}} Q_{\text{р}}^{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $\sum Q_{\text{пол}}$ - суммарная полезная теплота отапливаемых зданий;

$B_{\text{т}}$ – расход потребляемого топлива (секундный) в источнике энергоснабжения;

$Q_{\text{р}}^{\text{н}}$ – теплота сгорания топлива.

Полезная теплота отапливаемого здания ($Q_{\text{пол}}$) – это часть теплоты, подводимой к зданию, которая затрачивается на нагревание наружного воздуха, обеспечивающего требуемую по санитарным нормам кратность воздухообмена в нём.

Выразим КПД системы централизованного теплоснабжения через КПД отдельных звеньев этой системы, а именно

$$\eta_{\text{сцт}} = \eta_{\text{ист}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{расп}} \cdot \eta_{\text{зд}}, \quad (2)$$

где $\eta_{\text{ист}}$ – КПД источника теплоснабжения;

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД транспортных коммуникаций;

$\eta_{\text{расп}}$ – КПД эффективности распределения тепловой энергии между отдельными потребителями;

$\eta_{\text{зд}}$ – осреднённое значение КПД зданий.

Подставляя (2) в (1), получим уравнение, позволяющее рассчитать расход потребляемого в СЦТ топлива.

$$B_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} \eta_{\text{ист}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{расп}} \eta_{\text{зд}}}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что расход потребляемого топлива в системе централизованного теплоснабжения зависит от эффективности источника теплоснабжения и самих отапливаемых зданий, а также от эффективности транспортировки теплоносителя и его эффективного распределения по многочисленным абонентам. Таким образом, полученное уравнение позволяет провести комплексный анализ работы всей системы централизованного теплоснабжения с выявлением влияния вида используемой энергии и эффективности её отдельных звеньев на расход потребляемого топлива.

Представляет интерес сравнение расходов топлива, затрачиваемого на получение заданного количества полезной теплоты, вырабатываемой в водогрейной котельной (ВК), с расходом топлива, затрачиваемого на ТЭЦ при

выработке такого же количества полезной теплоты и дополнительно генерируемой электрической энергии. Кроме того, сравним расход топлива затрачиваемый на выработку электрической энергии на ТЭС, используемой в системах отопления на покрытие того же количества полезной теплоты, с расходом топлива, потребляемого на ТЭС при выработке электрической энергии, которая используется в тепловом насосе совместно с низкотемпературной сетевой водой, поступающей из конденсатора паровой турбины, для формирования необходимого теплового потока для покрытия полезной теплоты в системах отопления [2, с. 3 – 7].

На рис. 1 представлена схема энергетических потоков, подводимых в системы отопления жилых зданий от различных энергоисточников.

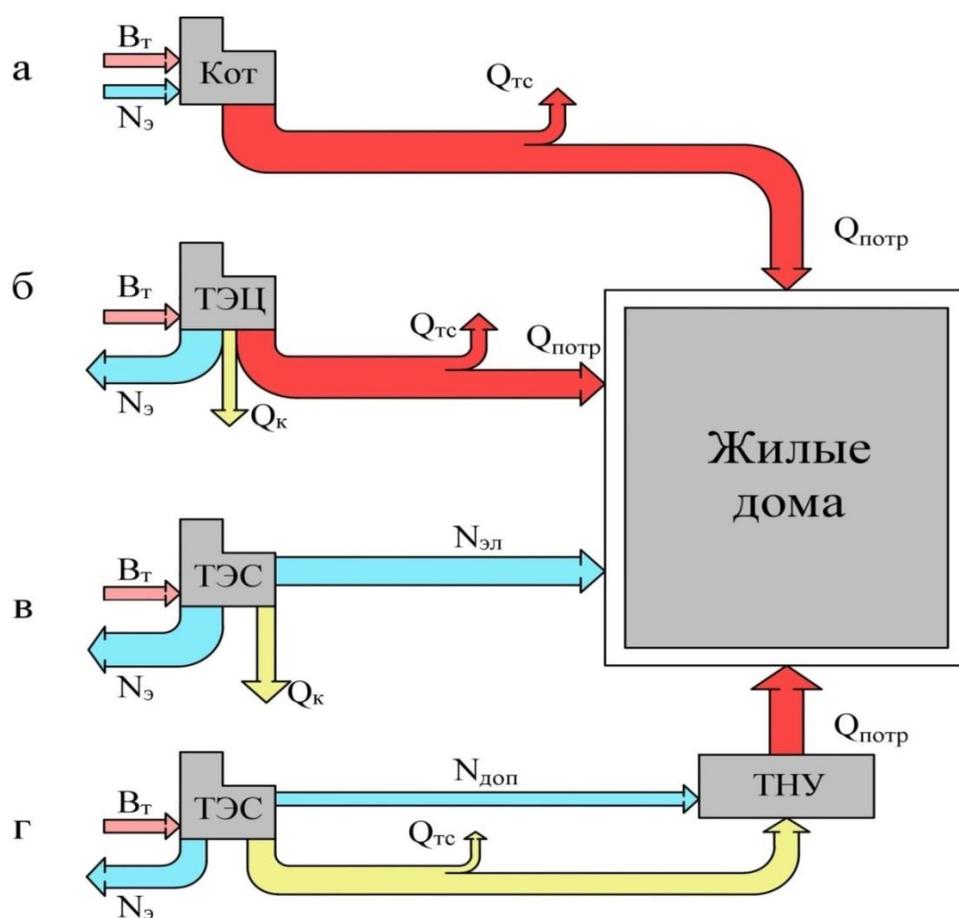


Рисунок 1. Схема энергетических потоков, подводимых в системы отопления жилых зданий от различных энергоисточников

Необходимые значения КПД, входящие в уравнение (3) при проведении сравнительных расчетов расхода потребляемого топлива для покрытия полезной тепловой нагрузки ($Q_{пол} = 1000$ кВт), представлены в таблице 1.

В нижней строке таблицы 1. представлены значения КПД централизованной системы теплоснабжения, рассчитанные по уравнению (17). Представленные результаты свидетельствуют о низких значениях КПД СЦТ,

составляющие в среднем 30%. Обращает на себя тот факт, что при переходе на использование в системах отопления электрической энергии, генерируемой на ТЭС ПГУ КПД централизованной системы теплоснабжения (ЦТС) имеет более высокое значение, чем $\eta_{\text{ЦТС}}$ при использовании тепловой энергии, генерируемой в водогрейных котельных и на ТЭЦ.

Указанное снижение КПД ЦТС объясняется высокими потерями, возникающими за счет некачественного распределения тепловой нагрузки по многочисленным абонентам и значительными потерями тепловой энергии при транспортировке по тепловым сетям с относительно высокой температурой 110-130 °С.

Таблица 1. Значения КПД отапливаемых зданий, регулирования распределения тепловой нагрузки, транспортных коммуникаций и источников теплоснабжения

Тип источника энергоснабжения	Котельная	ТЭЦ	ТЭС ПГУ	ТЭС ПГУ (ТНУ)
Вид отпускаемой энергии	Тепловая (сетевая вода 150-110 °С) вариант-а	Тепловая (сетевая вода 150-110 °С) вариант-б	Электрическая энергия вариант-в	Низкотемпературный теплоноситель и электр. энергия вариант-г
КПД зданий - $\eta_{\text{зд}}$	0,6	0,6	0,6	0,6
КПД распределения энергии по абонентам - $\eta_{\text{рас}}$	0,7	0,7	0,98	0,98
КПД транспорт. коммуникаций - $\eta_{\text{тр}}$	0,9	0,9	0,95	0,93
КПД источника теплоснабжения - $\eta_{\text{ист}}$	0,8	0,75	0,55	0,78
КПД централизованной системы теплоснаб. - $\eta_{\text{ЦТС}}$	0,302	0,283	0.307	0,426

В таблице 2 представлены результаты расчетов, с указанием расходов затрачиваемых на выработку полезной теплоты и на покрытие потерь, имеющих место в ЦТС.

На рис. 2 представлена диаграмма расхода потребляемого топлива в различных источниках теплоснабжения с его процентным распределением на производство полезной теплоты, а также на покрытие потерь энергии, в здании, потерь при распределении энергии по абонентам, а также потерь при транспортировке и в источниках энергоснабжения.

Как видно из сравнительной диаграммы расход топлива на ТЭС при использовании ТНУ в системах отопления снижается по сравнению с расходом топлива, затрачиваемого в водогрейных котельных на нагревание сетевой воды на 29%.

$$\Delta B_T = \frac{B_{ТТЭС} - B_{ТКОТ}}{B_{ТКОТ}} = \frac{0,110 - 0,078}{0,110} = 0,29 \text{ (29\%)}$$

Таблица 2. Расходы топлива на выработку полезной теплоты (1000 кВт) и на покрытие потерь в ЦТС потребляемого в различных источниках теплоснабжения (кг/с)

	Котельная	ТЭЦ	ТЭС ПГУ	ТЭС ПГУ (ТНУ)
B_T	0,110/100%	0,117/100%	0,108/100%	0,078/100%
$B_{Тпол}$	0,0333/30%	0,0333/29%	0,0333/31%	0,0333/43%
$\Delta B_{Тзд}$	0,0222/20%	0,0222/19%	0,0222/20%	0,0222/28%
$\Delta B_{Трас}$	0,0238/22%	0,0238/20%	0,00113/1,0%	0,00113/1,5%
$\Delta B_{Ттр}$	0,0088/8%	0,0088/7%	0,00298/3%	0,0042/5,5%
$\Delta B_{Тист}$	0,0219/20%	0,0289/25%	0,0486/45%	0,0171/22%

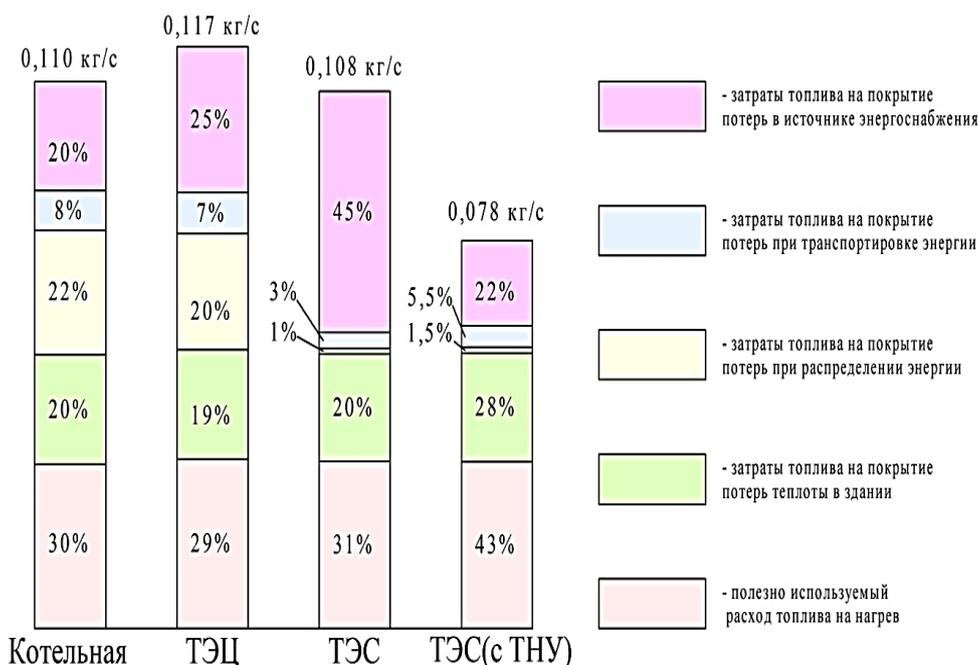


Рисунок 2. Сравнительная диаграмма расходов потребляемого топлива в различных источниках энергоснабжения

Как видно из приведенных диаграмм, при высоких значениях КПД водогрейных котельных, основной причиной, снижающей эффективность всей системы, являются тепловые сети из-за потерь энергии при транспортировке и распределении теплоносителя по абонентам. В тоже время при сравнительно низких значениях КПД ТЭС, транспортировка электрической энергии по электрическим сетям и её распределение по абонентам сопровождается значительно меньшими потерями.

Использование в системах теплоснабжения низкотемпературной охлаждающей воды конденсаторов паровых турбин (как теплового отхода при производстве электрической энергии на ТЭС) наряду с вырабатываемой электрической энергией повышает эффективность работы всей системы теплоснабжения, с существенным сокращением расхода потребляемого топлива.

Применение в системах отопления комбинированной энергии приводит к снижению потерь в транспортных коммуникациях, при относительном росте потерь в отапливаемых зданиях, для компенсации которых, как показано на рис.2, затрачивается уже 28 % энергии сжигаемого топлива.

Список использованной литературы

1. Гладышев Н.Н., Монашенко А.Д., Цимбал В.Д. Перспективы развития централизованного теплоснабжения // Энергетика, экология и бизнес: материалы III ежегодной Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019, с. 52-55.
2. Гладышев Н.Н., Червинский В.Н. Системы отопления в многоквартирных домах с применением электрической и тепловой энергии // Энергетика, экология и бизнес: материалы III ежегодной Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. – ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. С. 3-7.

© Н.Н. Гладышев, И.С. Базулин, Г.А. Морозов, 2020

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ АРМАТУРЫ
ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
И АВТОМАТИЧЕСКИХ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

студент гр. №7-548 **Воронкова Раиса Юрьевна**

Науч. руководитель: канд. техн. наук **Горобченко Станислав Львович**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье освещены современные подходы к выбору арматуры для котельных малой производительности и автоматических блочно-модульных котельных. Рассматриваются основные факторы, вызывающие значительные изменения в выборе арматуры, определяется их связь с изменением подходов к выбору арматуры. Даются рекомендации по выбору оптимальных типов трубопроводной арматуры для блочно-модульных котельных и котельных малой производительности.

Ключевые слова. Автоматические котельные, блочно-модульные котельные, трубопроводная арматура, регулирующая арматура, выбор арматуры, рекомендации по выбору арматуры.

**MODERN APPROACH TO THE SELECTION OF VALVES
FOR LOW-CAPACITY BOILER HOUSES AND AUTOMATIC
BLOCK-MODULAR BOILER HOUSES**

**Voronkova Raisa Yuryevna,
Gorobchenko Stanislav Lvovich**

Abstract. The article highlights modern approaches of the selection of valves for low-capacity boiler houses and automatic block-modular boiler houses. The main factors that cause significant changes in the selection of valves are considered, and their relationship with changing approaches in the selection of valves is determined. Recommendations are given for choosing the optimal types of valves for block-modular boiler houses and low-capacity boiler houses.

Keywords. Automatic boiler houses, block-modular boiler houses, control valves, selection of valves, recommendations for the selection of valves.

Блочно-модульные котельные (БМК) малой производительности, (рис.1) все больше заменяют традиционные схемы централизованного обеспечения теплом для водогрейных блочно-модульных котельных и паром для котельных технологического пара. Новые требования, такие как быстрота ежедневного

пуска котельной практически без «разогрева» для котельных технологического пара с плавностью регулирования, начиная практически от минимальной производительности; высокая энергоэффективность; высокий КПД, ограничения выбросов в атмосферу и безопасность в связи с применением в основном безлюдной технологии стали теми важными элементами, способствующими замене централизованных систем тепло и пароснабжения предприятий.



Рисунок 1. Общий вид котельной

Однако в них часто не используется потенциал, который предоставляет эффективная энергосберегающая арматура с высокой способностью к интеграции в АСУ с дистанционной диагностикой и управлением. Особое внимание должно уделяться показателям подбора арматуры, рассчитанной на использование в длительном автономном режиме без остановок, с возможностью самодиагностики и даже собственного технического обслуживания по методике неполного хода «stroke test». Реконструкция с использованием критериев энергоэффективности и энергосбережения на основании технологии энергоаудита, по нашему мнению, может быть также применена к реконструкции котельных средней и малой производительности, а используемая арматура может быть также заменена на энергоэффективную.

Экономическая выгодность от использования такой более дорогой, но более эффективной арматуры дает совокупный и длительный эффект инвесторам. Ими могут быть уменьшение штрафов потребителей, нагрузки на окружающую среду, снижение и предсказуемость стоимости планово-диагностического обслуживания (в отличие от планово-предупредительного обслуживания), возможность решения вопроса перевода обслуживания на

аутсорсинг и уменьшение затрат на поддержание требований Ростехнадзора и затрат на сертифицированный персонал.

Типовая котельная характеризуется малым количеством регулирующих клапанов, наличием 3-ех ходовых клапанов и большой долей арматуры малых диаметров, насчитывая их в целом в котельных малой производительности в количестве до 130 единиц. Основные параметры пара не превышают 300-450 °С, давление редко превышает 40 Бар. Основные диаметры арматуры лежат в области 25-100 мм. Еще не так давно основным типом арматуры были вентили и клиновые задвижки различных типоразмеров, преимущественно в ручном исполнении.

За последние годы произошли существенные сдвиги в понимании того, какой должна быть котельная малой производительности. Многие компании самостоятельно приобретают небольшие и средние котельные в блочно-модульном исполнении, отказываясь от услуг централизованного снабжения. Из факторов, которые повлияли на это, можно отнести финансово-экономические, организационно-технические, социальные, экологические и политические факторы.

1. Финансово-экономические факторы. Важным фактором перехода на блочно-модульные котельные стала предсказуемость затрат на тепло, в частности, «своя» модульная котельная имеет основные затраты только на газ. Остальные статьи расходов, как правило, постоянные затраты и работы по обслуживанию могут быть переданы на внешнее сервисное обслуживание.

Сейчас с постоянными расходами во многом связано использование электроэнергии сторонней организации, поскольку БМК не использует дизельное топливо для собственных нужд. Например, БМК Петербургтеплоэнерго питает электричеством АО Ленэнерго "Кабельная сеть".

При использовании БМК отсутствуют дополнительные переплаты за подведенную и установленную мощность, устанавливаемую предприятиями ТЭК, которая не может быть изменена в связи с особенностями работы крупных ТЭЦ. В частности, нагрузка на крупных ТЭС в настоящее время не может быть меньше 30 % полной мощности, затраты на поддержание мощности даже без их использования относятся на плечи потребителя. Примером может быть расторжение контракта на обеспечение паром и теплом ОАО «Балтика» с ГУПТЭК ОАО «Приморская ТЭЦ» в связи с нежеланием оплачивать дополнительно неиспользуемую установленную мощность, которую ОАО «Балтика» в соответствии с договором должна была выбрать.

Хотя поворотная смарт арматура достаточно дорога, однако, она является базой для повышения качества работы и надежности таких котельных. К ней могут быть применены способы оплаты на основе фиксированных затрат при внешнем сервисном обслуживании, в отличие от традиционного обслуживания и срочной закупке запчастей по аварийному состоянию.

2. *Организационно-технические факторы.* Возможность использования котлов с широким диапазоном регулирования, начинающим обеспечивать теплом практически с 5 % производительности без длительного времени на разогрев, повлияла на принятие решений крупнейшими потребителями. Например, ОАО «Балтика» приобрела голландские жаротрубные котлы, способные работать уже при 5 % нагрузки.

Появились признаки дальнейшего «дробления» использования котлов внутри предприятия, с учетом работы того или иного внутреннего потребителя. Примером может стать компания «Миер», г. Львов, имеющая 3 котла в котельной, каждый из которых работает на своего потребителя. Так, один котел работает на бумагоделательную машину, другой котел - на подачу пара в гофроагрегат, и отдельный котел работает для теплоснабжения и пароснабжения коммуникаций. Вопросы обогрева часто решаются при помощи внедрения систем инфракрасного обогрева, иногда полностью вытесняющих системы внутреннего обогрева помещений с большой площадью, где обогрев по внешнему периметру при помощи централизованного теплоснабжения от котельных во многом нерационален.

Поворотная арматура на новых и реконструируемых котельных вытесняет обычную седельную арматуру, поскольку особенности потребления пара или воды должны отвечать требованиям быстрого срабатывания, малого веса, способности к автоматизации, большей точности регулирования и пр.

Надежность арматуры и уменьшение потерь при ее использовании становится одним из критериев применимости того или иного вида арматуры. Арматура должна быть способна снижать теплопотери и быть энергоэффективной и энергосберегающей, не иметь выбросов и быть сертифицирована по этим критериям.

3. *Социальные факторы.* Должность кочегара и в Советские времена не была особенно престижной. С ростом тенденции к ужесточению требований Ростехнадзора по аттестации, обучению, обеспечению рабочих мест, увеличению количества требуемых сертификатов и инструкций, этот вопрос стал особенно важен. Несмотря на безработицу, трудно найти операторов для работы в не самых легких условиях местной котельной. Часто именно этим вызвана необходимость дальнейшей автоматизации котельных и их реконструкции для замены человеческого фактора.

Операторское управление пока по-прежнему остается на котельных с большой мощностью, где на них подключено большое количество домов. К примеру, котельная Мурино (объект Петербургтеплоэнерго), отапливает 128 зданий. Если на котельной произойдет останов сетевых насосов, то аварийная бригада физически не успевает для устранения аварии, так как время от останова до возобновления работы котельной составляет 45 минут. В связи с большими рисками остановов больших котельных для теплоснабжения крупных городских

районов, по всей видимости, переход на полностью автоматизированную работу больших котельных в ближайшее время невозможен.

Здесь рост потребления автоматической арматуры является продолжением тенденции "замены человека", особенно, в виде функций, которые ранее выполнял оператор или ремонтник. В частности, арматура должна быть пригодна к диагностике, ремонтпригодна с минимальными трудозатратами, служить длительное время без ППР. Многие функции, которые ранее возлагались на оператора при ежедневном обслуживании, уже в ряде случаев могут быть «переданы» арматуре с высокой степенью интеграции в системы автоматизации. В качестве примера можно привести тот факт, что некоторые клапаны системы безопасности уже имеют возможность самопроверки и частичной самодиагностики по технологии «partial stroke test», когда клапан сам проверяет себя при частичном ходе. Этим определяется, например, были ли загрязнения, накипь, потеря герметичности и т.п. В ходе теста проводится не только проверка, но, по сути, и частичное техобслуживание. Для малой арматуры, как предохранительного, так и общепромышленного типа, появляются собственные решения, основанные на возможности термоактивации клапана при тех или иных изменениях температуры, как на закрытие, так и открытие.

Обслуживание арматуры никогда не было легким делом, а для малых котельных часто это было делом, практически невозможным. В целом, это приводило к требованию частой замены арматуры, постоянному ППР, поскольку стоимость неремонтируемой малой арматуры при жестких бюджетных ограничениях должна быть минимальна. Тогда и основное требование к поставщикам – это низкая бюджетная стоимость арматуры.

Однако, есть и альтернативный путь – повышение качества изготовления арматуры, например, с применением седел типа X-treme (компания Jamesbury), способных выдерживать количество циклов, обеспечивающих ее работоспособность в течение всего срока службы, рис.2.

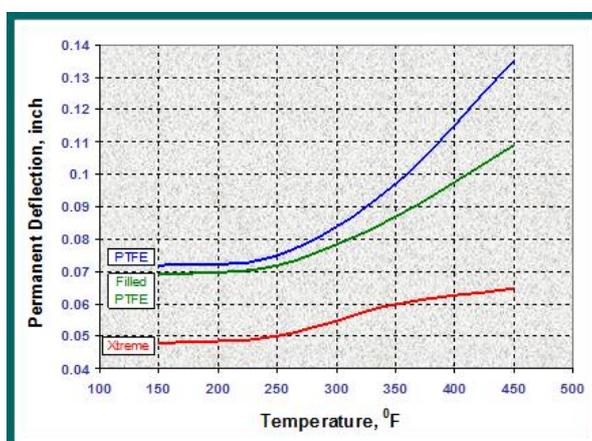


Рисунок 2. Характеристики материала седла X-treme с расчетной работоспособностью седла на весь срок службы (компания Jamesbury)

Использование затворов из нержавеющей стали, выдерживающих значительно больше ремонтных циклов, уменьшает их частоту и способствует большей длительности работы котельных без остановов. Такие затворы, в отличие от затворов из углеродистой стали с хромоникелевым покрытием, не подвержены коррозии, не теряют герметичности при небольших повреждениях и не «рвут» уплотнения при наличии царапин на шаре или из-за абразивности возможных сколов хромоникелевых покрытий. Затворы из нержавеющей стали, как правило, низкотеплопроводны, устойчивы к термоциклированию и снижают тепловые потери через шток.

Но самое главное, использование унифицированной конструкции таких клапанов предполагает возможность быстрой диагностики, проверки и обслуживания арматуры без снятия с трубопровода. В случае изменения параметров котельной есть возможность изменения пропускной способности за счет замены имеющегося шарового затвора на новый.

Как видно, многие элементы, уже работающие в современной арматуре, способны решать задачи перехода к безлюдной технологии, наиболее характерной для автоматизированных БМК. Условием надежной работы таких котельных с высоким уровнем оснащения автоматической арматурой и другими исполнительными устройствами на сегодняшнем этапе остается постоянный контроль и наблюдение со стороны диспетчеров. Так, в Петербургтеплоэнерго наблюдение за работой котельных осуществляется через компьютерную сеть. При возникновении аварии или какой-либо неполадки на объект направляется аварийная бригада для их устранения. Но также бывают сбои в программе, либо сбой в работе оборудования на котельной, поэтому в организации считают, что полностью переход на «автоматизацию» при существующих условиях работы невозможен.

4. Экологические факторы. Находясь, как правило, в густонаселенных городах или промышленных зонах, требования к жесткости ПДК по выбросам к таким котельным продолжают увеличиваться. Следствием этого стали повышенные требования к дожигу газа, резкому ограничению выбросов угарного газа и окиси азота, повысились требования к качеству горелок, обеспечивающих режим полного и качественного сжигания. Переход к автоматическим БМК существенно меньше влияет на загрязнение воздуха, поскольку к ним подключается небольшое количество адресов с меньшим теплосъемом. Как правило, БМК распределяются поквартально, а не централизованно, как крупная ТЭЦ. Котлы при этом работают "по требованию", а не постоянно, резко уменьшая количество выбросов.

Как уже отмечено, требование ограничения выбросов через арматуру определено экологическим стандартом EN 14100 и качественная арматура должна иметь увеличенную зону сальниковых уплотнений для гарантии отсутствия выбросов, т.н. «fugitive emissions», рис.3.

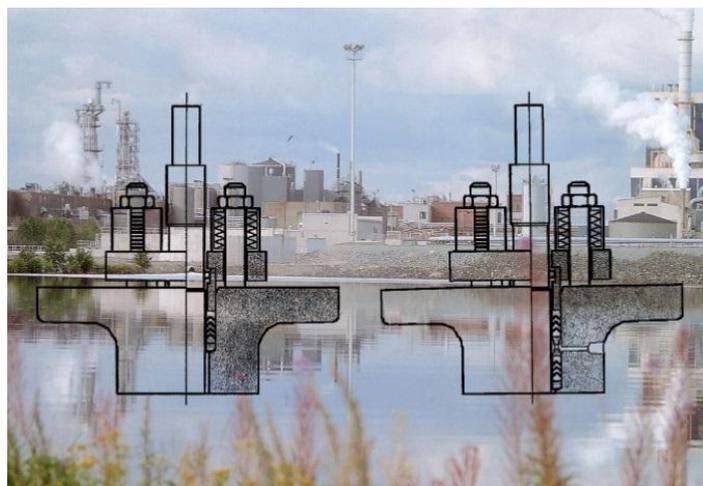


Рисунок 3. Концепция «Нагрузка сальника на весь срок эксплуатации» для снижения выбросов в окружающую среду. а) сальник, нагруженный на весь срок эксплуатации б) сальник, нагруженный на весь срок эксплуатации с мониторингом его состояния

Определенной проблемой остается и тот факт, что при распределенном положении БМК большую роль начинает играть уровень шума, создаваемый котельными, особенно, если они находятся во внутренних дворах-колодцах. Свою роль при этом играет и арматура, создающая повышенные объемы шума при неправильном расчете или недоучете требований к дополнительному снижению шума в закрытых дворах.

5. *Политические факторы.* Проблемы с работой крупных ТЭЦ и котельных, а также большое влияние, которые они оказывают на жизнь горожан, привели к дальнейшему изменению в отношении городских властей к старым котельным и принятии ряда программ по изменению их работы. Снижение цены, достигаемое за счет перехода к небольшим, но мощным котельным на газе; использование местных ресурсов топлива и переход к многотопливным горелкам; дальнейшая автоматизация и диспетчеризация; постоянное внимание к проблемам этой социально-значимой отрасли; законодательные ограничения отключений в летний период; установка счетчиков, вместо оплаты по тарифу – все это также больше подводит к варианту использования малых котельных вместо одного крупного теплоснабжающего центрального пункта.

Например, если сравнивать БМК и ТЭЦ, то при какой-либо аварии, например, отключении газа, на ТЭЦ из-за габаритного мощного оборудования и большего количества потребителей, до устранения аварии проходит большое количество времени, так что потребители это «почувствуют» и вызовет волну негодования. На БМК подключенных потребителей, как правило, 10-20, так же устранение аварии на БМК занимает порядка 20-30 мин., что в разы меньше устранения аварии на ТЭЦ.

Программы повышения энергоэффективности и энергосбережения в настоящее время является наиболее обсуждаемым в широких общественных кругах. Участие в программах повышения энергоэффективности проводится в соответствии с законом об энергосбережении, аккредитованными в Минпромэнерго компаниями, и «рекомендациями по проведению энергетических обследований организаций», утвержденных приказом Минпромэнерго РФ №141 от 4 июля 2006 г. В рамках этого закона действуют правила государственного регулирования тарифов на электроэнергию и тепловую энергию. Если ранее тарифы назначались на региональном уровне, то теперь формирование и утверждение тарифов и платы за услуги по их передаче и отдельные статьи затрат рассчитываются на основании нормативов, утвержденных Минпромэнерго.

С работой арматуры связаны 3 вида нормативов: это удельный расход топлива, создание запасов топлива, технологические потери. Обеспечение качественной арматурой может позволить добиться лучших результатов в части большего совершенства регулирования при подаче газа и снизить общие технологические потери, приходящиеся на арматуру.

Отметим, что проблема использования крупных ТЭС так велика, что в наиболее передовых странах рассматриваются вопросы по переходу полностью на сети малых энергоисточников, которые способны обеспечить сетевое снабжение электричеством. Сами энергоисточники могут использовать любые виды как традиционного, так и нетрадиционного топлива. Основой их сначала будет биогаз и возобновляемое топливо, развиваясь дальше к другим типам топлива, как правило, из местных или легкодоступных и дешевых видов сырья.

Наш анализ был бы не полным, если не прояснить, как указанные факторы сочетаются на сегодняшний момент. Хотя под разными углами рассмотрения важность того или иного фактора может выглядеть по-разному, однако, можно предположить, что наиболее точно картина взаимовлияния факторов отражается на рис.4.

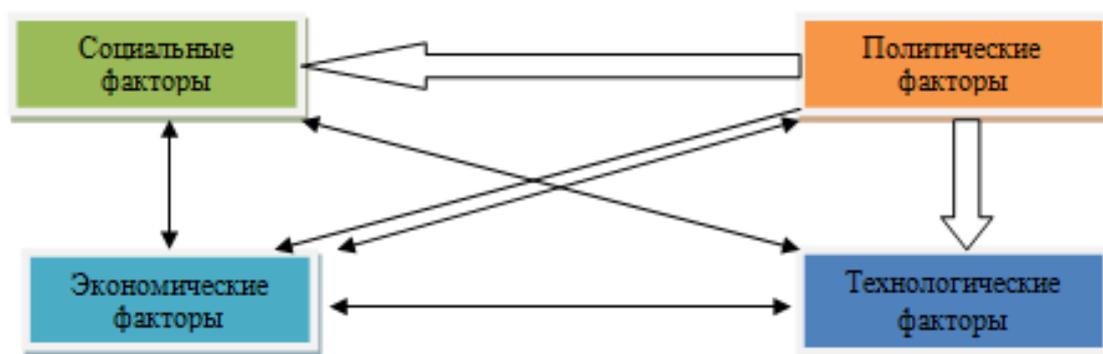


Рисунок 4. Взаимовлияние СТЭП факторов в настоящее время по модели Фахи-Нарайанана

При общем взаимодействии всех факторов между собой, только политическое влияние на экономику и принятые законопроекты об энергосбережении дали толчок к началу масштабного перехода на блочно-модульные котельные. Правда, к этому времени уже созрели и собственно технологические предпосылки (отставание технологической базы ЖКХ и энергетических хозяйств промышленных предприятий). Усилились экономические факторы, но, в основном, они обеспечивались делением на обоснованные и необоснованные технологические нормативы по 261-му закону, роль социальных факторов также выросла в связи с объединением домов в товарищества и выводу их из системы ЖКХ.

Типовые рекомендации по применению арматуры для котельных малой производительности и автоматических блочно-модульных котельных

Рекомендации по применению клапанов основываются на типовых рекомендациях энергоаудиторских компаний.

1. *Повышение качества регулирования питания котла.* Для этих целей эффективно использовать поворотно-плунжерные клапаны взамен обычно используемых седельных. Примером может быть использование эксцентриковых клапанов серии «Rotary globe» на питательной воде для котельных малой производительности, рис.5.



Рисунок 5. Клапан серии Rotary globe для котельных малой производительности

Обеспечивается широкий диапазон регулирования, плавность регулирования и отсутствие автоколебательных режимов. Диапазон регулирования может быть расширен с традиционных 50-70% до 5-95% открытия регулирующего клапана, что особенно важно для промышленных потребителей. В результате будет стабилизировано регулирование, уменьшена колебательность процесса и возможные потери на краях зоны регулирования, снижены гидравлические потери и т.п. Линейность регулирования будет приближаться к идеальной, а потери на регулирование стремиться к минимуму.

2. *Расширение диапазонов режимов котла.* Основными решениями являются:

- Автоматизация и калибровка клапанов по параметрам настройки режима котла с максимальным применением регулирующих клапанов в составе систем управления вместо автоматических регуляторов прямого действия.

- Замена седельных клапанов на контуре питательной воды на поворотную арматуру. Для котельных малой производительности – это модернизация контуров регулирования забора воздуха, автоматической продувки, контуров утилизации тепла дымовых газов, продувочной воды.

- Подбор клапанов на горелочное оборудование по типу используемого топлива и требованиям к регулированию.

3. *Котельное и теплообменное оборудование.* Основными направлениями совершенствования применения арматуры являются:

- Замена устаревших седельных клапанов и клиновых задвижек на прогрессивные поворотные регулирующие типы арматуры в реконструируемых котельных малой производительности, краны и поворотные заслонки с мягким и металлическим уплотнением.

- Модернизация пароконденсатной части теплообменников с целью полного использования энергопотенциала и тепла конденсата с применением унифицированных клапанов.

4. *Устранение утечек в соединительной и запорной арматуре.*

4.1. Использование запорных клапанов с гарантированной отсечкой при длительном использовании и высокой термоцикличности, например, в условиях течения двухфазных смесей в пароконденсатной системе; установка специальных отсекающих клапанов для условий высокой цикличности с инварным седлом и гибкими, охватывающими запирающий элемент "губами" для обеспечения длительного срока эксплуатации (до 100.000 циклов) и высокой герметичности; использование специальных уплотнений для исключения выбросов по штоку в соответствии с ISO15848 TA-Luft VDI 2440; повышение безопасности при прерывании электрического сигнала или потери давления газа с закрытием горелки в течение до 1 сек.



Риснок 6. Герметичный шаровой затвор с использованием инварного седла X-treme (Компания Jamesbury)

4.2. Использование самоочищающихся клапанов с шабрирующими седлами. Установка системы проверки работоспособности запорных клапанов при неполном ходе типа Valve Guard для клапанов, работающих в газовом контуре питания котла котельных малой производительности и с расчетом на категорию безопасности, рис.7.



Рисунок 7. Клапаны газового контура с системой ESD на основе интеллектуального позиционера Valve Guard

4.3. Использование клапанов с термоактивацией для условий отсечки при аварии, противоаварийных защит, защит со 100% срабатыванием и др., рис.8.



Рисунок 8. Клапаны с термоактивацией

4.4. Проверка клапанов на утечки при разных положениях клапана при помощи специальных диагностических устройств, встраиваемых в трубопровод, рис. 9.

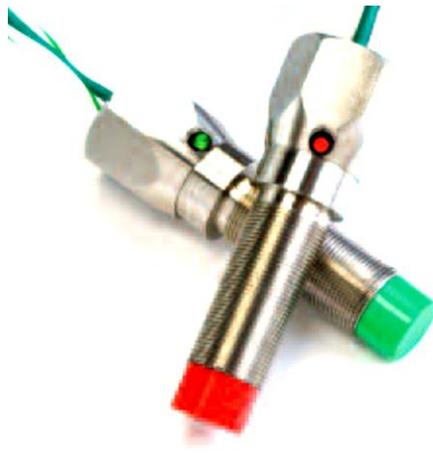


Рисунок 9. Газоанализаторы, применяемые совместно с арматурой

5. *Внедрение систем автоматического учета.* Получение большего эффекта при связи автоматических регулирующих клапанов с системами учета и планирования запчастей, расчета норм и регламентов технического обслуживания и др.

Объединяя все тенденции, можно сказать, что их совокупность явилась одним из важнейших мотивов формирования программ перехода некоторых городов с традиционных районных котельных на малые, но значительно более эффективные автоматизированные БМК с диспетчерским управлением и внешним сервисным обслуживанием. Так, власти Петербурга и Москвы уже приступили к выполнению таких программ. В частности, в Петербурге проводится программа замены старых котельных на эффективные блочно-модульные с внешним диспетчерским управлением. Только с 2012 по 2014 гг. Петербургтеплоэнерго вместо 129 старых объектов построило 85 новых, из них 52 БМК и 33 ЦТП. Во многом это становится возможным благодаря возможностям средств автоматизации и регулирования к обеспечению надежной работы в распределенных объектах.

© Р.Ю. Воронкова, С.Л. Горобченко, 2020

АВТОМАТИЗАЦИЯ С УМОМ

студент гр. 2-ХДА-7 **Давыдова Евгения Александровна**

Институт прикладной химии и экологии СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается специфика автоматизации производства, этапы внедрения роботов в работу на промышленных предприятиях. Анализируется проблематика данных нововведений. Представлены наилучшие способы внедрения интеллектуальной автоматизации. Описаны ценности автоматизации и ожидаемые преимущества.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, автоматизация, роботизация, технологии.

SMART AUTOMATION

Davydova Eugene Alexandrovna

Abstract. This article discusses the specifics of production automation, the stages of introducing robots to work in industrial enterprises. The problems of these innovations are analyzed. The best ways to implement intelligent automation are presented. The values of automation and expected benefits are described.

Keywords. Artificial intelligence, automation, robotics, technologies.

Люди недооценивают роботов. Их часто считают ворами на работе, угрожающими рабочим увольнением. Искусственный интеллект (ИИ) только усугубляет их воспринимаемую угрозу. Возможно, эти мыслящие машины, подобно вымышленным роботам из фантастических книг, начнут вытеснять людей. Наш образ робота, сформированный массовой культурой, не является положительным. Однако это предубеждение следует отбросить. Роботов, особенно мыслящих, следует приветствовать, а не бояться.

Машинный интеллект может дополнять человеческий интеллект. Люди обладают творческим воображением, стратегическими, тактическими и изобретательными способностями. Роботы лучше подходят для выполнения задач, которые людям кажутся сложными и неприятными - монотонными. Проверка огромного объема данных и поиск закономерностей в этих данных может повлечь за собой бесконечное повторение. Это истощило бы любой человеческий мозг, но не мозг робота.

Это открывает путь в будущее. Нужно использовать ИИ так, чтобы усилить наш интеллект. С помощью роботов мы можем освободиться от повторяющегося

и исчерпывающего, и быть свободными в прогнозировании и аналитике. Мы можем создавать, сотрудничать и общаться даже больше, чем раньше.

Сочетание человеческого и искусственного интеллекта предполагает далеко идущие изменения в структуре наших организаций.

В своем стремлении к более цифровым способам работы многие организации используют робототехнику для автоматизации повторяющихся процессов, основанных на правилах. Теперь они стремятся масштабировать эти решения и сделать роботов умнее, интегрируя возможности искусственного интеллекта.

Роботизированная автоматизация технологических процессов (РАТП) может соединять несколько различных систем и интерфейсов. РАТП использует точно запрограммированных «ботов» для автоматизации конкретных рутинных задач, значительно сокращая время обработки и обеспечивая более высокое качество, обеспечивая последовательные результаты с незначительными ошибками. Кроме того, при эффективном внедрении РАТП может высвободить рабочую силу, чтобы сосредоточиться на более стратегических мероприятиях или задачах, ориентированных на клиентах [1].

Технологии искусственного интеллекта выполняют задачи, которые ранее требовали человеческого интеллекта, такие как извлечение смысла из изображений, текста или речи, обнаружение паттернов и аномалий, а также выработка рекомендаций, прогнозов или решений. Они включают в себя машинное обучение, глубокое обучение, обработку естественного языка и генерацию.

Создание более умных ботов. РАТП имеет большие и очевидные преимущества перед остальными, но и ограничения. Боты могут следовать только логическим процессам, основанным на правилах. Они не видят закономерностей в данных и не извлекают смысл из изображений, текста или речи. Программное обеспечение РАТП запрограммировано на обработку таких функций, как регистрация, выставление счетов или передача данных, без понимания логики, лежащей в их основе.

Ожидаемые преимущества интеллектуальной автоматизации. С помощью интеллектуальных технологий автоматизации организации смогут трансформировать бизнес-процессы и не только достигать более высокой скорости и точности, но и автоматизировать прогнозы и решения на основе структурированных и неструктурированных входных данных. Анализ показывает, что три основных преимущества стимулируют внедрение технологии. Организации ожидают повышения производительности и снижения затрат, повышения точности и улучшения качества обслуживания клиентов.

По оценкам руководителей, интеллектуальная автоматизация обеспечит среднее снижение затрат на 22 % и увеличение доходов на 11 % в течение следующих трех лет. Однако те организации, которые в настоящее время масштабируют интеллектуальную автоматизацию, говорят, что они уже

достигли 27-процентного снижения затрат в среднем с момента их внедрения на сегодняшний день.

Какие барьеры могут встретить организации на пути внедрения интеллектуальной автоматизации? Двумя главными препятствиями для организаций на всех этапах внедрения являются фрагментация процессов и готовность к ИТ.

Фрагментация процессов, то, как повседневные процессы управляются с помощью широкого спектра методов на уровне настольных компьютеров, по мнению 36 процентов респондентов опроса, является самым большим барьером. Готовность программистов, с точки зрения инфраструктуры и систем, считается самым большим барьером для 17 % организаций [2].

Организации, внедряющие автоматизацию, также видят отсутствие видения и амбиций в отношении интеллектуальной автоматизации в качестве ключевого барьера, в то время как скорость внедрения становится гораздо более значимой для организаций, внедряющих или масштабирующих автоматизацию.

Новая ключевая тенденция заключается в том, что организациям часто не хватает таланта, например, для развития центров передового опыта. Это создает значительный спрос на сторонних поставщиков, таких как системные интеграторы. Частные организации ожидают перехода от создания собственных возможностей к приобретению автоматизации как услуги, обусловленного сохраняющимся давлением затрат (частично вызванным цифровыми сбоями), переходом к облачным технологиям, нехваткой талантов и проблемой управления быстро меняющейся экосистемой продуктов и поставщиков.

Вместе с этим происходит трансформация роли центров передового опыта. Они эволюционируют от "активаторов" интеллектуальной автоматизации к "внутренним рынкам" или "биржам" для цифровых активов. Некоторые даже выходят за рамки этого, чтобы стать "директорами" операционных улучшений, основанных на интеллектуальной автоматизации. Это важная тенденция, которая находит свое отражение, например, в создании открытых торговых площадок поставщиками РАТП [3].

Шесть ключевых факторов успеха интеллектуальной автоматизации:

Анализ данных опроса показывает картину организаций, которые явно выигрывают от интеллектуальной автоматизации. Такие организации имеют шесть отличительных признаков:

01. **Общеорганизационная стратегия интеллектуальной автоматизации.**

Как правило, компании, имеющие общеорганизационную стратегию, сообщают о более высокой доходности с точки зрения дополнительного кадрового потенциала, снижения затрат и увеличения доходов. Они сокращают расходы в среднем на 24 % и увеличивают доходы на 8 %, тогда как организации, не имеющие общеорганизационной стратегии, сокращают расходы на 14 % и увеличивают доходы в среднем на 3 %.

02. Сочетая роботизировать процесс с ИИ.

Этот подход, по-видимому, является наиболее мощным фактором, помогающим организациям увеличить доходы. Организации, объединяющие эти два показателя, сообщают об увеличении выручки в среднем на девять процентов, в то время как те, которые не увеличивают выручку, в среднем увеличивают ее только на три процента. Почти половина (45 %) организаций, осуществляющих автоматизацию, объединяют РАТП и ИИ, в то время как только 20 % организаций, осуществляющих пилотаж, и 36 % организаций, осуществляющих внедрение, делают то же самое.

03. Технологии, инфраструктура и кибербезопасность.

Организации с поддерживающей ИТ-функцией, имеющие необходимые технологии, инфраструктуру и кибербезопасность, более эффективны в снижении своих издержек. В среднем они сообщают о сокращении расходов на 21 % по сравнению с 13 % среди организаций, не имеющих этих функций.

04. Зрелые определения процессов, стандарты и процессы.

Зрелые определения процессов, стандарты и процессы приводят к более высокому росту кадрового потенциала офиса. Организации, в которых они действуют, достигают среднего увеличения кадрового потенциала офиса на 19 % по сравнению с 12 % среди организаций, которые этого не делают.

05. Четкое понимание того, как захватить ценность.

Четкое понимание того, как извлечь выгоду из интеллектуальной автоматизации, приводит к гораздо большему снижению затрат. Руководители с четким пониманием сообщают, что их организации сокращают расходы в среднем на 21 %, в то время как те, у кого нет четкого понимания, сокращают расходы на 15 %.

06. Радикальное упрощение, вызванное необходимостью снижения затрат.

Масштабирующие организации с большей вероятностью согласятся с тем, что основной целью их стратегии является радикальное упрощение, обусловленное необходимостью снижения затрат. Примерно 73 % опрошенных делают это, в то время как только 61 % пилотных организаций придерживаются той же позиции.

Ценность интеллектуальной автоматизации. Чтобы помочь решить проблемы управления спросом на пациентов, частная организация совместно с гастроэнтерологическим отделением крупной больницы в Великобритании разработал ИИ-решение для улучшения сортировки обращений врачей общей практики (ГП).

Цель состояла в том, чтобы использовать ИИ для разблокировки данных, хранящихся в электронных медицинских картах, что позволило бы более эффективно обрабатывать их, проводить интеллектуальный анализ и совершенствовать процесс принятия решений для преодоления проблем обслуживания.

Обработка естественного языка использовалась для чтения входящих обращений к врачу-терапевту в гастроэнтерологическую службу. Решение ИИ предполагало наиболее вероятный исход сортировки, статус срочности и клинику или диагностику для направления. Были использованы два решения РАТП: одно-для передачи электронных медицинских записей в ИИ, а другое-для активного поиска в базе данных структурированного языка запросов обновлений о том, принял ли ИИ свое решение. Если бы это было так, РАТП втянула решение в систему бронирования встреч.

Частная организация применила методологию, которая объединила две классификационные модели – первую для прогнозирования состояния срочности и вторую для прогнозирования клинического исхода. Разделив задачу прогнозирования на две части, точность значительно улучшилась по сравнению с одной моделью, которая предсказывала бы результат сортировки за один шаг.

В рамках моделирования ИИ для преобразования свободного текста в машиночитаемый формат была использована технология конструирования объектов. Затем классификация использовалась для принятия решений на основе характеристик, извлеченных из проектирования объектов.

Благодаря успеху клинически обоснованной концепции и пилотной работы эта модель ИИ теперь была одобрена клиентским комитетом по клиническим рискам в рамках соответствующей модели управления и контроля для автоматизации сортировки двух когорт пациентов, сосредоточив внимание на срочных подозрениях на рак.

Ранние последователи и положительная отдача. Организациям, которые реализуют и масштабирование интеллектуальная автоматизация с большей вероятностью будут совмещать работу роботов аналогичным образом, те, кто включает ИИ в свою стратегию интеллектуальной автоматизации, с большей вероятностью сообщат, что развертывание соответствует или превосходит их ожидания.

Барьеры на пути внедрения ИИ. Организации, включающие ИИ в свою стратегию интеллектуальной автоматизации, видят три самых больших препятствия на пути внедрения: определение подходящих вариантов использования; проблемы с данными (например, конфиденциальность или качество); а также доступность и потенциал талантов.

Искусственный интеллект уже достиг совершеннолетия. Сила автоматизации - это способность переосмыслить то, как организации делают вещи. Но это может произойти только тогда, когда организации поймут инструменты, которые дает им ИИ, и будут готовы принять и принять эти технологии.

Переосмыслено с человеческим фокусом. Во многих отношениях технологии опередили руководителей и организации, и человеческий фактор должен догнать их. По мере того как автоматизация становится все более распространенной на рабочем месте, возникает необходимость вернуть смысл в

работу и предоставить организациям возможность обратиться к "человеческому опыту".

Надо обращать внимание на то, как человеческая рабочая сила будет взаимодействовать с машинами, включая изменения в определении ролей, должен быть включен в план организаций по внедрению интеллектуальной автоматизации, чтобы извлечь выгоду из ожидаемого увеличения потенциала рабочей силы. Но 38 % организаций еще не переобучают сотрудников, чьи должности изменились.

Доступ к талантам для обеспечения интеллектуальной автоматизации. Более трети руководителей признают, что отсутствие навыков, необходимых для внедрения новых технологий, является одним из трех главных препятствий для масштабирования интеллектуальной автоматизации. Эта нехватка более выражена в организациях, только начинающих свою деятельность по автоматизации: 59 % опрошенных считают, что им не хватает кадрового потенциала и навыков, необходимых для реализации их стратегии.

Вывод. 2019 год является прорывным годом для интеллектуальной автоматизации. Фирмы нацелились на малоценные возможности для автоматизации задач и будут все чаще стремиться включать в свои решения более передовые аналитические и ИИ-технологии. Успешное использование этих возможностей потребует от организаций разработки четкого пути к масштабируемости, обеспечивающего количественные результаты и окупаемость инвестиций.

Организации, которые имеют зрелые определения процессов, стандарты и управление процессами скорее всего, больше всего выиграют от интеллектуальной автоматизации. Точно так же те организации, которые развивают навыки для изменения рабочих процессов и расширения возможностей, необходимых для использования интеллектуальной автоматизации, будут лучше подготовлены к использованию этих возможностей.

Список использованной литературы

1. Жежера Н.И. Микропроцессорные системы автоматизации технологических процессов // Инфра-Инженерия, 2020.
2. Гончаров А., Солдатов В. Применение парадигм интеллектуального управления при решении «открытых задач» автоматизации // Пробел-2000, 2010.
3. Молдабаева М.Н. Автоматизация технологических процессов и производств // Инфра-Инженерия, 2019.

© Е.А. Давыдова, 2020

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ЦБП**

д-р. техн. наук, профессор **Кондрашкова Галина Анатольевна**,
канд. техн. наук, доцент **Дятлова Елена Павловна**,
ст. преподаватель **Бондаренкова Ирина Владимировна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г.Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Информационная стабильность каналов регулирования технологических процессов в ЦБП в динамических режимах может оцениваться по передаточной функции. Для оценивания коэффициентов передаточной функции рекомендуется использовать метод моментов переходной функции.

Ключевые слова. Информационная стабильность, каналы регулирования, параметры модели, передаточная функция, метод моментов, помехи.

**ENSURING METROLOGICAL RELIABILITY OF AUTOMATIC CONTROL
CHANNELS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES
OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY**

**Kondrashkova Galina Anatolievna,
Diatlova Elena Pavlovna,
Bondarenkova Irina Vladimirovna**

Abstract. Information stability of control channels for technological processes in the pulp and paper industry in dynamic modes can be estimated by the transfer function. To estimate the coefficients of the transfer function, it is recommended to use the method of moments of the transfer function.

Keywords. Information stability, control channels, model parameters, transfer function, method of moments, interference.

Для обеспечения информационной стабильности каналов регулирования технологических процессов в ЦБП в динамических режимах используются разнообразные методы. В частности для локальных каналов регулирования в ЦБП с выраженными и значительными по размерам транспортными запаздываниями и, как правило, существенной рассеянностью входных управляемых величин рационально использовать метод функциональных контрольных сигналов (МФКС). МФКС заключается в периодическом контроле переходных характеристик каналов регулирования и сравнения их с

первоначально установленными, которые являются своеобразными «рабочими эталонами».

Для получения так называемого «рабочего эталона» переходного процесса поле наладки контура регулирования технологического параметра фиксируется сигнал изменения переходного процесса контура с задатчиком примерно в диапазоне 10-15 % от возможного постоянного значения параметра при стабилизационном управлении по заданной программе. Поскольку каналы управления в технологических процессах ЦБП достаточно инерционны, эти изменения в контурах управления не влияют на протекание процессов в рабочих режимах. Для быстродействующих систем управления изменение управляющего воздействия даже с учетом быстрого изменения фиксации «рабочего эталона» необходимо устанавливать размер контрольного сигнала опытным путем.

Периодичность сличения диктуется практически установленными межконтрольными интервалами (МКИ), а результаты заносятся в электронный архив, на основании изучения данных которого корректируются МКИ.

Как известно [1], наибольший размер изменения характеристик (т.е. неопределенность – погрешность их функционирования) в каналах регулирования в ЦБП наблюдается в объектах регулирования, т.е. в датчиках (до 10% в год) и исполнительных устройствах (до 5-8 % в год) по сравнению с остальной частью систем в связи со сложными условиями их эксплуатации (зашламлением, коррозией, вариацией, переменных характеристик регулируемых потоков, влиянием износов оборудования и т.д.).

При использовании МФКС удастся определить суммарный эффект изменения погрешностей (аддитивных и мультипликативных, случайных и систематических) в измерительных каналах систем регулирования, а так же изменения точностных характеристик управляющих каналов, включая исполнительные органы.

Для применения МФКС в ЦБП при контроле информационной стабильности локальных каналов в динамических режимах используется описание свойств каналов в виде дифференциальных уравнений первого или, в чем реже встречается необходимость, второго порядка.

С целью упрощения такого контроля при понижении порядка дифференциальных уравнений, описывающих динамические свойства анализируемых каналов, следует остановиться на выборе методов оценивания параметров динамических моделей, присущих локальным каналам, в динамике.

В настоящее время существует значительное разнообразие способов их аппроксимации аналитическими динамическими моделями с известными коэффициентами [2].

Для оговоренных выше особенностей локальных каналов регулирования в ЦБП следует остановиться на известных методах моментов [3].

Методы моментов основаны на известной зависимости вида

$$W(p) = \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^i}{i!} p^i S^i, \quad (1)$$

где S^i – момент i -го порядка весовой функции $g(t)$, равный

$$S_i = \int_0^{\infty} t^i g(t) dt. \quad (2)$$

Тогда согласно [4, 5] передаточная функция канала или элемента может быть представлена с любой степенью точности, если известно достаточное количество моментов весовой функции.

С другой стороны, имеем

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^i W(p)}{dp^i} = (-1)^i S_i. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет связь коэффициентов передаточной функции и моментов весовой функции. В [4, 5] приводятся зависимости коэффициентов передаточной функции и моментов весовой функции типовых звеньев с учетом запаздывания и без него. Таким образом, задача оценивания коэффициентов передаточной функции решается путем определения моментов весовой функции S_i по снятой переходной функции $h(t)$.

В работах [4, 5] предлагается метод определения моментов S_i в виде выражений

$$S_i = \lim_{t \rightarrow \infty} S_i(t),$$

где

$$S_i(t) = \int_0^t [S_{i-1}(\infty) - S_{i-1}(t)] dt, \quad (5)$$

причем $S_0(t) = h(t)$.

Этот метод аппроксимации $h(t)$ получил название метода моментов весовой функции. Моменты более высокого порядка в таком методе находятся с помощью рекуррентного соотношения в зависимости от моментов интегрирования (5) к возрастанию накапливающихся ошибок их вычисления с увеличением порядка моментов.

Более точно моменты весовой функции могут быть получены из экспериментальной переходной функции $h(t)$ следующим образом. По аналогии с (2) выражение вида

$$M_i = \int_0^{\infty} t^i (1 - h(t)) dt \quad (6)$$

называется моментом переходной нормированной функции $h(t)$.

Моменты переходной функции непосредственно определяются по экспериментальной реализации $h(t)$ с помощью любого метода численного интегрирования [6].

Рассмотрим соотношение между моментами весовой и переходной функциями. Для этого осуществим преобразование Лапласа от выражения $1 - h(t)$ в виде

$$L[1 - h(t)] = \int_0^{\infty} (1 - h(t))e^{-pt} dt. \quad (7)$$

Разлагая в (7) e^{-pt} в ряд и используя (6), получим

$$L[1 - h(t)] = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i}{i!} p^i M^i. \quad (8)$$

Из уравнения (8) после несложных преобразований имеем

$$W(p) = 1 - \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^i}{i!} p^i. \quad (9)$$

Сравнивая (1) и (9), получим искомое соотношение моментов в виде

$$S_i = i \cdot M_{i-1}, \quad (10)$$

где $S_0 = 1$, $S_1 = M_0$, $S_2 = 2 \cdot M_1$, $S_3 = 3 \cdot M_2$ и т.д.

Из формул (2), (6) и (10) можно записать выражения вида

$$\int_0^{\infty} tg(t)dt = \int_0^{\infty} [1 - h(t)]dt,$$

$$\int_0^{\infty} tg(t)dt = \int_0^{\infty} t \cdot [1 - h(t)]dt$$

и т.д.

При подстановке (10) в (3) получим зависимость, связывающую коэффициенты передаточной функции и моменты переходной функции

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{d^i W(p)}{dp^i} = (-1)^i \cdot i \cdot M_{i-1} \quad (11)$$

откуда $W'(0) = -M_0$, $W''(0) = 2 \cdot M_1$, $W'''(0) = -3 \cdot M_2$ и т.д.

Итак, численным интегрированием находится столько моментов экспериментальной нормированной переходной функции, сколько нужно определять параметров передаточной функции. Затем по (11) находятся неизвестные коэффициенты $W(p)$. Полученный таким образом метод аппроксимации $h(t)$ называют методом моментов переходной функции.

В табл. 1 приведены соотношения между моментами переходной и весовой функцией и коэффициентами соответствующих передаточных функций.

Таблица 1. Общие выражения для определения параметров динамических моделей каналов методом моментов весовой и переходной функций

Вид аппроксимирующей передаточной функции $W(p)$	Моменты	
	весовой функции	переходной функции
$W(p) = \frac{e^{-pt}}{1 + Tp}$	$S_1 = T + \tau$ $S_2 = \tau^2 + 2 \cdot T^2 + 2 \cdot T \cdot \tau$	$M_0 = T + \tau$ $M_1 = \frac{1}{2}(\tau^2 + 2 \cdot T^2 + 2 \cdot T \cdot \tau)$
$W(p) = \frac{1}{1 + T_1p + T_2p^2}$	$S_1 = T_1$ $S_2 = 2 \cdot (T_1^2 - T_2)$	$M_0 = T_1$ $M_1 = T_1^2 - T_2$
$W(p) = \frac{e^{-p\tau}}{1 + T_1p + T_2p^2}$	$S_1 = T_1 + \tau$ $S_2 = T_1^2 - 2 \cdot T_2$ $S_3 = T_1^3 - 3 \cdot T_1 \cdot T_2$	$M_0 = T_1 - \tau$ $M_1 = \frac{1}{2}(T_1^2 - 2 \cdot T_2)$ $M_2 = \frac{1}{3}(T_1^3 - 3 \cdot T_1 \cdot T_2)$
$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)(T\epsilon p + 1)}$	$S_1 = T(\epsilon + 1)$ $S_2 = T^2(\epsilon^2 + 1)$ $S_3 = 2 \cdot T^3(\epsilon^3 + 1)$	$M_0 = T(\epsilon + 1)$ $M_1 = \frac{T}{2}(\epsilon^2 + 1)$ $M_2 = \frac{2 \cdot T}{3}(\epsilon^3 + 1)$

Для оценки точности идентификации параметров моделей рассмотренными методами было проведено имитационное моделирование типовой системы вида

$$W(p) = \frac{e^{-p\tau}}{1+Tp} \quad (12)$$

с различными размерами отношений $\frac{\tau}{T} = k$ и значениями помех при получении экспериментальной переходной функции.

Результаты моделирования представлены на рис. 1 и рис. 2. На рисунках изображены семейства кривых относительной ошибки δ_T оценивания параметра T и относительной ошибки δ_τ определения параметра τ в зависимости от значений $\frac{\tau}{T}$ (рис. 1) и относительного размера СКО помехи $\sigma_\epsilon^{\text{отн}}$ (рис. 2) для рассматриваемых методов аппроксимации. Результаты моделирования с использованием метода моментов весовой функции представлены в виде графиков, изображенных пунктирной линией, с использованием метода моментов переходной функции – сплошной линией.

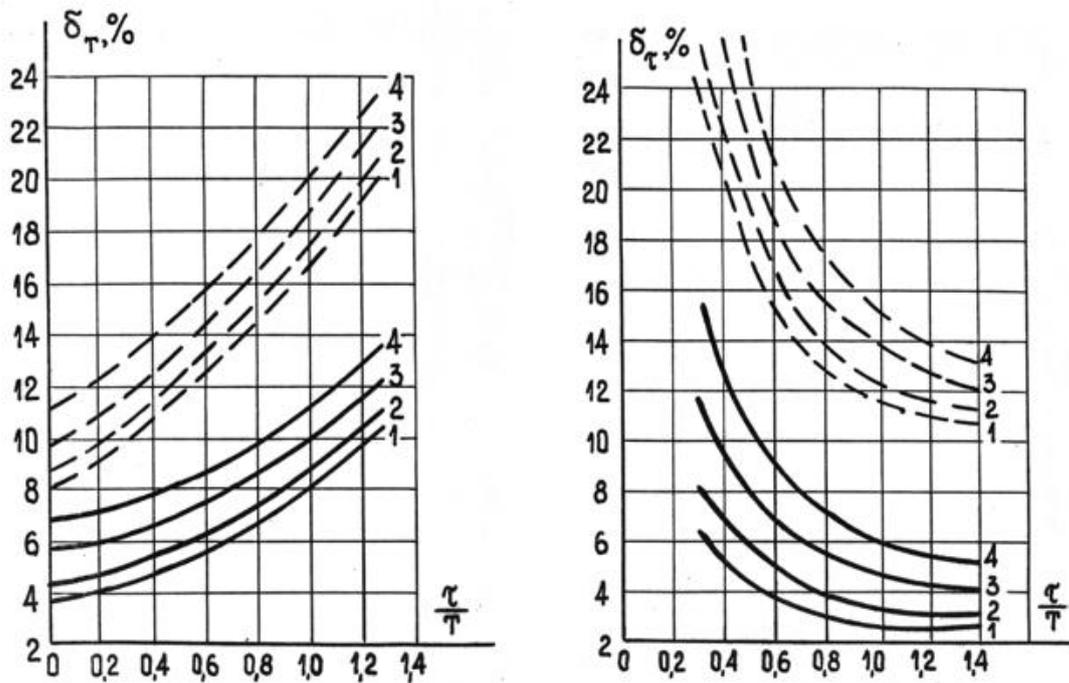


Рисунок 1. Результаты моделирования относительной ошибки

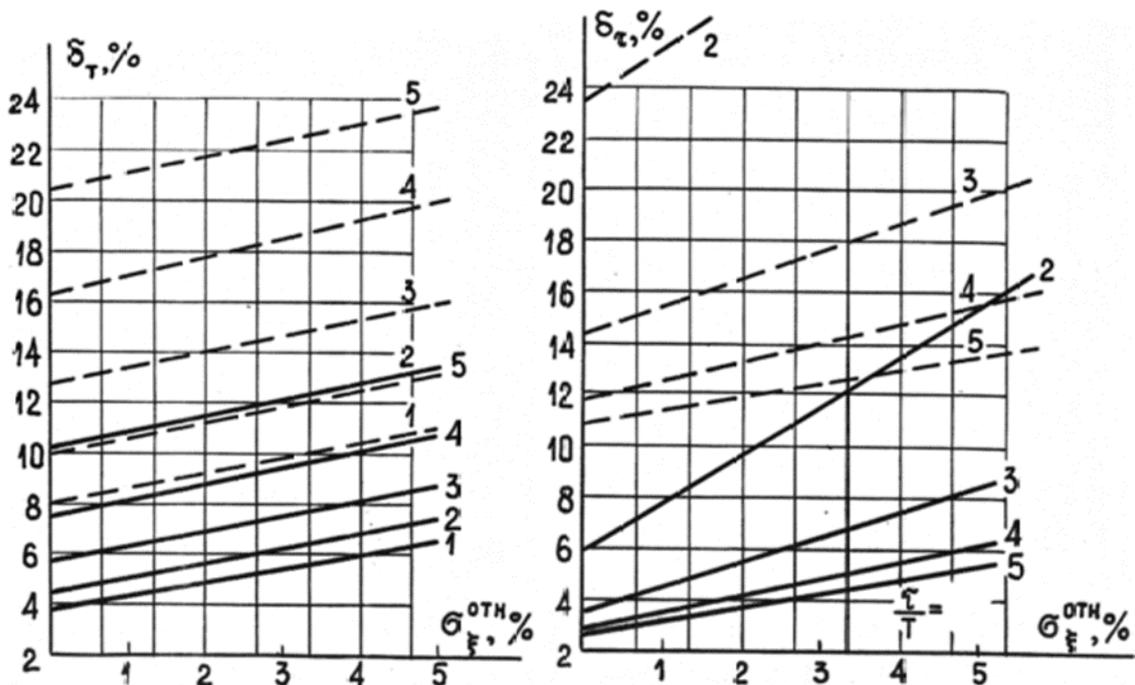


Рисунок 2. Результаты моделирования относительного размера СКО помехи

Из полученных результатов следует, что характер изменения δ_T и δ_τ в зависимости от $\sigma_\varepsilon^{\text{отн}}$ и $\frac{\tau}{T}$ для обоих методов совпадает, однако точность метода моментов переходной функции значительно выше при любых значениях указанных параметров.

Найдем статические характеристики параметров моделей, полученных моментом переходной функции $\hat{h}(t)$ по экспериментальным данным. Полагая, что при определении их МФКС на переходную функцию элемента или системы

накладывается аддитивная помеха $\varepsilon(t)$, которая является стационарным нормальным случайным процессом, получим

$$\hat{h}(t) = h(t) + \varepsilon(t) \quad (13)$$

Определим математическое ожидание и дисперсию оценки моментов

$$M_i^* = \int_0^{T_n} (1 - \hat{h}(t)) t^i dt, \quad (14)$$

поскольку интегрирование ведется течение времени T_n . Они будут соответственно равны

$$M[M_i^*] = M_i - M[\varepsilon] \frac{T_n^{i+1}}{i+1}, \quad (15)$$

$$D[M_i^*] = \int_0^{T_n} \int_0^{T_n} R_\varepsilon(t_1, t_2) t_1^i t_2^i dt_1 dt_2, \quad (16)$$

где $M[\varepsilon], R_\varepsilon(t_1, t_2)$ – математическое ожидание и корреляционная функция помехи соответственно.

Считая интервал корреляции помехи $\tau_\varepsilon \ll T_n$, через замену переменных в (16) получим для дисперсии i -го момента следующее выражение

$$D[M_i] \cong \int_0^\infty R_\varepsilon(\tau) \int_0^{T_n} t^2 dt d\tau = \frac{\tau_\varepsilon \sigma_\varepsilon^2 T_n^{2 \cdot i + 1}}{2 \cdot i + 1} \quad (17)$$

где $\tau_\varepsilon = \frac{1}{\sigma_\varepsilon^2} \int_{-\infty}^\infty R_\varepsilon(\tau) d\tau$; σ_ε^2 – дисперсия помехи.

Выражение (15) показывает, что если $M[\varepsilon] = 0$, то оценка математического ожидания моментов переходной функции является несмещенной. Дисперсия оценки моментов определяется статическими свойствами помехи, временем интегрирования и порядком искомых моментов. Относительную погрешность оценивания i -го момента можно найти из выражения

$$\delta_{M_i} = \frac{D[M_i^*]}{M_i^*}. \quad (18)$$

Для системы с передаточной функцией (12) имеем

$$\begin{aligned} \tau^* &= M_0^* - T^* \\ \tau^{*2} &= 2 \cdot M_1^* - M_0^{*2} \end{aligned} \quad (19)$$

Тогда при $M[\varepsilon] = 0$ получим

$$\begin{aligned} M[T^{*2}] &= T^{*2} - \tau_\varepsilon \sigma_\varepsilon^2 T_n, \\ M[\tau^*] &= M_0^* - M[T^*] \end{aligned} \quad (20)$$

Как следует из уравнения (20) при несмещенности оценки моментов переходной функции имеем смещение оценки параметров модели, причем характер изменения оценок, соответствующий (20), полностью подтверждается результатами имитационного моделирования (рис. 1, 2).

Таким образом, из проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для оценивания параметров динамических моделей каналов ЦБП и их элементов МФКС следует рекомендовать метод моментов переходной функции.

2. В условиях значительной рассеянности величин, подлежащих измерению, погрешности аппроксимации параметров динамических моделей могут быть порядка 5-10 %, поэтому допускаемые значения их временной нестабильности должны назначаться с учетом этих погрешностей идентификации моделей в динамике при контроле их МФКС.

Список использованной литературы

1. Походун А.И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений: учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 112 с.
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. 1000 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
5. Прохоров С.А. Аппроксимативный анализ случайных процессов. –Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2001. – 380 с.
6. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы – М.: Бином, 2017. – 640 с.

© Г.А. Кондрашкова, Е.П. Дятлова, И.В. Бондаренкова, 2020

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И COVID-19

студент гр. 522 **Ерина Анастасия Игоревна**,

Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Благодарный Николай**

Семёнович

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье приводятся раскрытые понятия такого словосочетания, как «искусственные нейронные сети». Дана иллюстрация нелинейной модели нейрона в таких сетях с описанием основных элементов. Перечислены виды построения, области применения, преимущества и недостатки внедрения нейронных сетей в область автоматизации. Написана краткая история их создания. Обозначены возможности решения новых задач, возникающих перед обществом в связи с распространением COVID-19.

Ключевые слова. Нейронная сеть, нейрон, автоматизация, процесс, производство, развитие, управление.

NEURAL NETWORKS IN THE FIELD OF AUTOMATION AND COVID-19

Erina Anastasia Igorevna,

Blagodarnyy Nikolay Semenovich

Abstract. The article describes the concepts of such a phrase as "artificial neural networks". As well as an illustration of a nonlinear model of a neuron in such networks with a description of the main elements. The types of construction, applications, advantages and disadvantages of implementing neural networks in the field of automation are listed. A brief history of their creation has been written. The possibilities of solving new problems that society faces in connection with the spread of COVID-19.

Keywords. Neural network, neuron, automation, process, production, development, management.

В наши дни искусственные нейронные сети находят всё большее применение в разных сферах жизни людей. Часто не подозревая этого, сталкиваемся с ними в поисковых системах Интернета, при прохождении таможенного контроля в аэропортах, при получении информации о штрафах ГИБДД и т.п. Очень многие приложения искусственных нейронных сетей непосредственно связаны с автоматизацией.

Искусственные нейронные сети представляют собой технологию, уходящую глубоко в область нейрофизиологии, физики, математики, статистики, компьютерную науку и технику. В технику искусственные нейронные сети пришли из биологии. Они сходны с мозгом по нескольким параметрам: знания поступают из окружающей среды и используются в процессе обучения, а также потому, что для накопления знаний применяются связи между нейронами, то есть синаптические веса. Нейронные сети, построенные по принципу функционирования и организации биологических нейронных сетей, являются искусственными логическими структурами с большим числом независимых друг от друга и параллельно работающих элементов, которые составлены из формальных нейронов. Искусственные нейронные сети оперируют числами, поэтому для расчёта степени влияния каждого отдельного фактора нужно провести процесс нормализации, то есть процесс присваивания веса каждому синапсу [1, с.4-8].

Нейрон представляет собой некий узел или блок обработки информации, структурную единицу, которая принимает входной сигнал (синапс), обрабатывает его, придаёт определённый, так называемый, вес и передаёт выходные данные. Этот процесс можно описать следующим уравнением:

$$y_k = \varphi(v_k) \cdot \sum_{i=1}^m (x_i \cdot w_{k,i} + b_k),$$

где y_k – выходной сигнал нейрона, $\varphi(v_k)$ – вычислитель активационной функции, v_k – выходной сигнал сумматора, x_i – входные сигналы, $w_{k,i}$ – значения синаптических весов, b_k – пороговое значение.

На рисунке 1 изображена нелинейная модель нейрона, которая в основном используется в искусственных нейронных сетях.

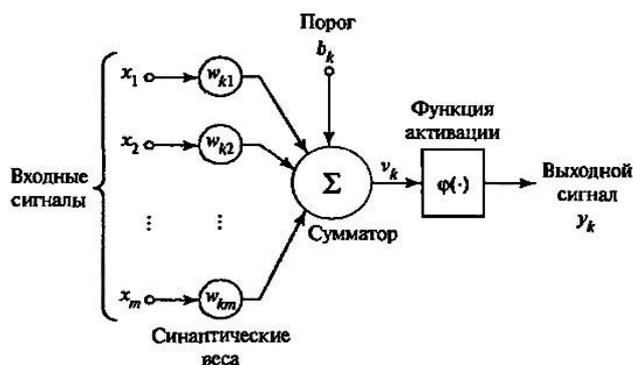


Рисунок 1. Нелинейная модель нейрона

В этой модели нейрона можно выделить несколько основных элементов:

1. Набор связей или синапсов, каждый из которых характеризуется своим синаптическим весом;
2. Линейная комбинация, то есть операция сумматора, который складывает входные сигналы, взвешенные относительно соответствующих синапсов нейронов;

3. Пороговый элемент, величина которого отражает увеличение или уменьшение входного сигнала, подаваемого на функцию активации;

4. Функция сжатия или, как её ещё называют, функция активации, которая ограничивает амплитуду выходного сигнала нейрона.

Структура искусственных сетей разнообразна в связи со существованием различных алгоритмов их обучения, благодаря этому, можно выделить три основных схемы построения:

- Однослойные сети прямого распространения, пример которой показан на рис. 1. На этом рисунке под одним слоем подразумевается только слой нейронов, так как при подсчёте слоёв не учитываются узлы источника, потому что они не выполняют никаких вычислений.
- Многослойные сети прямого распространения. Такие сети имеют один или несколько скрытых слоёв, их узлы называются скрытыми элементами. С помощью скрытых слоёв возможно выделять статистики высокого порядка или, иными словами, глобальные свойства данных.
- Рекуррентные сети. В таких сетях присутствует обратная связь, которая напрямую влияет на их обучаемость и производительность [2, с. 31-171].

Впервые такое словосочетание, как «искусственная нейронная сеть» было предложено в начале 40-х годов XX века двумя американскими друзьями учёными в связи с появлением первых компьютеров или, как их тогда называли, электронно-вычислительных машин. В 1943 году нейрофизиологами Уорреном Мак - Каллоком и Уолтером Питтсом разработана модель нейронной сети на основе теории деятельности головного мозга человека и математических алгоритмов, которая стала первой формальной моделью искусственной нейронной сети. Учёными было установлено, что нейронные сети могут выполнять любые логические операции и преобразования, реализуемые дискретными устройствами с конечной памятью. Ими были получены многие важные результаты, но главным стало предположение о том, что такая сеть способна обучаться, распознавать образы, обобщать полученную информацию. Процесс обучения является одним из основным преимуществ нейронной сети. Процедура, используемая для этого процесса, называется алгоритмом обучения. Она подразумевает собой нахождение новых связей между нейронами и зависимостей между элементами цепи. Существует последовательность событий, которая показывает лишь набор средств для обучения, в той или иной степени подходящий к различным видам схем сетей: в нейронную сеть поступают раздражители из окружающей среды, в результате чего происходит изменение её свободных параметров, благодаря чему сеть отвечает на возбуждения другим способом [2, с. 1004]. На рис. 2 представлено схематическое изображение процесса обучения искусственной нейронной сети.

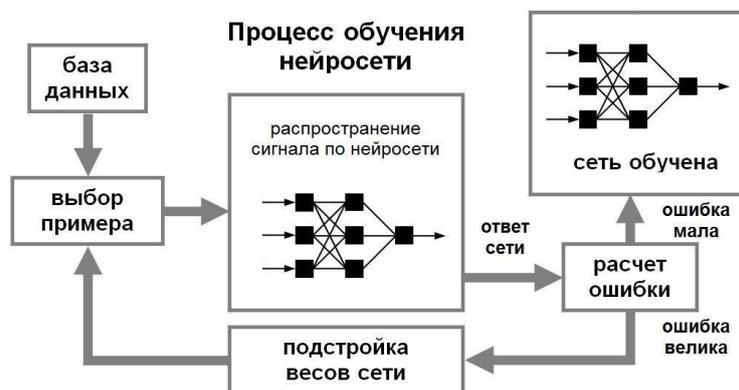


Рисунок 2. Схематическое изображение процесса обучения искусственной нейронной сети

У вычислительных систем, имеющих способность к обучению и постепенному повышению своей производительности, то есть искусственных нейронных сетей, в настоящее время происходит интенсивное развитие. С каждым годом область их применения всё более расширяется. Нейронные сети используются практически в каждой сфере жизни людей, например, в машинном обучении, системах управления, математике, искусстве, медицине, науке, робототехнике или экономике. Они помогают выполнять рутинные работы, делают повседневную жизнь более комфортной [3, с. 84-86]. Наиболее актуально в настоящее время использование искусственных нейронных сетей в области энергетики, промышленных системах, так как увеличиваются цены на различные ресурсы, что ставит перед производителями вопрос о необходимости их целесообразного и эффективного использования. А так же важна более точная работа регуляторов, которая напрямую влияет на качество выпускаемого сырья и увеличение конкурентоспособности на рынке. Производителям необходимо обеспечивать качественное управление технологическими процессами. Это возможно лишь тогда, когда в процессе работы различные изменения на регуляторах будут моментально определены, даже если они не видны человеческому глазу. Такие ошибки будут влиять не только на текущее качество продукции, но и на состоянии самого оборудования, потому что будет быстрее происходить износ инструментов. Ситуация, когда за изменениями параметров каждого регулятора следит специалист, периодически приводящий их вновь в оптимальную работу, в настоящее время маловероятно и очень неэффективно. Решением таких проблем являются автоматические устройства, которые реагируют незамедлительно и безошибочно. Примером такого устройства может быть регулятор на основе искусственных нейронных сетей.

Использование искусственных нейронных сетей в области автоматизации позволяет проектировать очень мощные системы управления, которые могут иметь способность автоматически корректировать собственные системы управления и следить за режимом, в котором находится система, чтобы

предупреждать и с большой точностью показывать её будущие параметры. Специальным образом обученная и спроектированная сеть будет оказывать положительный эффект на производство в целом, ведь оно получит огромную экономию используемых ресурсов и качественное управление. Но не стоит забывать, что существуют некоторые недостатки внедрения нейронных сетей. Например, такие сети не могут быть применимы для сложных задач, в которых требуется достаточно высокая точность, или тогда, когда нужно объяснить причину принятия какого-либо решения. Однако это не перекроет их достоинства применения в области автоматизации, потому что искусственные нейронные сети позволяют перейти на новый более высокий уровень управления [4, с.105-110].

Важным достоинством искусственных нейронных сетей является то, что они с успехом справляются с задачами обработки больших объемов данных, так называемых «big data». Эта способность обусловила появление нового прикладного научного направления. В связи с появлением в мире новых угроз (сегодня это COVID-19) перед обществом возникают новые задачи и требования, в частности требования масштабного перехода на дистанционный режим взаимодействия между людьми. В высших учебных заведениях эти требования ведут к необходимости ведения дистанционного обучения студентов, что не может не отразиться на поведении преподавателей и студентов, усваивании материала и успеваемости последних.

Авторы планируют провести комплекс исследований, которые помогут проанализировать и оценить все аспекты перехода обучения в ВУЗах на дистанционный режим, показать влияние и взаимосвязь online-формата с качеством получаемого материала, а также разработать стратегии улучшения взаимодействия учебных заведений со студентами в период виртуального обучения. Данные исследования, на наш взгляд, целесообразно провести с применением искусственных нейронных сетей для обработки больших массивов данных, т.к. это один из самых современных и доступных методов, позволяющий собрать и структурировать необходимую информацию с высокой точностью за короткий срок.

Список использованной литературы

1. Кан К. А. Нейронные сети. Эволюция. – М.: ЛитРес: Самиздат, - 2018. - 380 с.
2. Саймон Хайкин Нейронные сети: полный курс. - 2-е изд., испр.: пер. с англ. - М.: 000 "И.Д. Вильямс". - 2006. - 1104 с.
3. Фаустова К. И. Нейронные сети: применение сегодня и перспективы завтра // Территория науки. - 2017. - №4. – С. 83 - 86.
4. Белоглазов Д. А. Особенности нейросетевых решений, достоинства и недостатки, перспективы применения // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2008. – № 7. - С. 105 - 110.

© А.И. Ерина, Н.С. Благодарный, 2020

СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ С НЕЖЕСТКИМИ СВЯЗЯМИ

канд. техн. наук., доцент **Благодарный Николай Семенович**,
ассистент **Ершов Кирилл Константинович**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются способы управления электромеханическими системами с нежесткими связями, в частности двухмассовыми системами. Рассматриваются различные способы коррекции системы с подчиненным регулированием и методы модального управления, выделены их достоинства и недостатки. Предлагается использование адаптивного управления в современных электроприводах для обеспечения требуемых показателей точности и качества системы.

Ключевые слова. Электропривод, нежесткая связь, двухмассовая система, подчиненное регулирование, модальное управление, адаптивное управление.

METHODS FOR CORRECTING NONLINEAR TRACKING SYSTEMS WITH ELASTIC COUPLING

Ershov Kirill Ko Blagodarnyi Nikolay Semyonovich,
Ershov Kirill Konstantinovich

Abstract. The paper deals with control methods of electromechanical systems with elastic coupling, in particular, the dual-mass systems. Various methods of correcting a system with cascade control and methods of modal control are discussed, their advantages and disadvantages are highlighted. The use of adaptive control in modern electric drives is proposed to ensure the required parameters of accuracy and quality of the system.

Keywords. Electrical drive, elastic coupling, dual-mass system, cascade control, modal control, adaptive control.

Электропривод многих промышленных механизмов является многомассовой электромеханической системой (ЭМС) с нежесткими механическими связями. Основные особенности взаимодействия электрической и механической частей системы достаточно полно выявляются при простейшем представлении механической части в виде двухмассовой нежесткой системы. Функциональная схема такой системы изображена на рис. 1.

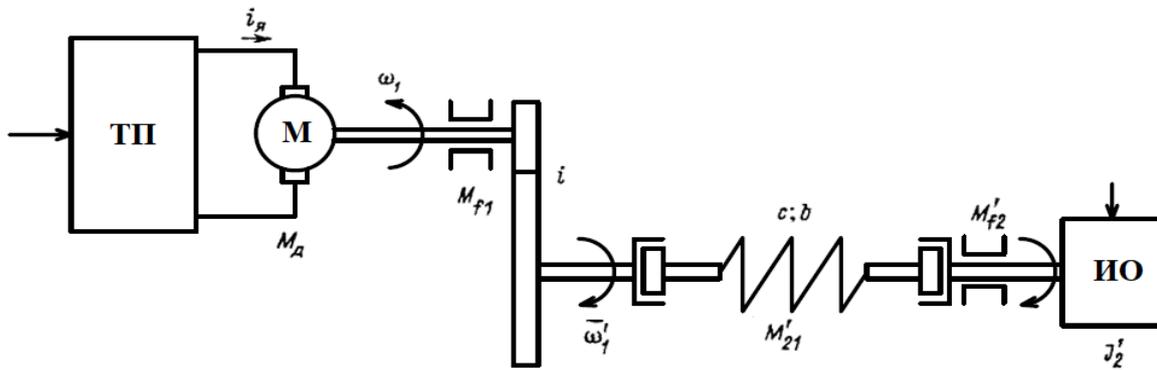


Рисунок 1. Функциональная схема двухмассовой электромеханической системы

Ротор электродвигателя с моментом инерции J_1 соединен посредством невесомого эквивалентного нежесткого вала, имеющего коэффициент жесткости c , с сосредоточенной механической нагрузкой, имеющей момент инерции, равный J_2 . Уравнения, описывающие электромеханическую систему имеют вид:

$$\omega_1 = \frac{1}{J_1 p} \left\{ M_d - \frac{1}{i} [M'_{21} + b(\omega_1 - \omega_2)] - a_1 \omega_1 \right\};$$

$$M'_{21} = \frac{c'}{p} (\omega'_1 - \omega'_2);$$

$$\omega'_2 = \frac{1}{J'_2 p} [M'_{21} + b(\omega'_1 - \omega'_2) - M'_c - a'_2 \omega'_2];$$

$$M_d = c_d i_{я};$$

$$i_{я} = \frac{1}{T_{я.ц.} p} \left[-i_{я} + \frac{1}{R_{я.ц.}} (e_{т.п.} - c_d \omega_1) \right],$$

где M_d – момент двигателя; M'_c – момент нагрузки; M'_{21} – момент в упругой передаче; c' – коэффициент жесткости; b' – коэффициент внутреннего трения; i – передаточное число редуктора; a_1, a'_2 – коэффициенты вязкого трения в упругой передаче; c_d – постоянная двигателя; $i_{я}$ – ток якоря; $T_{я.ц.}, R_{я.ц.}$ – постоянная времени и сопротивление якорной цепи; $e_{т.п.}$ – среднее значение ЭДС тиристорного преобразователя; ω_1, ω'_2 – частота вращения вала двигателя и выходного вала. Штрихами обозначены величины, неприведённые к валу двигателя. Привидение производится в соответствии со следующим формулами:

$$M_{21} = \frac{M'_{21}}{i}; \quad \omega_2 = i \omega'_2; \quad J_2 = \frac{J'_2}{i^2};$$

$$a_2 = \frac{a'_2}{i^2}; \quad c = \frac{c'}{i^2}; \quad b = \frac{b'}{i^2}.$$

В процессе проектирования системы автоматического управления необходимо учитывать влияние нежестких связей. Система, построенная по типовой структуре подчиненного регулирования, с настройками регуляторов, рассчитанными без учета нежестких связей, не позволяет, как правило, обеспечить требуемое быстродействие и запас устойчивости. В некоторых случаях путем перестройки коэффициентов передачи регуляторов скорости и

тока или использования дополнительных последовательных корректирующих устройств, не разрушающих типовую структуру системы с подчиненным регулированием координат, удается получить достаточно плавное движение исполнительного органа. Однако достичь достаточного демпфирования упругих колебаний механизма путем перестройки контуров в унифицированной системе удается достичь лишь в некоторых частных случаях при фиксированных параметрах двухмассовой системы.

Если малые постоянные времени контуров тока и скорости невелики ($T_{\mu\omega} \leq 0,5 T_y \gamma^{-1/4}$), то только при величине соотношения масс $\gamma = \frac{J_1 + J_2'}{J_1} = 3 \div 10$ выбором коэффициента передачи регулятора скорости можно добиться достаточно быстрого и малоколебательного переходного процесса по скорости исполнительного механизма [2, с. 97].

Но даже при "выгодном" соотношении масс $\gamma = 4$ полоса пропускания контура скорости оказывается примерно в 2 раза ниже требуемой.

Использование дополнительных последовательных корректирующих устройств ограничено трудностью их реализации и особенно настройки, даже при стационарных параметрах объекта.

Наиболее эффективным и часто используемым в автоматических системах с нежесткими связями является метод параллельной коррекции. Как правило, он применяется для демпфирования упругих колебаний и улучшения динамических показателей систем с подчиненным регулированием координат. В настоящее время отмечается большое разнообразие способов параллельной коррекции систем с нежесткими связями. Обычно они предполагают введение корректирующих устройств в цепи обратных связей по току и скорости двигателя или замыкание дополнительных обратных связей по неизмеряемым в типовой структуре координатам (скорости механизма, упругому моменту) и их производным.

Наиболее часто используются следующие способы параллельной коррекции следящих систем и систем регулирования скорости с нежесткими связями:

- введение в типовую структуру системы дополнительных обратных связей по упругому моменту и его производным;
- введение дополнительных обратных связей по разности скоростей двигателя и механизма и по интегралу от этой разности;
- введение дополнительных обратных связей по скорости механизма и ее производным.

Можно показать, что при $\gamma = 1 \div 3$ существенный эффект дает применение отрицательных обратных связей не только по ускорению исполнительного вала $\dot{\omega}_2$, но и по разности углов $\varphi_1 - \varphi_2$, а также положительной обратной связи по ускорению двигателя $\dot{\omega}_1$. При $\gamma > 10$ наиболее целесообразно использовать положительные обратные связи по второй производной от скорости механизма $\ddot{\omega}_2$ или по разности скоростей двигателя и механизма $\omega_1 - \omega_2$.

Один из недостатков рассмотренных способов параллельной коррекции ЭМС с нежесткими связями состоит в том, что выбор наиболее эффективной обратной связи определяется параметрами конкретной системы, в частности, коэффициентом соотношения масс γ , которые как правило, на стадии проектирования не могут быть точно определены. Кроме того, хотя применение рассмотренных корректирующих устройств и связей позволяет получить в линейной системе переходный процесс по выходной координате, желаемой (стандартной) формы, на быстродействие системы и ее полосу пропускания накладываются ограничения.

Для снятия указанных ограничений в систему необходимо заводить не одну, а две или несколько дополнительных обратных связей.

Предельным случаем является замыкание системы по полному вектору состояния, т.е. применение методов линейного управления с главной обратной связью по состоянию, в частности, модального управления.

Использование метода пространства состояний позволяет получать относительно простым и единообразным путем алгоритмы синтеза обратных связей по переменным состояниям системы \hat{X} , обеспечивающие любое наперед заданное распределение корней характеристического полинома линейной системы или придание собственным числам матрицы замкнутой линейной системы желаемых значений (модальное управление).

Поскольку основной целью управления следящей ЭМС является обеспечение требуемой динамической точности, то модальное управление целесообразно организовывать только в контуре скорости следящей системы, решая тем самым задачу обеспечения требуемого быстродействия и запаса устойчивости. После оптимизации контура скорости выбор регулятора положения и настройку контура положения целесообразно осуществлять в соответствии со стандартной методикой подчиненного регулирования, обеспечивая требуемую точность следящей системы.

Препятствием осуществления такого пути синтеза и обеспечения требуемых показателей качества следящей системы являются нелинейности, присущие реальным объектам управления, в частности, ограничение напряжения усилителей и зазоры. Использование модального управления в ЭМС требует для некоторых наиболее часто встречающихся в следящих системах нелинейностей, в частности, для ограничения и зазора, разработать методику синтеза управления, обеспечивающую желаемую форму переходного процесса по выходной координате системы и одновременно предельные значения быстродействия и точности при которых гарантирована абсолютная устойчивость нелинейной системы.

При реализации модального управления в контуре скорости следящей системы необходимо учитывать, что не все переменные состояния системы могут быть измерены. Требование надежности следящих систем заставляет использовать возможно меньшее число датчиков координат. Поэтому часть переменных состояний системы необходимо измерять косвенным путем, либо

восстанавливать. Восстановление недостающих для организации линейного управления переменных состояния наиболее эффективно осуществлять с помощью наблюдателя (идентификатора состояния) Луенбергера.

Вместе с тем существует ряд факторов, ограничивающих широкое промышленное применение стационарных наблюдателей в современных следящих электроприводах. К ним следует отнести:

- возможное изменение моментов инерции механизма и параметров нежесткой связи в процессе работы системы, а также изменение параметров электрической части системы из-за воздействия климатических факторов;
- априорную неопределенность параметров объекта, препятствующую осуществлению точного расчета параметров наблюдателя и системы управления;
- влияние внешних возмущающих воздействий и нелинейностей, не учитываемых при синтезе модального управления и в структуре наблюдателя.

Эти факторы свидетельствуют о целесообразности и актуальности адаптивного подхода при создании современных следящих ЭП, пригодных для использования в различных областях техники, который дает возможность выполнения все возрастающих требований к качеству, точности и надежности следящих систем.

Существуют поисковый и беспоисковый типы адаптации. Беспоисковые адаптивные системы могут строиться по схеме прямого адаптивного управления с использованием эталонной модели, или по схеме непрямого адаптивного управления с использованием настраиваемой (неявной) модели, осуществляющей предварительную идентификацию объекта. С точки зрения практического применения в системах автоматического регулирования, предназначенных для стабилизации и слежения, наиболее подходящими являются беспоисковые алгоритмы непрямого адаптивного управления, т.е. адаптивные системы с настраиваемой моделью (идентификатором состояния). Наиболее целесообразной и подходящей для использования в следящих ЭМС, является структура адаптивной системы с сигнальной настройкой и идентификатором состояния (наблюдателем), позволяющая помочь решить проблему принудительного подавления нелинейных упругих колебаний исполнительного органа и обеспечения высоких показателей качества следящих систем путем совместного применения адаптивного и модального управления [1, с. 111].

Типовая функциональная схема следящей системы с адаптивно-модальным управлением, рекомендуемая для использования в различных областях техники, приведена на рис. 2.

Здесь адаптивная система управления, называемая адаптивно-модальным регулятором (АМР), состоит из идентификатора состояния (наблюдателя) с сигнальным алгоритмом адаптации (адаптивного наблюдателя) и модального регулятора МР.

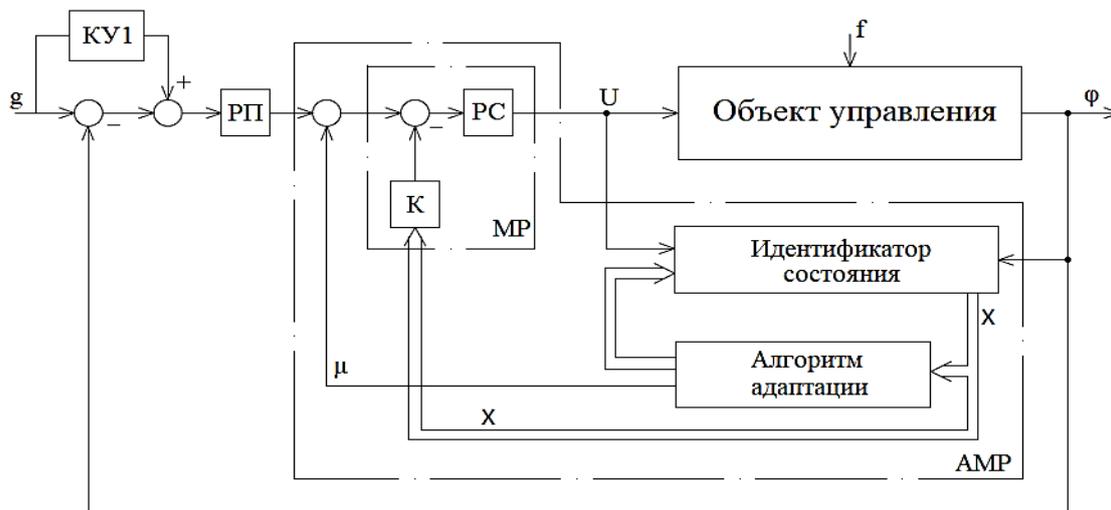


Рисунок 2. Адаптивная система управления

Блок адаптивного наблюдателя вырабатывает сигнал линейной обратной связи по оценке вектора состояния объекта X и специально сформированный на скользящих режимах адаптивного наблюдателя сигнал адаптации объекта μ . Линейная обратная связь по оценке вектора состояния объекте, реализующая алгоритм модального управления, призвана обеспечить в контуре скорости следящей ЭМС требуемые динамические показатели, а сигнал адаптации объекта μ служит для компенсации параметрических рассогласований, нелинейностей и внешних возмущений с заданной степенью точности [1, с. 128]. Требуемая точность следящей системы может быть обеспечена выбором динамики и соответствующей настройкой регулятора положения РП и корректирующего устройства КУ1.

Несмотря на то, что адаптивно-модальное управление сложными электромеханическими системами является действенным эффективным способом достижения высокой точности и быстродействия систем при условии их параметрической нестационарности и априорной неопределенности, открытым и требующим решения остается вопрос обеспечения точечной устойчивости, либо устойчивости отрезка покоя нелинейной системы с адаптивно-модальным регулятором при учете зазора в кинематической передаче и ограничения тока электродвигателя. Требуется создать методику синтеза таких систем, обеспечивающую максимально возможное быстродействие при сохранении устойчивости и приемлемого качества регулирования.

Список использованной литературы

1. Борцов Ю. А. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов, В. В. Путов. - Ленинград: Энергоатомиздат, -1984. -216 с.
2. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Энергоатомиздат, -1992. - 288 с.

РАБОТА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С УДАЛЕННЫМИ РАБОЧИМИ ЛОПАТКАМИ

студент гр. 431 **Зверев Леонид Олегович**,

Науч. руководитель: канд. техн. наук., доцент **Злобин Владимир Германович**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В практике эксплуатации паротурбинных установок тепловых и атомных электростанций, а также в процессе эксплуатации транспортных паротурбинных установок, могут иметь место случаи, когда возникает необходимость в оценке возможностей аварийного турбоагрегата. В данном случае под аварийным агрегатом понимается такой, у которого произошла поломка лопаточного аппарата, приведшая к удалению рабочих лопаток регулировочной или промежуточной, или последней ступени, или всех лопаток указанных ступеней.

В данной статье рассматривается работа паровой турбины с удаленными рабочими лопатками. Показано, в каких случаях допускается частичное или полное удаление рабочих лопаток одной или нескольких ступеней.

Ключевые слова. Рабочие лопатки, турбоагрегат, аварийный режим, ступени, работа диафрагмы.

STEAM TURBINE OPERATION WITH REMOTE OPERATING LO-PATCHES

**Zverev Leonid Olegovich,
Zlobin Vladimir Germanovich**

Abstract. In the practice of operating steam turbine units of thermal and nuclear power plants, as well as during the operation of transport steam turbine units, there may be cases when it becomes necessary to assess the capabilities of an emergency turbine unit. In this case, an emergency unit is understood to mean one in which a blade breakdown occurred, which led to the removal of the working blades of the adjusting, or intermediate, or last stage or all the blades of the indicated stages.

This article discusses the operation of a steam turbine with remote rotor blades. It is shown in which cases partial or complete removal of the rotor blades of one or several stages is allowed.

Keywords. Rotor blades, turbine unit, emergency mode, stages, diaphragm operation.

Работа турбоагрегата с удаленными отдельными ступенями или деталями проточной части турбин возможна только на режимах, исключающих перегрузку оставшихся ступеней или их работу при недопустимой температуре пара, а также перегрузку упорных подшипников турбин [1, 2].

Частичное удаление рабочих лопаток (рис.1) одной или нескольких ступеней допускается, если:

- общее количество удаляемых лопаток одной ступени не превышает 5%;
- в каждом пакете остается не менее 4-5 лопаток;
- обеспечиваются надежное крепление оставшихся лопаток;
- обеспечивается динамическая уравновешенность ротора.

В остальных случаях повреждения рабочих лопаток, а также при удалении диафрагмы должны удаляться все рабочие лопатки поврежденной ступени.

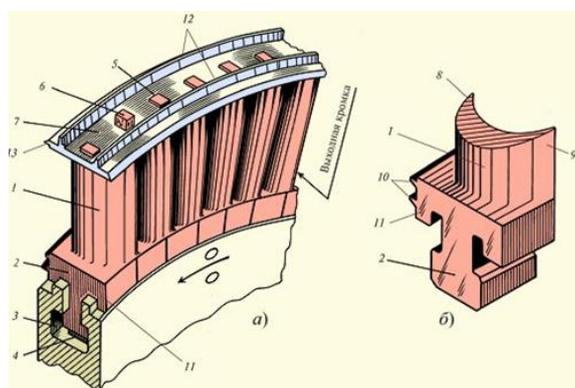


Рисунок 1. Рабочие лопатки паровой турбины

При назначении режима работы поврежденного агрегата необходимо [3]:

- при удалении рабочих лопаток регулировочной ступени снижать температуру и расход свежего пара до величин, при которых температура и давление пара за регулировочной ступенью будут устанавливаться такие же, как при работе на номинальном режиме;

- при удалении рабочих лопаток (диафрагмы) последней ступени ТНД повышать давление в конденсаторе до величины, соответствующей давлению перед лопатками (диафрагмой) последней ступени при работе неповрежденной турбины;

- при удалении рабочих или направляющих лопаток промежуточной ступени снижать расход пара на турбоагрегат так, чтобы его мощность уменьшалась на величину полуторной мощности удаленных ступеней;

- при эксплуатации турбин с удаленными деталями проточной части необходимо обращать особое внимание на работу упорных подшипников турбин, а при удалении деталей последней ступени – также на тепловое состояние конденсатора.

Рассмотрим работу турбоагрегата конденсационной тепловой электростанции. Ограничениями для использования турбоагрегата в данном случае могут быть [4, 6]:

- дисбаланс ротора;
- возникновение напряжений в элементах аварийного турбоагрегата, превышающих предельно-допустимые значения.

Опыт показывает, что удаление рабочих лопаток ступени не повышает дисбаланс турбины, поэтому в данном случае он не ограничивает использование турбоагрегата, а напряжения в элементах аварийной турбины могут стать ограничивающим фактором на ее использование.

Аварийный режим работы турбоагрегата будем рассматривать как нерасчетный режим. В основу расчетов положены известные формулы А. Стодолы [5], показывающие зависимость расхода рабочего тела от его параметров, теоретически эти формулы обоснованы Г. Флюгелем:

- для докритического течения потока рабочего тела через ступень:

$$\left(\frac{G}{G_p}\right)^2 = \frac{T_{0P}}{T_0} \cdot \frac{p_2}{p_{2p}} \cdot \frac{(p_0 - p_2)}{(p_{0p} - p_{2p})}; \quad (1)$$

- для критического и сверхкритического течения потока рабочего тела:

$$\left(\frac{G}{G_p}\right)^2 = \frac{T_{0P}}{T_0} \cdot \left(\frac{p_0}{p_{0p}}\right)^2, \quad (2)$$

где G_p – массовый расход рабочего тела на расчетном режиме; G – массовый расход рабочего тела на нерасчетном режиме; T_{0p} , T_0 – температура рабочего тела перед турбинной ступенью на расчетном и нерасчетном режимах; p_{0p} , p_0 – давление рабочего тела перед турбинной ступенью на расчетном и нерасчетном режимах; p_{2p} , p_2 – давление рабочего тела за турбинной ступенью на расчетном и нерасчетном режимах.

Рассмотрим работу турбины, у которой удалены рабочие лопатки промежуточной и последней ступеней. В этом случае *условие отсутствия сверхдопустимых напряжений в диафрагмах* будет выполняться при следующем равенстве:

$$p_{0a} - p_{1a} = p_0 - p_1, \quad (3)$$

где p_{0a} – давление рабочего тела перед турбинной ступенью в аварийном турбоагрегате; p_1 , p_{1a} – давление рабочего тела за направляющим (сопловым) аппаратом в исправном и аварийном турбоагрегате соответственно.

При удалении рабочих лопаток турбинной ступени (рис. 2 и рис. 3) кинетическая энергия, не используется для производства полезной работы. Скорость потока рабочего тела теряется, и кинетическая энергия переходит в тепло, незначительно повышая давление теплоперепады в ступенях, следующих за аварийной.

Степень реактивности рабочих лопаток $\rho \cong 0$. Если предположить, что в нормальных условиях аварийная ступень имела $\rho \cong 0$, то тогда давление пара за диафрагмой p_1 равно давлению пара p_2 за ступенью – $p_1 = p_2$. При удалении рабочих лопаток и неизменном расходе рабочего тела, условия работы диафрагмы аварийной ступени практически не изменяются, так как давление $p_{1a} = p_2$, а $p_2 = p_1$ и разность давлений равна: $p_{0a} - p_{1a} = p_0 - p_1$.

В этом случае применять специальные ограничения в работе аварийной турбины не требуется.

Мощность турбины уменьшается на величину мощности аварийной ступени с учетом снижения КПД аварийного турбоагрегата:

$$N_{ea} = (N_e - N_{ea}^{ст}) \cdot \frac{\eta_{ea}}{\eta_e}, \quad (4)$$

где N_{ea} – мощность аварийного турбоагрегата; $N_{ea}^{ст}$ – мощность аварийной ступени; η_e, η_{ea} – КПД исправного турбоагрегата и аварийного соответственно.

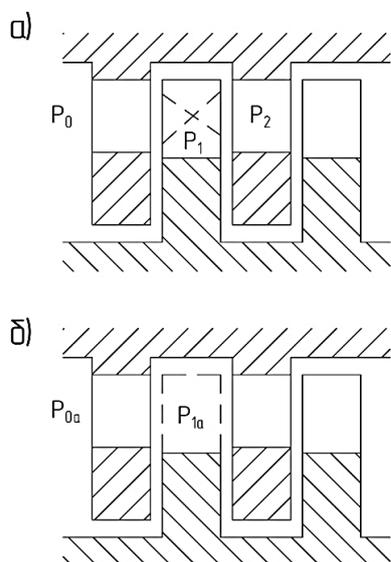


Рисунок 2. Турбинная ступень до аварии (а), после аварии (б) (удалены рабочие лопатки)

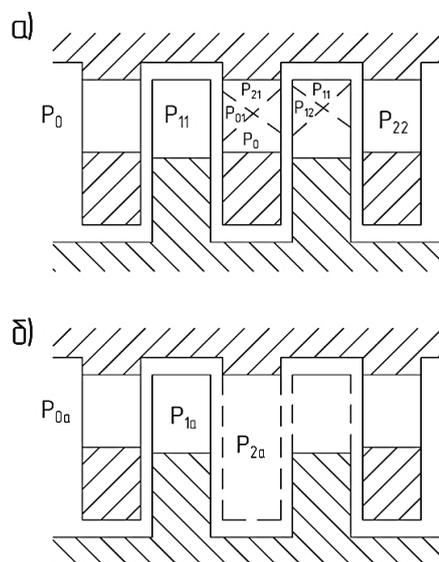


Рисунок 3. Турбинная ступень до аварии (а), после аварии (б) (удалена ступень)

Частоту вращения валопровода аварийного турбоагрегата можно найти по формуле: $n_a = n \sqrt[3]{\frac{N_{ea}}{N_e}}$ (5)

и определить частоту вращения вала генератора при аварии турбоагрегата.

Сложность заключается в определении КПД аварийного турбоагрегата. При оценочных расчетах можно принять, что $\frac{\eta_{ea}}{\eta_e} = 0,98 \div 1,0$.

Степень реактивности рабочих лопаток $\rho > 0$. В случае $\rho > 0$, давление пара за диафрагмой $p_1 \neq p_2$. После удаления рабочих лопаток и при неизменном расходе пара давление за диафрагмой понизится и станет равным величине p_{1a} .

которая приблизительно равна p_2 . В результате разность давлений $p_{0a} - p_{1a} > p_0 - p_1$ и диафрагма аварийной ступени будет перегружена.

В целях выполнения условий безопасной работы диафрагмы необходимо так уменьшить расход пара G'_a в аварийной турбине, чтобы выполнялось равенство $p'_{0a} - p'_{1a} = p_0 - p_1$:

$$G'_a = G \frac{p_2}{p_1}. \quad (6)$$

По формуле (6) можно определить расход рабочего тела в турбоагрегате с удаленными рабочими лопатками промежуточной ступени, при котором будет выполняться условие безопасной работы диафрагмы аварийной ступени.

Полученная формула для определения расхода рабочего тела справедлива в случае докритического режима течения.

При сверхкритическом течении рабочего тела в каналах направляющего аппарата аварийной ступени до и после аварии зависимость между давлениями и расходом, согласно формуле (2) и с учетом $\frac{T_{0a}}{T'_0} \approx 1$, имеет вид:

$$\frac{G_a}{G} = \frac{p_{0a}}{p_0}. \quad (7)$$

Если $G_a = G$, то условие прочности $p_{0a} - p_{1a} = p_0 - p_1$ не соблюдается, необходимо уменьшить расход до величины G'_a :

а) в последней ступени:

$$G'_a = G \cdot \left(1 - \frac{p_1 - p_z}{p_0}\right); \quad (8)$$

б) в промежуточной ступени

$$G'_a = G \cdot \left(\frac{p_0 - p_1}{p_0 - p_z}\right). \quad (9)$$

В общем случае в направляющем аппарате турбинной ступени может иметь место докритическое течение рабочего тела, которое после удаления рабочих лопаток перейдет в сверхкритическое.

Подобные явления могут быть в ступенях современных паровых турбин, работающих в области околоскритических режимов течения рабочего тела, тогда:

$$G'_a = G \frac{p_0 - p_1}{2\sqrt{p_1(p_0 - p_1)} - p_2}. \quad (10)$$

Получив расход рабочего тела в турбоагрегате ступени рассчитаем его мощность. Она снизится за счет исключения из производства полезной работы аварийной ступени, уменьшения расхода пара и КПД турбины.

Предельную величину мощности, развиваемую аварийным турбоагрегатом, получим по формуле:

$$N_{ea} = (N_e - N_{ea}^{ст}) \cdot \frac{G'_a}{G} \cdot \frac{\eta_{ea}}{\eta_e}. \quad (11)$$

В первом приближении считаем, что $\frac{\eta_{ea}}{\eta_e} = 1$, тогда:

$$N'_{ea} = (N_e - N_{ea}^{ст}) \cdot \frac{G'_a}{G}. \quad (12)$$

Определив мощность турбоагрегата N'_{ea} на аварийном режиме, подсчитаем относительную частоту вращения его вала:

$$\frac{n'_a}{n} = \sqrt[3]{\frac{N'_{ea}}{N_e}}. \quad (13)$$

По найденной величине $\frac{n'_a}{n}$ с помощью известных кривых, отражающих зависимость КПД от частоты вращения и мощности, определяем приближенно значения $\frac{\eta_{ea}}{\eta_e}$, которое позволит уточнить величину мощности N_{ea} . Затем по уточненному значению частоты вращения n_a можно определить частоту вращения вала генератора.

Итак, получаем следующие выводы:

1. Использование турбоагрегата при удалении рабочих лопаток ограничивает нагрузка на диафрагму аварийной ступени.
2. Аварийный турбоагрегат можно использовать, но в целях соблюдения условия прочности диафрагмы ступени, у которой удалены рабочие лопатки необходимо уменьшить расход рабочего тела.
3. По формулам (4, 5) и (12, 13) можно оценить мощность и частоту вращения вала аварийного турбоагрегата.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 3618-2016 Турбины паровые стационарные для привода турбогенераторов. Типы и основные параметры. М.: Стандартинформ, 2017.
2. ГОСТ 4.424-86 Система показателей качества продукции. Турбины паровые стационарные. Номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1986.
3. СО 153-34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. 4.4. Паротурбинные установки. Приказ Минэнерго РФ от 19.06.2003 № 229.
4. Прочность элементов паровых турбин. под ред. Л.А. Шубенко-Шубина, М.: Гос. научно-техн. издат. машиностроительной литературы, 1962. 565 с.
5. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов/ А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухий; под ред. А.Г. Костюка.-М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 557 с.
6. Злобин В.Г. Паротурбинные установки тепловых и атомных электростанций: учебное пособие./; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2020. Часть 2 – 95 с.

© Л.О. Зверев, В.Г. Злобин, 2020

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПГУ

канд. техн. наук., доцент **Злобин Владимир Германович**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В процессе эксплуатации важнейшие показатели работы ПГУ существенно зависят от параметров наружного воздуха. Эти зависимости отличаются для основных типов ПГУ и приводят к использованию их на режимах пониженной мощности. В данной статье обсуждаются способы повышения экономичности ПГУ за счет повышения температуры воздуха на входе в компрессор ГТУ. Установлено, что подогрев воздуха теплотой циркуляционной воды от конденсатора термодинамически более выгоден.

Ключевые слова. Парогазовая установка, газовая турбина, мощность, КПД, паропроизводительность, коэффициент избытка воздуха, котел-утилизатор.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OUTDOOR AIR PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF A COMBINED-CYCLE STEAM-GAS PLANT

Zlobin Vladimir Germanovich

Abstract. During operation, the most important performance indicators of a combined-cycle steam-gas plant (CCGT) depend significantly on the parameters of the outdoor air. These dependencies differ for the main types of CCGT and lead to their use in low-power modes. This article discusses ways to increase the efficiency of CCGT by increasing the air temperature at the inlet to the compressor of a gas turbine engine. It is found that heating the air with the heat of circulating water from the condenser is thermodynamically more profitable.

Keywords. Steam and gas plant, gas turbine, power, efficiency, steam capacity, excess air coefficient, waste heat boiler.

В последние годы много выпускных квалификационных работ кафедры ТСУ и ТД ВШТЭ посвящены вопросу, как влияют параметры наружного воздуха на характеристики ПГУ различных типов. В работах предлагаются конструктивные и технологические изменения ПГУ, связанные с охлаждением воздуха на входе в компрессор ГТД, с впрыском пара на входе в камеру сгорания, с повышением начальной температуры газов перед турбиной и т.п. Однако не во всех работах выполнена правильная оценка изменения параметров

работы ПГУ при изменении параметров наружного воздуха. Эта статья направлена на уточнение анализа влияния параметров наружного воздуха на характеристики установок ПГУ различного типа.

К основным типам ПГУ, получившим наибольшее развитие в зарубежной и отечественной теплоэнергетике, относятся:

- парогазовые установки со сбросом газов в котел (ПГУС или ПГУ с НПГ);
- парогазовые установки с котлом-утилизатором (ПГУКУ или ПГУ с КУ): без дополнительного и с дополнительным сжиганием топлива;
- парогазовые установки с высоконапорным парогенератором (ПГУВ или ПГУ с ВПГ).

Важнейшие показатели работы ПГУ, такие как мощность, КПД, производительность компрессора, степень повышения давления воздуха в нем, температура газов на выходе из газовой турбины (ГТ), паропроизводительность и коэффициент избытка воздуха в уходящих газах котла существенно зависят от параметров наружного воздуха. Так, при повышении температуры наружного воздуха от 248 К до 308 К в случае сохранения постоянной начальной температуры газа мощность однокомпрессорной двухвальной ГТУ может уменьшиться более чем в два раза [1].

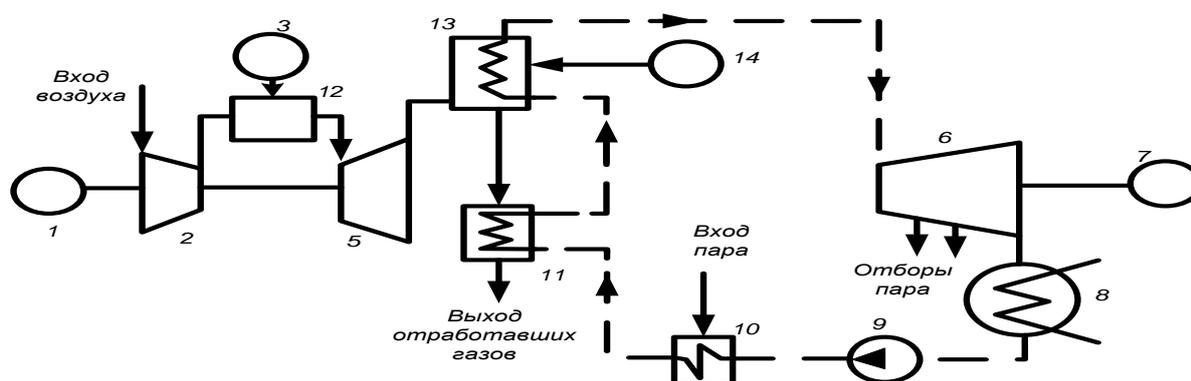


Рисунок 1. ПГУ с НПГ (сбросного типа):

1, 7 – электрогенераторы; 2 – компрессор; 3 – подвод топлива в ГТУ; 5 – силовая турбина ГТУ; 6 – паровая турбина (ПТ); 8 – конденсатор; 9 – питательный насос; 10, 11 – подогреватели питательной воды; 12 – камера горения ГТУ; 13 – парогенератор низкого давления (паровой котел); 14 – подвод топлива в котел

Подобное значительное изменение характеристик из-за колебаний параметров наружного воздуха присуще всем типам газотурбинных и парогазовых установок и является их существенным недостатком. Поэтому для комбинированных установок такие «самопроизвольные» отклонения их основных параметров делают весьма актуальным анализ работы при различных климатических условиях, тем более, что несмотря на общность качественной

картины этого влияния, количественные соотношения могут существенным образом отличаться для различных типов ПГУ.

Качественная картина влияния параметров наружного воздуха на характеристики сбросной ПГУ, представленной на рис.1, представляется следующим образом. Такие важные показатели работы парогазовой установки, как мощность, КПД, коэффициент избытка воздуха меняются весьма значительно (хотя и менее резко, чем для собственно ГТУ), поскольку паропроизводительность котла, расход пара через турбину и ее мощность в широком диапазоне изменения температуры наружного воздуха остаются почти постоянными, тогда как производительность компрессора ГТУ существенно различна.

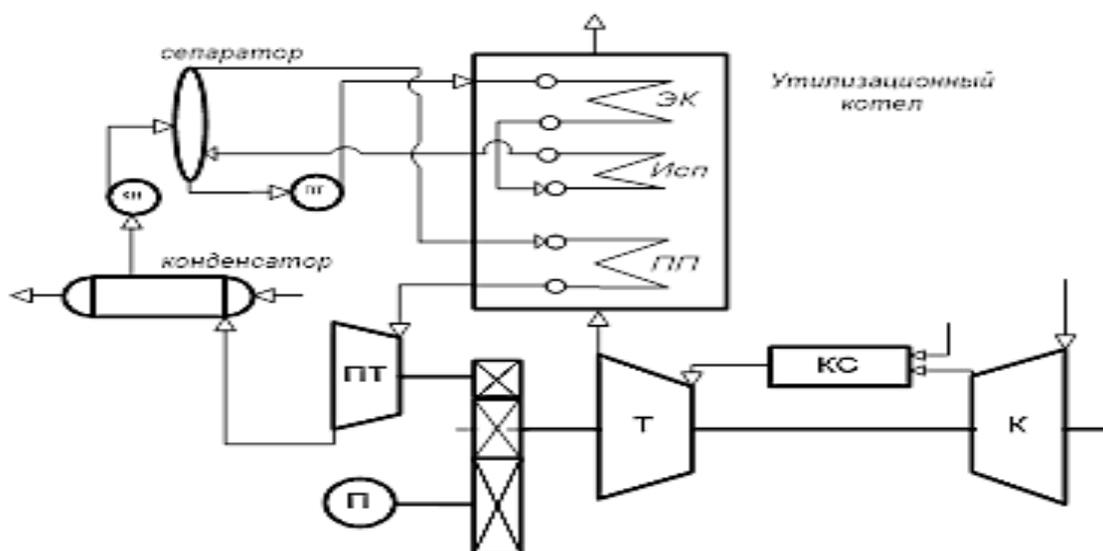


Рисунок 2. Принципиальная схема ПГУ с котлом утилизатором

Отсюда следует, что заданному расходу пара котлом при расчетном избытке воздуха ($\alpha_{в.р}$) производительность компрессора соответствует только при одном значении температуры наружного воздуха $T_{н.в.р}$ (расчетном). При других значениях $T_{н.в}$ установка работает с коэффициентом избытка воздуха, значительно отличающимся от расчетного, что приводит к снижению экономичности (а, при определенных условиях, и к уменьшению надежности работы оборудования). В таком случае мощность ПГУ определяется главным образом изменением мощности её газотурбинной части. Очевидно, что зависимость основных параметров наружного воздуха в значительной мере связаны с соотношением мощностей газо- и паротурбинных элементов ПГУ: чем больше доля газотурбинной части в общей мощности, тем сильнее влияние параметров наружного воздуха на характеристики установки в целом; при этом качественное влияние $T_{н.в}$, как отмечено выше, может быть различным для различных типов ПГУ.

Наиболее сильно изменяются показатели ПГУ с котлом утилизатором (рис. 2), как имеющие наибольшую долю мощности газотурбинной части.

Более слабо параметры наружного воздуха влияют на характеристики парогазовых установок со сбросом газов в котел, что объясняется меньшей долей ГТУ и возможностью добавки воздуха к выхлопным газам турбины с целью обеспечения работы ПТУ с постоянной мощностью.

Известно [2], что повышение производительности компрессора ГТУ при понижении температуры наружного воздуха возможно до определенного значения $T_{н.в}$, которое является неодинаковым для различных установок и определяется в значительной степени прочностными характеристиками турбины и компрессора, а также ограничениями по мощности электрогенератора. При температуре наружного воздуха ниже некоторого предельного уровня (например, для газотурбинной установки ГТЭ-150 в составе ПГУ-800 $T_{н.в.пр} < 256 \text{ К}$) ГТУ может работать по программе $N_э = N_{э.пр} = const$.

При $T_{н.в} < 258 \text{ К}$ эти газовые турбины работают с постоянной температурой газов на входе ($T_3 = const$), а котлы утилизаторы (КУ) – с постоянной (номинальной) паропроизводительностью. Мощности ГТУ и ПГУ быстро возрастают при снижении температуры наружного воздуха, а удельный расход теплоты несколько уменьшается.

При низкой наружной температуре $T_{н.в.пр}$, различной для разных модификаций ГТУ и режимов их работы, рост мощности ГТУ ограничивается $N_{э.пр}$ (для данной схемы ПГУ-800 $N_{э.пр} = 215 \text{ МВт}$), после чего температура газов начинает снижаться, а удельный расход топлива $b_{э.пгу}$ – возрастать (рис.3). Ограничение расхода газов при этой температуре замедляет повышение мощности ГТУ и удельного расхода теплоты.

При $T_{н.в} > 288 \text{ К}$ существенно повышается по сравнению с расчетной температура выхлопных газов ГТУ T_4 , что приводит к необходимости усложнения конструкции горелочных устройств и котла в целом. Для избежания этого в указанных режимах ($T_{н.в} > 288 \text{ К}$) температура газов перед котлом $T_{1пт}$ поддерживается постоянной (рис.3), а паропроизводительность котла G_0 снижается. Постоянной при $T_{н.в} \leq T_{н.в.пр}$ остается и температура газов, уходящих из КУ ($T_{ух.г}$). Падение мощности ПГУ с ростом температуры наружного воздуха ускоряется, а увеличение удельного расхода топлива замедляется. В итоге мощность, например, ПГУ-800 изменяется от $530 \div 590 \text{ МВт}$ при $T_{н.в} = 313 \text{ К}$ до $800 \div 850 \text{ МВт}$ при $T_{н.в} = 233 \text{ К}$. Изменения тепловой экономичности ПТУ при этом значительно меньше: они не превышают $5 \div 6 \text{ г у.т.}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. Минимум $b_{э.пгу}$ соответствует такой наружной $T_{н.в}$, при которой предельная мощность ГТУ достигается для $T_{н.в}$.

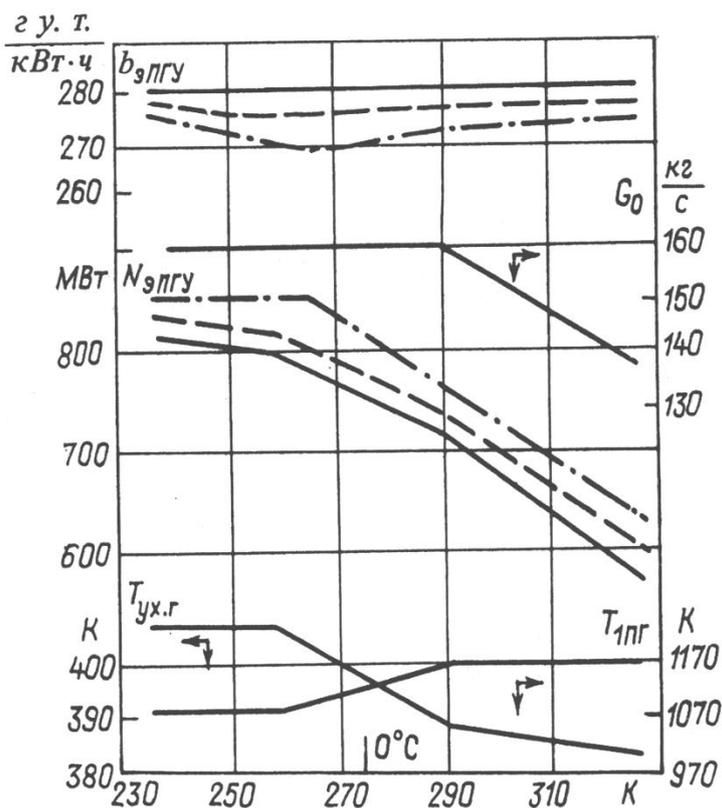


Рисунок 3. Показатели ПГУ-800 в зависимости от температуры наружного воздуха $T_{н.в.}$.
 ---- $T_3 = 1223$ К; - - - $T_3 = 1303$ К;
 - . . . - $T_3 = 1373$ К

Представленные выше изменения показателей ПГУ от температуры наружного воздуха показывают, что в зоне низкой температуры характерны режимы с ограниченной мощностью ГТУ. Как правило, следствием этого является работа газовой турбины со сниженной начальной температурой газов, что приводит к уменьшению КПД ГТУ, и ПГУ в целом. Наиболее резко падает КПД ПГУ чисто утилизационного типа или с небольшим дожиганием топлива за ГТУ в КУ (например, ПГУ с НПГ при большой доле газотурбинной мощности) из-за снижения температуры газов на выходе из газовой турбины. При этом либо уменьшается мощность ПТ, либо возрастает количество дожигаемого перед котлом топлива при необходимости сохранения $N_{п.т} = const$. В теплофикационных ПГУ бинарного типа дополнительно будет снижаться тепловая нагрузка [3].

Одним из способов повышения экономичности ПГУ для рассматриваемых условий является повышение температуры воздуха на входе в компрессор ГТУ. Оценка изменений показателей ПГУ при использовании предварительного подогрева воздуха приведена в работе [4].

Были рассмотрены три основных варианта подогрева воздуха, которые могут быть реализованы в схеме ПГУ подачей в подогреватель воздуха теплоносителя из различных участков схемы путем переключения задвижек:

- подогрев циркуляционной водой, при котором подогреватель воздуха питается конденсатом, поступающим параллельно охлаждающим элементам градирни;

- подогрев горячей водой после газовой подогревателя низкого давления (ГВП НД) со сбросом охлажденной воды на вход ГВП НД;

- то же со сбросом охлажденной воды в конденсатор.

Установлено, что подогрев воздуха теплотой циркуляционной воды от конденсатора термодинамически наиболее выгоден. Он позволяет при нагреве на 55° повысить КПД ПГУ на 6 % (абсолютных) или 16 % (относительных). Недостаток способа – пониженный потенциал циркуляционной воды ($308 \div 313\text{K}$), что приводит к увеличению поверхности нагрева воздухоподогревателя, а значит к увеличению его габаритов. Принудительное повышение давления в конденсаторе, например, отключением секций градирни, резко снижает общую экономичность ПГУ.

Важным выводом работы [4] представляется тот факт, что определяющим в существенном повышении экономичности ПГУ является уровень температуры подогретого воздуха, а тип теплоносителя и способ организации подогрева – вторичны. Это несомненно надо учитывать анализируя тепловые схемы ПГУ. Для схемы ПГУ с КУ двух давлений целесообразно воздухоподогреватель конструктивно совмещать с комплексным воздухоочистительным устройством компрессора, а в качестве греющей среды использовать горячую воду из хвостовых поверхностей нагрева котла.

Надеюсь, что выполненный анализ влияния наружного воздуха на характеристики основных типов ПГУ позволит повысить качество написания ВКР по данной тематике.

Список использованной литературы

1. Казаров С.А. и др. Тепловые схемы ТЭС и АЭС. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1995. – 392 с.
2. Безлепкин В.П. Парогазовые установки со сбросом газов в котел. – Л.: Машиностроение, 1984. – 232 с.
3. Злобин В.Г. Паротурбинные установки тепловых и атомных электростанций. Часть 2. Режимы работы: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2020. – 95 с.
4. О предварительном подогреве циклового воздуха ПГУ в режимах с ограниченной мощностью газовой ступени / Т.Н. Комиссарчик и др.// Теплоэнергетика. – 1992. - № 9. - С.32-36.

© В.Г. Злобин, 2020

ВОЗДУХОЗАБОРНАЯ СИСТЕМА ГПА 16М-06 "УРАЛ"

студент гр. 542 **Ильина Яна Алексеевна**,

Науч. руководитель: канд. техн. наук **Ковалев Дмитрий Александрович**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская федерация

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена работа систем автоматизации воздухозаборной системы газоперекачивающего агрегата.

Ключевые слова. Воздухозаборная система, газоперекачивающий агрегат, автоматизация воздухозаборной системы, цикловой воздух.

AIRINTAKING SYSTEM OF GAS-DISTRIBUTING UNIT 16M-06 URAL

Ilina Yana Alexeevna

Kovalev Dmirtii Alexandrovich

Abstract. This article describes the operation of the air intake system and its effect on the operation of the gas- distributing unit.

Keywords. Air intake system, gas transfer unit, cycle air.

Воздухозаборная система предназначена для очистки циклового воздуха агрегата от капельной влаги, снега, эрозионно-опасных для лопаточного аппарата компрессора газотурбинной установки (ГТУ) пылевых частиц, вызывающих загрязнение проточной части компрессора, снижение шума от работы ГТУ и формирование воздушного потока на входе в ГТУ.

Схема и основные параметры системы воздухозаборной приведены на рисунке 1 и в таблице 1 соответственно.

Система воздухозаборная изготавливается в климатическом исполнении «умеренный и холодный климат» категории размещения 1 [1], может эксплуатироваться при температуре наружного воздуха от минус 60 °С до плюс 45 °С с распределением температур [2] и обеспечивает заданные технические характеристики при эксплуатации в зонах с относительной влажностью до 100 %, максимальной кратковременной запыленностью атмосферного воздуха до 200 мг/м³ и среднегодовой концентрации пылевых частиц в атмосферном воздухе не более 3 мг/м³.

Таблица 1. Основные параметры системы воздухозаборной

Наименование параметра	Значение
Номинальный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям (температура окружающей среды плюс 20 °С и давление 101,3 кПа, тыс.м ³ /ч (кг/с)	178,5(60,5)
Гидравлическое сопротивление чистого образца, Па, не более	
- компакт-касеты в том числе:	241
- влагоотделитель	75
- предфильтр	82
- фильтр тонкой очистки	84
Габаритные размеры компакт-касет, мм	592x592x400
Гидравлическое сопротивление, при котором происходит открытие байпасного клапана, Па	980
Ресурс работы сменных элементов, час, не менее:	
- влагоотделитель	10000
- предфильтр	25000
- фильтр тонкой очистки	50000
Масса, кг, не более	41500

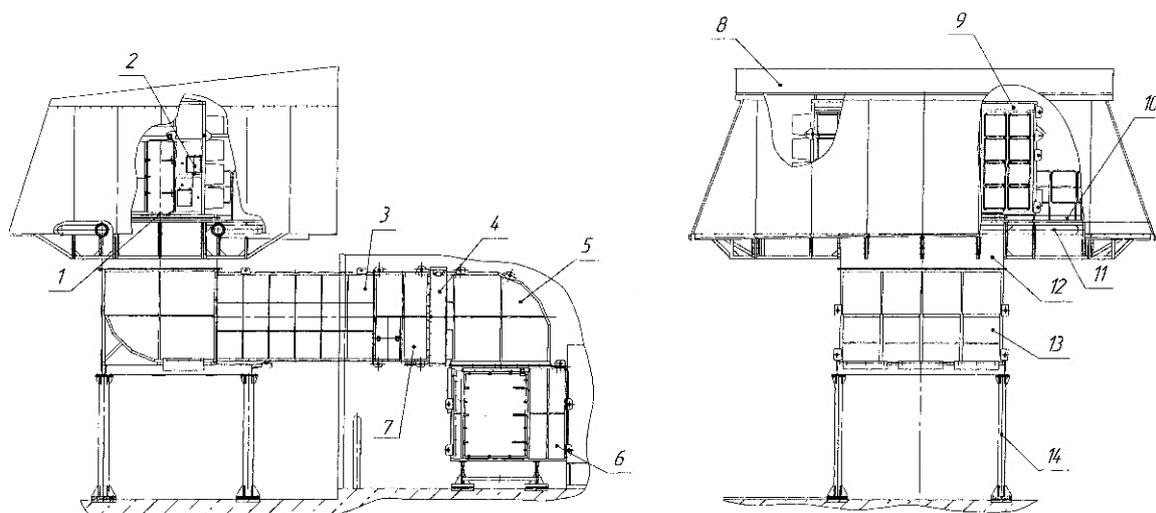


Рисунок 1. Система воздухозаборная

Конструктивно система воздухозаборная состоит из:

- клапана байпасного (поз. 1);
- корпуса (поз. 9) с установленным КСФ фирмы «EMW» и измерительной коробкой (поз. 2)
- воздуховода (поз. 3);
- компенсатора (поз. 4);
- колена (поз.5);

- камеры входной (поз. 6), с установленной в плоскости внутренней стенки защитной сетки;

- проставки с теплообменником (поз. 7);

- осадкозадерживающих козырьков (поз. 8);

- площадок обслуживания (поз. 10);

- воздухопроводов СПЦВ (поз. 11);

- шумоглушителя (поз. 12);

- камеры поворотной (поз. 13);

- опоры (поз. 14);

Все составные части системы воздухозаборной собраны между собой болтовыми соединениями через резиновые уплотнительные прокладки.

В качестве фильтрующего элемента в корпусе ВОУ используется КСФ фирмы «EMW» -64 шт.

Обозначение изделия КСФ – VKKWRU400-4-MG-1-PF-MPK 48/22, где:

- VKKW – обозначение КСФ, поставленных ООО «EMW Трейд фильтр»

- RU – обозначение систем, выполняемых для России (с отверстиями для отвода воды в корпусе грубой очистки);

- 400 – длина корпуса грубой очистки, мм;

- 4 – число стержней фиксации грубой очистки;

- MG – индекс, указывающий на включение в объем поставки двух металлических решеток.

- 1 – обозначение типа влагоотделителя (1 – Verfiltan – V4);

- PF – индекс, указывающий на включение в комплект поставки предфильтра;

- MPK 48/22 – Тип фильтра из элементов плиссированного материала, где:

- 1) 4 – число V – образных отделений;

- 2) 8 – обозначение класса фильтрации используемого фильтра.

- 3) 22 – площадь фильтрации.

Комбинированная система фильтрации (КСФ) состоит из двух ступеней фильтрации. Установка ступеней очистки в разделительных корпусах позволяет производить замену предфильтра и влагоотделителя на работающем агрегате.

Корпус воздухоочистительного устройства (ВОУ) представляет собой сварной каркас, выполненный из труб квадратного профиля, в три стены которого вварены решетки из гнутого профиля для установки КСФ. Свободные проемы каркаса заварены тонким стальным листом. На четвертой стене корпуса расположена дверь, предназначенная для проведения осмотров внутреннего пространства корпуса.

В крыше корпуса установлены два байпасных клапана (поз.1), обеспечивающих поступление неочищенного воздуха к ГТУ в случае засорения КСФ. Клапана автоматически открываются при достижении внутри тракта всаса гидравлического сопротивления 980 Па. Требуемый перепад давления на клапанах, соответствующий моменту его открытия, обеспечивается установкой

груза на предприятии-изготовителе системы воздухозаборной. Проходное сечение клапанов закрыто защитной сеткой для предотвращения попадания крупных предметов в зону всасывания при открытии.

На клапане байпасном и на двери корпуса ВОУ установлены извещатели охранные магнитно-контактные, сигнализирующие об их положении (открыто-закрыто).

Контроль за состоянием КСФ обеспечивает датчик перепада давления «Метран», установленный в коробке измерений (поз.2), расположенной снаружи корпуса рядом с дверью. Контроль является обязательным, т. е. КСФ не подлежит регенерации и при достижении на них сопротивления, при котором происходит открытие клапана байпасного, подлежит замене.

На шумоглушителе всоса (поз.12) на проушинах при помощи болтовых соединений установлены кронштейны под осадкозадерживающие козырьки (поз.8) и площадки обслуживания (поз.10), на кронштейнах располагаются воздухопроводы СПЦВ (поз.11).

- осадкозадерживающие козырьки предназначены для предотвращения попадания осадков в зоны всасывания компакт-касет. Козырьки крепятся к корпусу и между собой болтовыми соединениями.

- площадки обслуживания предназначены для удобства проведения работ по обслуживанию и замене КСФ и установлены под козырьками.

- воздухопроводы СПЦВ предназначены для подвода горячего воздуха в зоны всасывания КСФ для исключения их обледенения. Воздуховоды связаны между собой общими подводным трубопроводом.

Шумоглушитель предназначен для снижения звука при работе ГПА. Каркас шумоглушителя представляет собой сварную конструкцию, выполненную из труб квадратного профиля. В проемы каркаса шумоглушителя установлены звукопоглощающие панели, состоящие из наружного стального листа и внутреннего перфорированного листа из нержавеющей стали, объем между которыми заполнен звукопоглощающим материалом. В проходном сечении шумоглушителя всоса расположены звукопоглощающие кассеты, образующие шумоглушитель пластинчато-щелевого типа. В качестве шумопоглощающего материала используется стекловата и супертонкое базальтовое волокно.

Для формирования потока циклового воздуха во входном тракте предназначены поворотная камера (поз.13), воздухопровод (поз.3), компенсатор (поз.4) и колена (поз.5). Каркасы поворотной камеры, воздухопровода и колена представляют собой сварную конструкцию, выполненную из труб квадратного профиля. Боковые, наружные и внутренние стенки выполнены из стальных листов, объем между которыми заполнен звукопоглощающим материалом.

Компенсатор предназначен для обеспечения собираемости входного тракта. Компенсирующим элементом является эластичная манжета.

Для формирования воздушного потока на входе в ГТУ и для обеспечения доступа к лемнискате двигателя при ТО предназначена камера входная (поз.6).

Камера входная представляет собой металлическую коробчатую конструкцию, сварной каркас которой выполнен из набора вертикальных и поперечных балок.

Боковые стены представляют собой слоистую конструкцию. Наружная сторона выполнена из гладкой листовой стали, а внутренняя – из перфорированной листовой нержавеющей стали. Внутри укладывается теплоизоляционный материал. Металлические листы с каркасом связаны сварным соединением. Пол камеры входной выполнен из листовой стали [3].

В центральной проемке боковой стенки камеры входной установлена дверь, на передней стенке имеется смотровое окно, в котором установлен осветительный прибор для осмотра входного устройства ГТУ при работе ГПА.

Камера входная установлена на регулирующие опоры и стыкуется с кожухом ГТУ с помощью болтового соединения через уплотнительную прокладку. Двери камеры входной установлены на шарнирах и герметизируются при помощи резинового профиля и болтов.

На торцевой стенке кожуха ГТУ предусмотрено отверстие для размещения лемнискаты ГТУ с герметизацией диафрагмы в плоскости торцевой стенки кожуха. На торцевой стенке кожуха ГТУ непосредственно перед лемнискатой двигателя через болтовое соединение и резиновую прокладку крепится сетка защитная, которая предназначена для предотвращения попадания посторонних предметов, случайно оставшихся при ТО, или проведении других работ внутри камеры входной, в лемнискату ГТУ [4].

Автоматизация данной системы позволяет обеспечить экономичность использования оборудования, оптимальный режим работы ГПА, поддерживать нужный воздухообмен и достигать оптимальных показателей работы.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия
2. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
3. Газоперекачивающий агрегат [Электронный ресурс] URL: <https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/> (дата обращения 20.11.2020)
4. Система воздухозабора [Электронный ресурс] URL: <https://chem21.info/info/1826705/> (дата обращения 20.11.2020)

© Я.А. Ильина, Д.А. Ковалев, 2020

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

студент гр. 28 – 01 **Закиров Зиннур Альбертович**,
Науч. руководитель: **Графова Ольга Вадимовна**
ГАПОУ «Казанский энергетический колледж»
Республики Татарстан, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрена проблема в виде глобальных вопросов. Решениями этих проблем будут четыре инновационные технологии. Их достоинства и недостатки в применении. Данные технологии позволят сохранить многие природные ресурсы, повысить производительность. Нижеперечисленные технологии помогут облегчить работу персонала и дальнейшее развитие в энергетике.

Ключевые слова. Инновация, многофункциональность, эффективность, энергетические системы, энергетические ресурсы, экологичность, популярность, компактность.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE ENERGY SECTOR

Zakirov Zinnur Albertovich,
Grafova Olga Vadimovna

Abstract. In my work, I will present the problem in the form of global questions. The solutions to these problems will be four innovative technologies. Their advantages and disadvantages in use. These technologies will save many natural resources and increase productivity. The technologies listed below will help to facilitate the work of personnel and further development in the energy sector.

Keywords. Innovation, multifunctional, efficiency, energy systems, energy resources, environmental friendliness, popularity, compactness.

Введение: На сегодняшний день одной из самых основных проблем в мире является загрязнение окружающей среды, атмосферы, в результате химического, теплового, механического воздействия человека и промышленности в целом. В связи с ростом потребности энергоносителей и возможным ростом цен на нефтепродукты, человечество ищет ответы на глобальные вопросы:

- что делать в связи с изменением климата и глобальным потеплением?;
- где найти альтернативные энергоресурсы, которые были бы дешевле и практичнее?;
- как сохранить и обеспечить устойчивое развитие при наличии рисков с изменением климата и истощением энергоресурсов?;

– как обеспечить энергетическую и глобальную безопасность?

Ответами на вышеперечисленные вопросы является использование инновационных технологий.

Основными инновационными технологиями в энергетике являются:

- осмотические электростанции;
- светодиоды;
- реакция холодного синтеза;
- тепловые насосы.

Рассмотрим каждую инновационную технологию отдельно.

Осмотические электростанции

Принцип действия осмотической электростанции основан на смешивании солёной и пресной воды. Смешивание проходит в резервуаре, который разделен на два отсека полупроницаемой мембраной. Полупроницаемой называют мембрану, которая имеет достаточно высокую проницаемость для растворителя (в качестве которого выступает вода или молекулы воды). Подвижность же растворённых веществ (т.е. соли) в мембране относительно мала. В один отсек подается морская вода, а в другой пресная. За счёт разной концентрации солей в морской и пресной воде, молекулы воды (раствор) из пресного отсека, стремясь выровнять концентрацию соли, переходят через мембрану в отсек с морской водой. В результате перетекания молекул воды (раствора) через полупроницаемую мембрану в отсеке с морской водой формируется избыточное давление, которое в свою очередь используется для вращения гидротурбины, вырабатывающей электроэнергию. Это осмотическое давление возникает из-за того, что система пытается выровнять концентрацию раствора (молекул воды) в обоих отсеках (принцип Ле Шателье), разделённых мембраной, и описывается вторым законом термодинамики. Оно равно избыточному внешнему давлению, которое следует приложить со стороны раствора (молекул воды), чтобы прекратить процесс, то есть создать условия осмотического равновесия.

Преимущества

- В отличие от ветра и солнца, создается непрерывный возобновляемый источник энергии, с незначительными сезонными колебаниями.
- Отсутствует парниковый эффект.

Недостатки

- У текущей мембраны показатель составляет 1 Вт/м². Для рентабельности производства необходимо 5 Вт/м². В мире есть несколько компаний, производящих подобные мембраны (General Electric, Dow Chemical, Hydranautics, Toray Industries), но устройства для осмотической станции должны быть гораздо тоньше производимых сейчас.

- Осмотическая электростанция может использоваться только в устьях рек, где пресная вода вливается в солёную.

Тепловые насосы

Принцип действия теплового насоса основан на аккумулировании природного низкопотенциального тепла из естественных источников (земля, водоем или воздух), окружающих строение, и передаче сконцентрированной энергии системе отопления здания. Тепловая энергия может также передаваться системе водоснабжения (ГВС), оборудованной в здании. Используя насос, вкапываем «морозильную камеру» в землю либо погружаем в озеро в непосредственной близости от объекта. Важно то, что вне зависимости от температуры окружающей среды морозилка не покрывается льдом. Это позволяет сохранять высокий уровень эффективности сбора тепловой энергии. Это позволяет агрегату производить отбор тепла у источников различного типа – почвы, озера, реки, воздуха, канализационных стоков и т.д.

Достоинства и недостатки

Преимуществом тепловых насосов является то, что они не требуют тщательного обслуживания. Кроме того, данные изделия экологичны – не создается никаких паров, загрязняющих окружающую среду, практически не выделяется углекислый газ.

Тепловой насос легко устанавливается практически повсюду. Эти устройства – наиболее безопасный способ нагреть объект. Их использование не способно привести к взрывам. Данные приборы многофункциональны – это единственное решение, которое может нагреваться зимой и охлаждаться летом. Тепловой насос может работать внутри или снаружи любого подсобного помещения. Они могут верой и правдой служить целых 30 лет! К тому же, приборы, берущие энергию из воздуха, и горизонтальные наземные коллекторы не требуют специальных разрешений на строительство.

Основным недостатком теплового насоса является его довольно высокая стоимость приобретения и установки. Цена обустройства теплового насоса почти в два раза выше, чем печи. Другим минусом является зависимость от электричества. В случае сбоя питания, процесс накачки станет невозможным. Отличным выходом из такой ситуации станет покупка электрогенератора. Еще одним недостатком можно считать, то, что приборы, берущие энергию из грунтовых вод, требуют специальных разрешений на строительство. Плюсов у тепловых насосов намного больше, поэтому они, наверно, сегодня и пользуются такой большой популярностью.

Светодиоды

Дневной свет – самый комфортный и естественный для человеческого зрения. Для имитации солнечного света подходит свет с желтым оттенком.

После завершающего этапа производства каждый светодиод тестируется по нескольким параметрам, в частности, цвету и яркости потока. По окончании тестирования они распределяются по сериям и проходят на упаковочную линию. Данный процесс полностью автоматизирован, оператору лишь надо загрузить светодиоды в бункер аппарата. На выходе получают пластиковые ленты, на

которых расположено несколько десятков диодов. Обязательный точный контроль на этапах производства элементов позволяет свести к минимуму выпуск некачественной продукции.

Преимущества и недостатки

Причиной растущей популярности является:

- Экономическая выгода — результат сочетания долговечности и экономии электроэнергии (срок службы 50 000 час).

- Высокая светоотдача.

- Возможность выбора цветовой температуры светодиода.

- Если стоит задача цветной декоративной подсветки, то RGB светодиоды — лучшее решение. Они дают возможность организовать подсветку любого из цветов спектра и менять ее с помощью специального контроллера по своему усмотрению.

- Можно регулировать яркость света.

- Компактность, гибкость и разнообразие модулей LED позволяют реализовывать множество дизайнерских светотехнических решений в самых разных интерьерах.

- Светодиод не нагревается, так как работает на низковольтном напряжении, что обеспечивает высокую степень пожарной безопасности. Благодаря этому свойству LED все чаще используются во встраиваемых в пол светильниках, потому что риск получить ожог, наступив на него босой ногой, сводится к нулю.

- LED устойчивы к механическим повреждениям из-за отсутствия у них хрупких элементов, таких как стеклянная колба или нить накаливания.

- Отсутствие фосфора, ртути и других токсичных элементов позволяет говорить об экологичности и безопасности этого источника света.

Недостатки светодиодов

- Цена. В связи с вышперечисленным, возникает разумный вопрос о минусах и недостатках LED: есть ли подводные камни? На этот вопрос специалисты по освещению отвечают хором: «Цена».

Быстрая окупаемость за счет экономии электроэнергии и срока службы светодиодов делает этот минус уже не таким значительным. Возрастает конкуренция среди компаний, которые производят светодиодную продукцию, и это приводит к постепенному снижению стоимости.

С помощью светодиодов можно подсветить карниз штор, полки или любую иную конструкцию

Кроме высокой цены, стоит вопрос о том, куда спрятать источник питания, чтобы было незаметно для глаз, и доступно в случае, если потребуется замена. Многие светотехнические фабрики встраивают блоки питания в корпус светильника, что значительно упрощает подключение и установку.

Недостатком является то, что светодиод со временем тускнеет и теряет яркость. Скорость деградации светодиода напрямую зависит от качества

теплоотвода. Поэтому, при покупке светодиодной продукции, стоит обращать внимание не только на цену, но и на производителя: все зависит от конструкции светильника и добросовестности производителей.

Однако уже сегодня некоторые светотехнические фабрики заявляют о том, что на случай выхода из строя светодиода у них существуют элементы для замены.

Реакция холодного синтеза

Холодный синтез происходит при температурах сотни или тысяч градусов. Холодный синтез не имеет побочных радиоактивных свойств, а также экономически эффективен.

Активная зона реактора с объемом 50 кубических сантиметров (батарейка) может дать безопасный выход 10 киловатт. Расход за полгода никеля составит несколько граммов, а водорода один грамм в день. Один грамм никеля может производить столько же энергии как баррель нефти, что приведет возможно к обвалу цен на нефть и все энергоресурсы. Миниэнергетические системы на основе данной технологии позволят обеспечивать теплом, электроэнергией без обслуживания по полгода каждый дом и не зависеть от поставляющих компаний, не говоря уже о полном отсутствии загрязнения окружающей среды.

Заключение: Проанализировав выше указанные технологии, приходим к выводу, что использование данных инновационных технологий в современном мире намного эффективнее и выгоднее по сравнению с нынешними. Они менее затратные и более домовечные удобные в использовании. На данный момент эти оборудования более популярные и применимы. Инновационные технологии широко используются во многих странах мира. В связи с истощением природных ресурсов (нефть, газ) многие крупные компании мира стараются заменить их данными инновационными технологиями.

Список использованной литературы

1. Дзино А.А., Малинина О.С. Тепловые насосы: учеб.-метод. пособие.-СПб.: Университет ИТМО, 2016.-43с.
2. А.Я. Лейви, А.А. Шульгинов. Светодиоды: Учебное пособие- Основы светотехники , 2016. Стр.41
3. Интернет-ресурс <https://oko-planet.su/science/sciencenews/375285-osmoticheskaya-elektrostanciya-alternativnaya-energiya-iz-morskoy-vody.html>

© З.А. Закиров, О.В. Графова, 2020

ОПТИМИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ MOODLE

студент гр. 7-539 **Колосова Марина Владимировна**,
канд. техн. наук. **Ремизова Ирина Викторовна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Повышением качества образовательного продукта в процессе обучения служит оценка знаний студентов. Оптимизация оценки знаний возможна за счет использования системы управления обучением Moodle. Рассмотрены часто используемые интерактивные элементы курса в системе Moodle. Оценивается частота использования, удобство и наглядность элементов в рамках онлайн-курса.

Ключевые слова. Система управления обучением, образовательный продукт, Moodle, оценка знаний, дистанционное обучение, элемент курса.

OPTIMIZATION OF KNOWLEDGE ASSESSMENT IN THE MOODLE LEARNING MANAGEMENT SYSTEM

Kolosova Marina Vladimirovna,
Remizova Irina Viktorovna

Abstract. The assessment of students' knowledge serves to improve the quality of the educational product in the learning process. Optimization of knowledge assessment is possible through the use of the Moodle learning management system. Frequently used interactive elements of the course in the Moodle system are considered. The frequency of use, usability, and visibility of elements in the online course are evaluated.

Keywords. learning management system, educational product, Moodle, knowledge assessment, distance learning, course element.

Современное развитие общества диктует необходимость повышать качество готовой продукции. Уже более 20 лет назад Панкрухин А.П. рассматривал образование как «образовательный продукт», прослеживая связь с рынком образовательных услуг и интеллектуальных продуктов [1]. Так же было отмечено, что образовательный продукт – это лишь часть интеллектуального продукта, которая приспособлена к соответствующему сегменту рынка. Однако понятие образовательного продукта гораздо шире и включает в себя

промежуточный этап (подготовительные работы, начиная от выбора дисциплины и завершая организационными мерами по ее оказанию) и его результат, а также конечный продукт – выпускников образовательного учреждения.

Лукашенко М.А. отмечает следующие особенности образовательной услуги на современном этапе общественного развития: непосредственное взаимодействие между преподавателем и обучающимся, неосвязаемость до момента потребления, невозможность хранения, упаковки и транспортировки [2]. Появляется значение содержимого, характеризуемое словом «контент». «Контент» предполагает полный комплекс учебно-методического обеспечения, который позволит оптимизировать участие преподавателя в учебном процессе без вреда для качества. При этом сохраняется неотделимость услуги от преподавателя.

Выход новых образовательных стандартов, изменения форматов занятий, формы отчетности, количества часов, выделенных на изучение дисциплины, постоянно находятся в изменении и требуют практически мгновенной перестройки под нужный параметр. Этот процесс всегда динамичен и непрерывен. Разработано большое количество готовых решений для оптимизации обучения, среди которых можно выделить и систему управления обучением (СУО) Moodle. Эта система уже интегрирована в процесс обучения в Высшей школе технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (ВШТЭ СПбГУПТД). Особенно она стала востребована в последнее время, когда появился ряд ограничений по передвижению как студентов, так и преподавателей. При этом взаимодействие между ними стало возможным только на расстоянии, дистанционно. Главным преимуществом для студентов и преподавателей является возможность продолжать обучение как онлайн, так и в асинхронном режиме. В СУО Moodle существует ряд инструментов, позволяющих организовать коммуникацию как между студентами и преподавателями, так и между самими студентами.

Выделяется два типа элементов среди инструментов СУО Moodle: Статические (ресурсы курса) и интерактивные (элементы курса). К статическим ресурсам относятся «Гиперссылка», «Книга», «Пакет IMS содержимого», «Папка», «Пояснение», «Страница», «Файл». К интерактивным элементам относятся «EJSApp», «Анкета», «Анкетный опрос», «База данных», «Вики», «Внешний инструмент», «Глоссарий», «Задание», «Лекция», «Обратная связь», «Опрос», «Пакет SCORM», «Семинар», «Тест», «Форум», «Чат». Рассмотрим некоторые из интерактивных элементов подробнее.

На странице курса всегда размещены *информационные ресурсы и средства информационного взаимодействия*. К ним относится, например, элемент курса «Лекция», предоставляющий преподавателю возможности по загружаемому

контенту. Возможно загружать практические задания и тесты. Для контроля можно применять различные типы вопросов: множественный выбор, на соответствие и короткий ответ. Модуль «Глоссарий» позволяет создавать и поддерживать список определений, подобно словарю, или собирать и систематизировать ресурсы и информацию. «Глоссарий» прочно закрепился в используемом инструментарии среди создателей курсов. Такие элементы позволяют повысить эффективность и упростить доступ к получению новых знаний, а также дополнить знания студентов в случае возникновения затруднений при работе с другими элементами.

Присутствует *набор элементов, предназначенных для общения в рамках курса*. «Вики» позволяет участникам и создателям курсов добавлять и редактировать набор связанных веб-страниц. Применяется при создании групповых заметок к лекциям, учебникам, а также созданию книг. «Опрос» позволяет преподавателю задать один вопрос, при этом предлагается широкий выбор возможных ответов. Результаты возможно настраивать по видимости остальными участниками, датами публикации, анонимностью. «Форум» – удобный способ организации асинхронного общения между студентами и преподавателями в рамках одного курса. Такой способ позволяет всем участникам курса видеть задаваемые вопросы и ответы на них без участия. Применение модуля «Чат» позволяет производить общение в синхронном (онлайн) режиме. Создавать как одноразовую, так и заданную во времени сессию. «Чат» удобно использовать для быстрого решения возникших задач в диалоге преподаватель – студенты.

Важную роль играет *диагностика учебных достижений*. Учебный элемент «Задание» позволяет преподавателям добавлять задания, а также собирать работы студентов. Позволяет быстро просматривать работы, производить их оценивание, а также оставлять рецензии.

Интересным, емким и быстрым инструментом оценивания знаний студентов является элемент курса «Тест». Он наиболее универсален, но требует большой подготовительной работы. Прежде всего необходимостью создания банка вопросов. Для каждого вопроса или блока вопросов задается вес (результат или получаемый балл), и указываются дополнительные параметры (регистр, формат, форма и прочее). Задаются такие параметры как: ограничение по времени, количество вопросов, отображающихся на одной странице, случайность порядка вопросов, количество попыток, методы оценивания и прочее. Допускается добавление как случайных вопросов из определенной категории, так и конкретных вопросов из банка вопросов. Настройка просмотра теста производится в зависимости от назначения (промежуточный или итоговый контроль знаний). Оценивается уровень усвоения студентами учебного материала, или производится самоконтроль. При промежуточном контроле увеличение количества попыток, времени тестирования, и использовании

высшего балла при методе оценивания, значительно увеличивает активность тестируемых студентов. Использование наилучшего результата тестирования стимулирует к самообразованию студентов, повышает их мотивацию. Настройки просмотра результата тестирования помогают студентам увидеть допущенные ими ошибки, правильные варианты ответов, а значит лучше подготовиться к итоговому контролю знаний, а значит объективно оценить их уровень знаний. Обучающийся имеет возможность проанализировать результат своей деятельности. Для преподавателя же это облегчит разработку тестов, позволит организовать проверку знаний.

При редактировании и использовании элементов используется стандартный текстовый редактор. Он обладает интуитивно понятным интерфейсом и располагается в большинстве элементов и ресурсах курса. Поддерживает основные операции по форматированию текста, а также позволяет добавлять рисунки, гиперссылки и таблицы.

Система контролирует и отслеживает всю активность пользователей. Есть возможность посмотреть отчет об их участии в изучении курса.

Все вспомогательные элементы для организации общения между участниками процесса необходимы для подстройки учебного процесса под особенности режима обучаемых. В ВШТЭ достаточно уверенно используются элементы «Задание», «Тест» и «Лекция». В меньшей степени задействованы «Глоссарий», «Форум» и «Вики». С другой стороны, применение всех элементов при создании онлайн курса не целесообразно, так как перегружает контент.

Система Moodle отличается гибкой схемой наполнения. В нее можно загружать простые схемы вроде файлов и папок или более сложные: разделы Вики, глоссарии, задания, различные формы тестирования. На стадии использования это позволяет получить максимальную отдачу и обратную связь от пользователей создаваемого онлайн курса.

Список использованной литературы

1. Панкрухин, А.П. Маркетинг образовательных услуг в высшем и дополнительном образовании: учебное пособие / А. П. Панкрухин. - М.: Интерпракс, 1995. – 240 с.
2. Лукашенко, М.А. Образовательная услуга и ее особенности на современном этапе общественного развития// Экономика, статистика и информатика, 2014. - №2.

© М.В. Колосова, И.В. Ремизова, 2020

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

студент гр. в3743805/80401 **Крылова Юлия Игоревна**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Черникова Анна Владимировна**
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Применение имитационных моделей для решения задач построения систем оперативного и стратегического управления предприятиями является современной и актуальной задачей. На основании проведенных исследований получена имитационная модель подразделения медицинской организации. Используя разработанную модель, можно давать рекомендации для принятия обоснованных управленческих решений и повышать качество оказания медицинских услуг.

Ключевые слова. Имитационное моделирование, системы принятия управленческих решений, бизнес-процессы медицинской организации, цифровой двойник.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL TO SUPPORT MANAGEMENT DECISION-MAKING AT THE ENTERPRISE

Krylova Yulia Igorevna,
Chernikova Anna Vladimirovna

Abstract. The use of simulation models for solving the problems of building systems of operational and strategic management of enterprises is a modern and urgent task. Based on the research carried out, a simulation model of a subdivision of a medical organization was obtained. Using the developed model, you can make recommendations for making informed management decisions and improve the quality of medical services.

Keywords. Simulation modeling, management decision-making systems, business processes of a medical organization, digital twin.

Для повышения эффективности деятельности предприятий в настоящее время широко используют системы поддержки принятия решений на основе имитационных моделей [1, с. 54]. Имитационное моделирование дает возможность осуществлять компьютерные исследования в разных сферах

деятельности, с поддержкой которых возможно спрогнозировать действия настоящих объектов или действий, что дает возможность увеличить результативность принимаемых управленческих решений [2, с. 148]. С помощью построения имитационных моделей можно обеспечить выполнение следующих важных задач: исключение лишних и повторяющихся документов; использование сетевых и мобильных технологий максимальная унификация процессов и автоматизация части задач; проведение виртуального эксперимента, без проведения реальных организационных действий; выбор оптимального решения по критерию «качество-доступностьстоимость»; принятие управленческих решений для организации в целом. В настоящее время в сфере имитационного моделирования используются системы имитационного моделирования (СИМ), основанные на вводе структурных схем (структурных моделей) объектов моделирования, что позволяет рассматривать процесс моделирования как объектноориентированный. Основное назначение СИМ – визуализация технологических и управленческих цепочек действий, событий и функций. В качестве инструментального средства для построения имитационной модели было выбрано специализированное программное обеспечение FlexSim HealthCare. Его выбор обоснован возможностью поддержания дискретнособытийной технологии создания имитационных моделей, что обеспечивает относительно высокую скорость создания моделей, наглядность, точность и минимальную абстракцию [3, с. 172]. В качестве объекта моделирования был рассмотрен многопрофильный медицинский федеральный центр, в состав которого входит консультативнодиагностический центр (КДЦ), который, в свою очередь, также является многопрофильным и включает в себя дневной стационар и такие отделения, как отделение функциональной диагностики, кардиологическое, рентгенологическое и др. Внедрение информационных технологий в работу медицинских организаций разного уровня позволяет обеспечить высокое качество процессов, например, обеспечить оперативный учет объемов оказанной медицинской помощи, получать достоверную медико-экономическую информацию, проводить анализ и экспертизу деятельности организации, а, используя системы поддержки принятия решения на основе имитационных моделей, обеспечить принятие обоснованных управленческих решений руководителями медицинских учреждений и органов управления здравоохранением [4, с. 8]. Цель работы заключалась в создании имитационной модели КДЦ, используя деперсонифицированные данные. В структуре пациентов 30 % кардиологического профиля, 15 % – пациенты отделения функциональной диагностики, 15 % – пациенты дневного стационара, 40 % - пациенты других профилей.

На первом шаге производится анализ нормативно-правовых документов министерства здравоохранения, документов медицинской организации и практики деятельности структурного подразделения медицинской организации.

Также производится интервьюирование главного врача КДЦ, старшей медсестры и при необходимости других работников исследуемого структурного подразделения. Это позволяет получить понимание реального протекания процесса оказания медицинской помощи пациенту, что и является первостепенной задачей. Понимание реального положения дел поможет в дальнейшем найти оптимальные пути реорганизации работы КДЦ. Также этот шаг позволяет определить исполнителей процессов, что в последствии будет важно для составления расписания и получения аналитических данных. На рис. 1 представлен бизнес-процесс оказания медицинской помощи пациенту в нотации BPMN 2.0. В первую очередь пациент попадает в регистратуру, где регистратор заводит электронную историю болезни, если пациент обратился в медицинский центр в первый раз. Затем пациент должен подписать согласие на обработку персональных данных и договор об оказании медицинских услуг. Регистратор выдает пациенту направление ко врачу и направление на оплату медицинских услуг в кассе. Затем пациент попадает в кассу, после оплаты по направлению отправляется в кабинет врача. Врач проводит осмотр, заполняет электронную медицинскую карту пациента и выдает заключение на руки пациенту. Если требуется дополнительные исследования или повторный прием, пациент снова направляется в регистратуру, где сможет записаться на следующую консультацию или диагностические процедуры. Если повторный прием не требуется, пациент покидает медицинский центр.

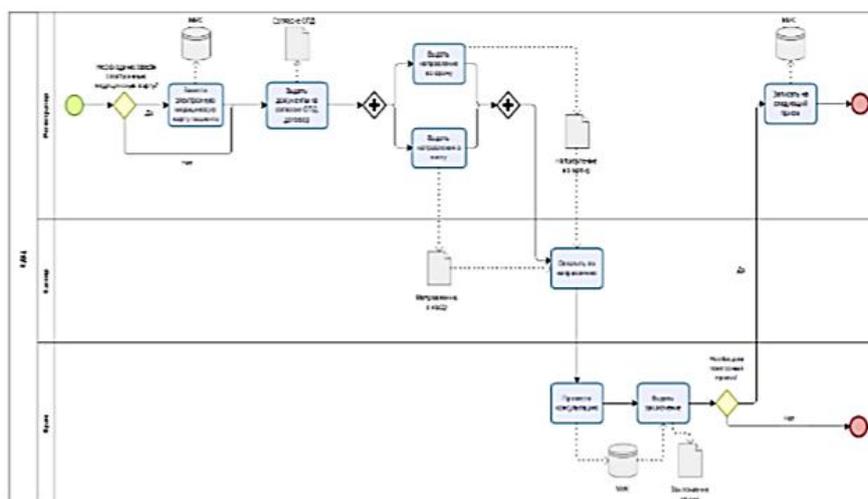


Рисунок 1. Бизнес-процесс оказания медицинской помощи пациенту в КДЦ

Смоделированный бизнес-процесс помогает визуально оценить его сложность, количество ветвлений, количество вариантов исхода. Интервью в текстовом формате и модель бизнес-процесса должны быть отправлены на согласование руководителю структурного подразделения, чтобы избежать возможных неточностей, получить комментарии и дополнения. Также на этом этапе могут возникнуть вопросы, которые также необходимо задать

руководителю, так как ошибки на верхнем уровне процессов будут вносить погрешность на всех последующих этапах, а их исправление может занять много времени. Следующий этап в разработке имитационной модели – создание цифрового двойника структурного подразделения медицинской организации. Для этого необходимо иметь планы помещений или создать план в среде AutoCad. Это позволит подгрузить планы в FlexSim, что значительно облегчит моделирование помещений здания. Имитационная модель должна быть построена во всех вариантах реализации изучаемого подмножества процессов медицинской организации. С помощью аналитических методов и соответствующего программного обеспечения (ПО) сформулированы количественные характеристики модели, главная из которых – среднее количество пациентов в КДЦ в соответствии с сезоном, днем недели и временем суток. Это позволяет проводить виртуальные эксперименты на наиболее точном потоке пациентов и получить достоверные результаты. В ходе виртуального эксперимента можно получить информацию о затратах труда на исполнение совокупности рассматриваемых процессов за некоторый период. В результате проведенного имитационного моделирования могут быть построены диаграммы отдельных групп исполнителей, например, различные группы медицинского персонала, представленные на рис. 2.



Рисунок 2. Диаграммы состояния отдельных групп исполнителей в процессе моделирования

Из приведенного примера видно, что наибольшую занятость имеют специалисты УЗИ, а наименьшую – профильные врачи. Также информацию о затратах труда можно получить, построив гистограмму занятости локаций КДЦ. На рис. 3 представленная гистограмма состояния локаций подразделения медицинского центра.

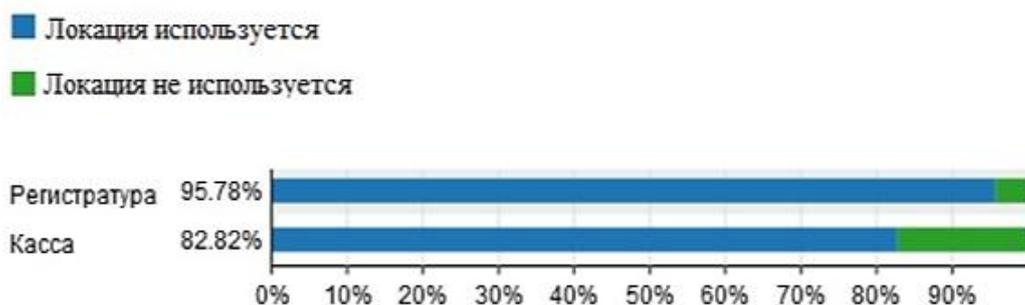


Рисунок 3. Гистограмма состояния локаций в процессе моделирования

После получения результатов прогона имитационной модели выделяются узкие места процесса оказания медицинской помощи. Для их устранения предлагается произвести следующие изменения: изменение графика работы персонала КДЦ в утренние часы (8:00-13:00). Изменения в режиме работы предлагается производить поэтапно. На первом этапе внесены изменения в график работы двух врачей-кардиологов. На рис. 4 представлены диаграммы трудозатрат отдельных групп исполнителей после внесения изменений в расписание их работы.



Рисунок 4. Диаграммы состояния отдельных групп исполнителей после внесения изменений в график работы

Можно заметить, что доля занятости кардиологов увеличилась с 27 % до 33 %. Таким образом, даже незначительные изменения в ходе моделирования процесса оказания медицинской помощи обеспечивают реальный эффект. На следующем этапе предлагается внести изменения в график работы регистраторов и кассиров. В изначальном варианте в утренние часы три регистратора и один кассир начинали свою работу в 8:00, два регистратора и один кассир – в 9:00. Рассмотрим три варианта внесения изменений. Для первого был изменен график работы регистраторов: все пять регистраторов начинают свою работу в 8:00. При этом расписание работы кассиров осталось неизменным. Результаты моделирования представлены на рис. 5 в виде гистограммы.

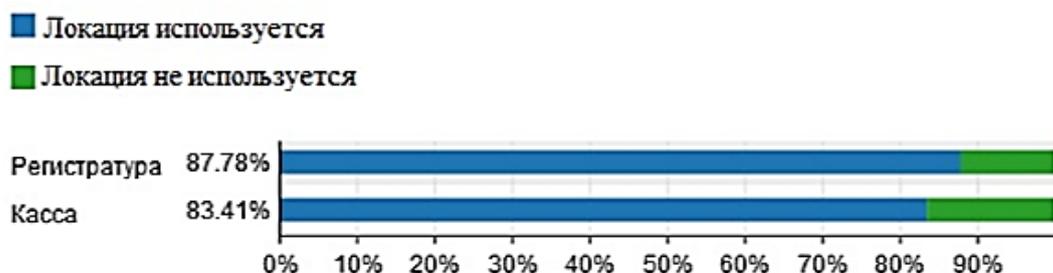


Рисунок 5. Гистограмма состояния локаций после внесения изменений в график работы регистраторов

Также ПО FlexSim позволяет построить гистограммы, отражающее среднее расстояние, которое проходит пациент при перемещении по отделению, и среднее время нахождения пациентов разных групп в отделении. Пример такой гистограммы представлен на рис. 6.



Рисунок 6. Гистограммы, отражающие среднее расстояние и среднее время перемещения пациента по КДЦ

В результате проведенного имитационного моделирования процессов оказания медицинской помощи на примере КДЦ многопрофильного медицинского центра установлено, что наиболее эффективным с точки зрения увеличения производительности труда персонала является решение комплексной задачи по оптимизации рабочего времени всего подразделения. Построена совокупность визуальных и имитационных моделей процессов оказания помощи пациентам, позволяющая наглядно отразить эти процессы при том или ином уровне использования информационных технологий и количественно оценить затраты труда на их исполнение в зависимости от параметров работы подразделения. Разрабатывая автоматизированную систему поддержки принятия решений, в том числе на основе цифровых моделей, позволяющих прогнозировать и количественно оценивать влияние различных факторов (организационную структуру, контингент персонала, ресурсы организации), следует дополнительно оценивать показатели качества интерфейса [5, с.86]. Их количественная оценка и анализ позволят снизить число ошибок пользователя и повысить эффективность принимаемых решений [6, с.388]. Проведенное имитационное моделирование в соответствии с предложенной методикой позволяет показать широкий спектр возможностей применения имитационных моделей для демонстрирует возможность широкого использования имитационных моделей для повышения эффективности менеджмента организации, в том числе позволяет получать статистические характеристики затрат труда в разрезе исполнителей и в целом по совокупности процессов, выделять наиболее трудоемкие процессы и операции, делать прогноз трудозатрат. Также стоит отметить, что методы имитационного моделирования

применимы для решения большого перечня задач для организаций различных типов.

Список использованной литературы

1. Сидоренко В.Н., Красносельский А.В. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение // Бизнес-информатика, НИУ ВШЭ. 2009, №2(8). – С.52-57.
2. Соловьев В.И., Бессонов А.Н., Соболев А.А. Имитационное моделирование как методология информационного обеспечения форсайтпроектов // Гуманитарные науки и образование в Сибири, НОУ ВПО «Новосибирский гуманитарный институт», 2014, №2(14). С.140-150.
3. Якимов И.М., Кирпичников А.П. Имитационное моделирование вероятностных объектов в системе FlexSim // Вестник технологического университета. – 2016. Т.19, №21. – С. 170 – 173.
4. Гулиев Я.И., Бельшев Д.В., Михеев А.Е. Моделирование бизнес-процессов медицинской организации: классификация процессов // Врач и информационные технологии. 2015. (4): С. 6-13.
5. Черникова А.В., Жукова Ю.С. Анализ эффективности технологических интерфейсов автоматизированных систем управления технологическими процессами // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2015. № 30(56). С. 86-89.
6. Черникова А.В., Крылова Ю.И. Оценка качества интерфейсов при разработке систем принятия решений // Цифровая экономика и индустрия 4.0: Форсайт Россия: труды национальной научно-практической конференции с зарубежным участием. СПбПУ. 2020. С. 387-394.

© Ю.И. Крылова, А.В. Черникова, 2020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ СРЕДЫ

ассистент **Литвинова Александра Владимировна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время актуальна проблема проектирования экоустойчивых объектов среды, а именно с использованием солнечных батарей. В данной статье рассматриваются примеры гармоничного включения технологий солнечной энергетики в городскую среду, как дизайнеры-архитекторы используют солнечные панели в своих проектах.

Ключевые слова. Солнечная батарея, проектирование, объект среды, городская среда, солнечная энергия.

THE USE OF SOLAR PANELS WHEN DESIGNING ENVIRONMENT OBJECTS

Litvinova Alexandra Vladimirovna

Abstract. Currently, the problem of designing sustainable environmental objects, namely using solar panels, is relevant. This article discusses examples of the harmonious integration of solar energy technologies in the urban environment, how designers and architects use solar panels in their projects.

Keywords. Solar panel, design, environmental object, urban environment, solar energy, solar battery.

Солнечные батареи состоят из набора солнечных элементов (фотоэлектрических преобразователей), которые непосредственно преобразуют солнечную энергию в электрическую [2, с. 17].

Продуктивность батареи не зависит от температуры воздуха, только от интенсивности солнечного излучения: эффективность 100 % — солнце светит на поверхность батареи; 75 % — при небольшой облачности (солнце закрыто); 55 % — при сильной облачности (как перед грозой) [3].

Рассмотрим использование солнечных батарей в городской среде (рис. 1).



Рисунок 1. Примеры использования солнечных батарей в малых архитектурных формах

В 2011 году в московских парках начали появляться модули с бесплатным солнечным Wi-Fi. Светофоры на солнечных батареях установлены с 2011 года на пешеходных переходах. По документам такой объект называется автономным светофором Т.7, обладает мощностью в среднем от 40 до 95 Вт [8].

Существуют остановки общественного транспорта на солнечных батареях. Днём батареи на данных остановках накапливают солнечную энергию, а вечером освещают саму остановку и прилегающую территорию, а также питают точку с бесплатным Wi-Fi.

Полноценная мини-электростанция на солнечных батареях «Ярослава» начала функционировать в Москве с 2013 года. Станция отвечает за работу освещения в парке, системы видеонаблюдения и безопасности и бесплатный беспроводной интернет. Используют временные монтажные энергопитающие конструкции для реставрации памятников истории и культуры (рис. 2).



Рисунок 2. Модель энергопитающей конструкции покрытия над руинами «Розового павильона» в г. Петергофе (день и ночь)

В дневное время временная конструкция из солнечных батарей вырабатывает электричество [6]. В вечерние и ночные часы выработанный ток обеспечивает освещение объекта. Данная модульная конструкция является устойчивой и прочной относительно ветровых и снеговых нагрузок.

Солнечные батареи также обеспечивают экологически безопасное и бесперебойное энергоснабжение зданий. И в то же время, они могут послужить

стильным архитектурным элементом [1, 2] (рис. 3). Помимо эстетической функции, солнечные панели выполняют дополнительно еще несколько задач: защищают строение от ветра и влаги; способствуют увеличению шумоизоляции; помогают поддерживать внутри здания комфортную температуру.

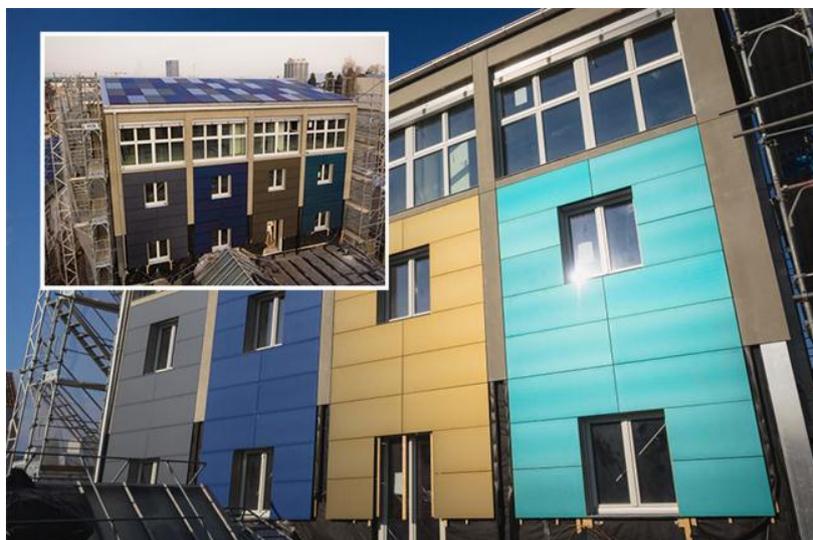


Рисунок 3. Солнечные батареи в современной архитектуре

Солнечные батареи используются на станциях городского велопроката (рис. 4).

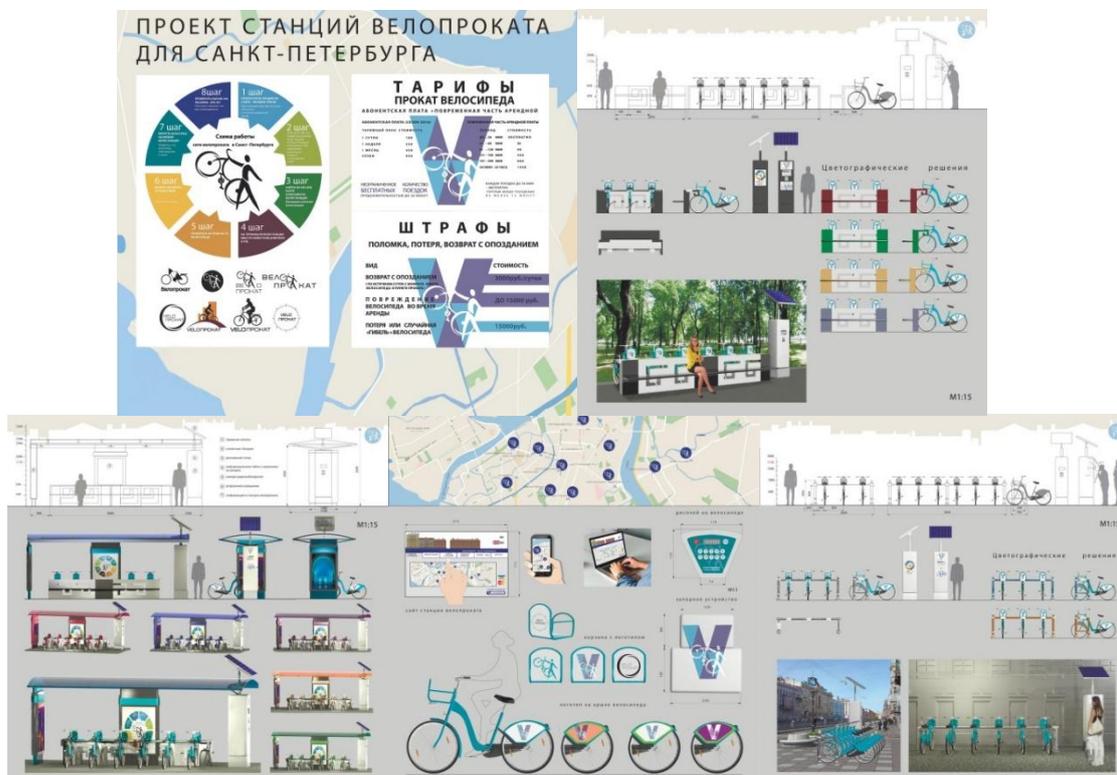


Рисунок 4. Проект станций велопроката для Санкт-Петербурга на солнечных батареях

Рассмотрим данный проект с технической части (рис. 5, 8). Солнечная панель подключена к контроллеру зарядки аккумулятора, который подключен к аккумулятору. Через контроллер электрическая энергия поступает к потребителям: на терминал оплаты и регистрации: для питания планшета, модема, кардри-ридера, чекового принтера; на стойку с велосипедами (док станцию): для питания беспроводной передачи энергии, контроллер управления в каждой док станции, GSM модема.



Рисунок 5. Схема передачи энергии

Контроллер заряда аккумулятора — электронная схема в составе зарядного устройства, предназначенная для управления процессом заряда аккумулятора [4] (рис. 6). Контроллер заряда — неотъемлемый элемент солнечной электростанции от которого зависит не только работоспособность системы, но эффективность преобразования солнечного света в энергию.

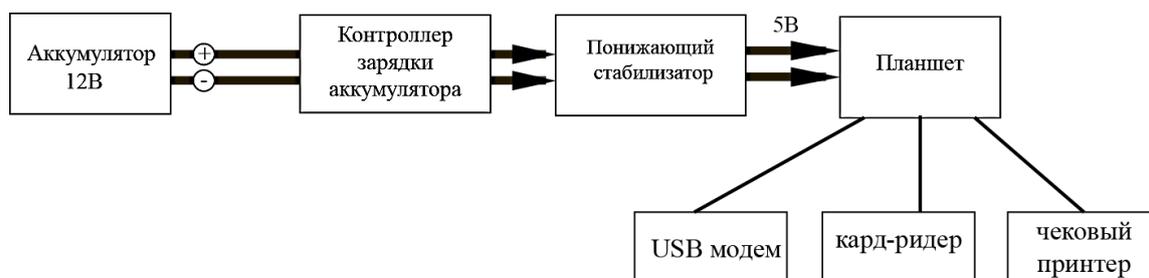


Рисунок 6. Распределение энергии на терминале оплаты и регистрации

Для более эффективной работы солнечной панели установлен – трекер.

Солнечный трекер - техническое устройство, функция которого заключается в способности отслеживать перемещение солнца и соответственно разворачивать закрепленные на специальной конструкции солнечные панели [7] (рис. 7). Благодаря трекеру солнечное излучение постоянно падает на солнечные панели под прямым углом, что значительно повышает их КПД. Трекер включает в себя поворотную раму, на которой закрепляются солнечные панели, и поворотные механизмы. Питается электронный блок трекера и двигатель трекера от тех же самых панелей, которые они поворачивают.

Соответственно, часть мощности массива панелей будет расходоваться на энергообеспечение трекера.

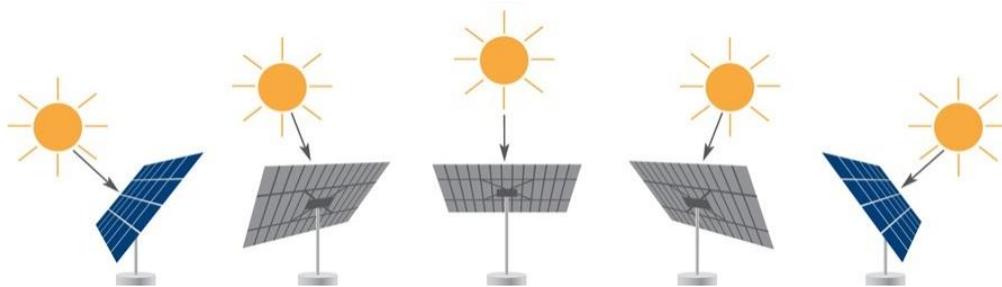


Рисунок 7. Схема работы солнечного трекера

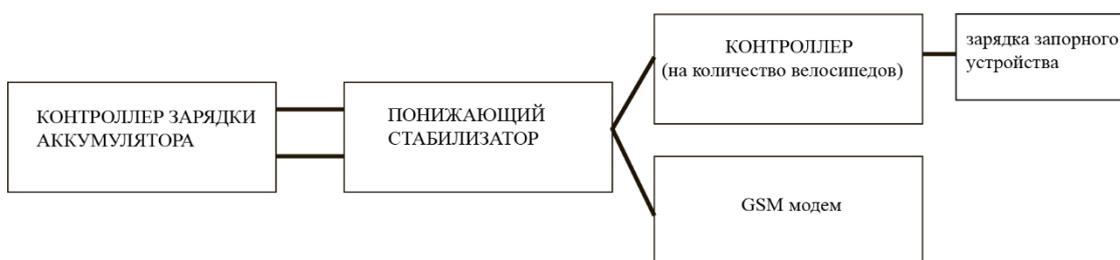


Рисунок 8. Схема распределение энергии на велостойке

В других странах давно сочетают солнечные панели/модули в архитектурных сооружениях [5] (рис. 9).

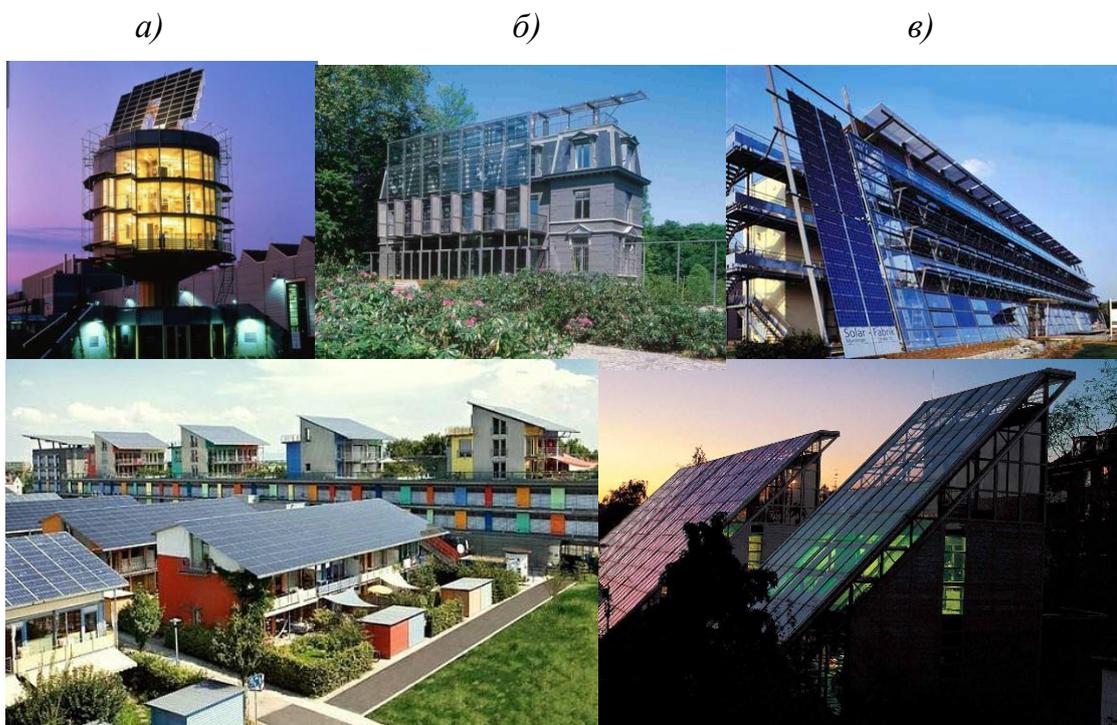


Рисунок 9. Использование солнечных панель в архитектуре

На рисунке 9: а - «Heliotrop» - здание знаменитого немецкого архитектора Рольфа Диша построенное в 1994г. в Германии — Фрайбурге. Данное здание круглое по форме, полностью вращающееся, снабжено солнечными панелями на крыше, площадью 50м²; б - Здание церкви Groenhof Castel (1830 г. Бельгия). Архитектурное бюро Samyn&Partners реконструировало это здание в 1996-99, I-премия на Belgian Architectural Awards 2000; в - г. Фрайбург, архитекторы: Рольф Диш, Маттиас Готц; г - Solar Region Friburg — солнечная деревня в окрестностях Фрайбурга.;д - Жилые дома Томаса Херцога в Мюнхене — начало «солнечной архитектуры».

Таким образом можно сделать вывод, что использование солнечных батарей в благоустройстве городской среды - это рационально и эстетично. Архитекторы –дизайнеры активно используют энергосберегающие материалы в своих проектах, создавая новые тенденции в архитектуре.

Список использованной литературы

1. Глиберман А.Я., Зайцева А.К. Кремниевые солнечные батареи М.—Л., Госэнергоиздат 1961 – 72 с.
2. Дизайн фасадов зданий с интегрированными солнечными батареями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://altshop.in.ua/blog/dizajn-fasadov-zdaniy-s-integririvannymi-solnechnymi-batareyami> - 15.11.2020
3. Солнечные батареи для дома и дачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dom-electro.ru/солнечные-батареи-для-дома> - 10.11.2020
4. Солнечные контроллеры заряда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.power.eltehno.ru/products/controllers> - 15.11.2020
5. Солнечные модули как элемент архитектурного дизайна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://green-city.su/%EF%BB%BFsolnechnye-moduli-kak-element-arxitekturnogo-dizajna/> - 15.11.2020
6. Солнечная энергетика в реконструкции городской среды исторической застройки Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marhi.ru/АМИТ/2013/2kvart13/murgul/murgul.pdf> - 15.11.2020
7. Трекеры как способ повышения эффективности солнечной системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.power.eltehno.ru/controllers> - 15.11.2020
8. Что в Москве работает на солнечных батареях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://recyclemag.ru/article/obekty-na-solnechnyh-batarejah> - 10.11.2020

© А.В. Литвинова, 2020

ВИРТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР СОСТАВА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ГАЗА

студент гр. 408М Лукашонокс Дмитрийс,
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доцент Рудакова Ирина Викторовна
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет) СПбГТИ(ТУ)
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Получение полимеров, в частности полиэтилена, сопровождается технологической рециркуляцией непрореагировавшего мономера. В ходе непрерывного технологического процесса идет накопление примесей, которые периодически выводятся вместе с частью возвратного газа. Состав мономера осуществляется только лабораторными методами, поэтому решение о проведении сдувки газа в определенный момент времени во многом субъективно. Предлагается структура системы советчика оператора, базирующейся на рекуррентном нейросетевом виртуальном анализаторе. Она позволит определять время между сдувками газа для конкретного состояния процесса и выпускаемой марки полимера.

Ключевые слова. Полиэтилен высокого давления, нейросетевая модель, технологическая линия с рециклом, примеси.

VIRTUAL COMPOSITION ANALYZER FOR RECIRCULATING GAS PERIODIC CLEANING

**Lukashonoks Dmitrijs,
Rudakova Irina Viktorovna**

Abstract. The production of polymers, particularly, polyethylene, is accompanied by unreacted monomer technological recycle. Impurities accumulate during continuous technological process. They are periodically removed with part of the reusable gas. Monomer composition is carried out only by laboratory methods, therefore decision of gas blow making at the certain time is largely subjective. The structure of an operator advisor system based on recurrent neural network virtual analyzer is proposed. It will allow to determine the time between gas blows for a specific process condition and produced polymer grade.

Keywords. High-pressure polyethylene, neural network model, technological line with recycling, impurities.

Производство полимерных материалов базируется на технологических схемах с рециклом мономера, так как конверсия полимеризации частичная. Одним из таких процессов является производство полиэтилена высокого давления (ПВД) в автоклавном реакторе, в ходе которого конверсия редко превышает 20 % [1, с. 29]. Важность ПВД обусловлена его уникальными свойствами по сравнению с другими типами полиэтиленов: гибкостью, химической чистотой ввиду отсутствия примесей в готовом продукте, а пленки из ПВД отличаются гладкостью и прозрачностью [1, с. 5].

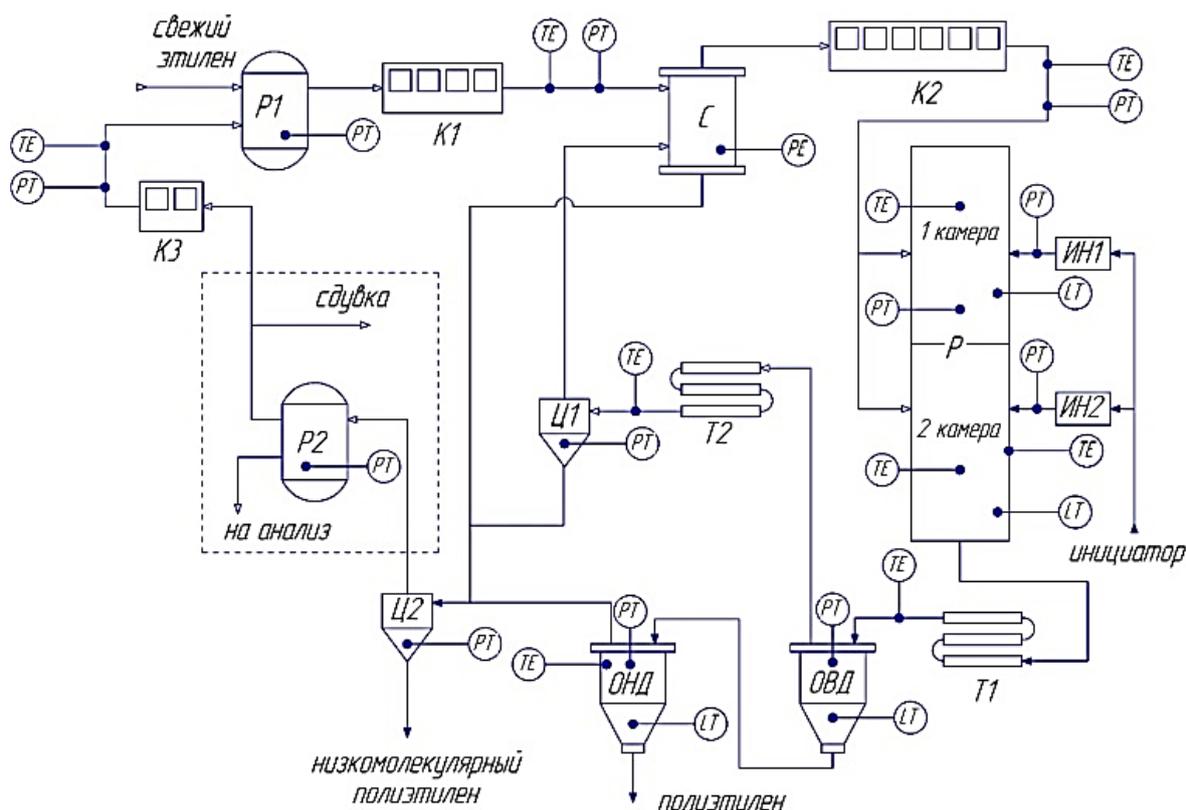


Рисунок 1. Упрощенная технологическая схема линии производства ПВД:
P1, P2 - ресиверы этилена; K1, K2, K3 - компрессоры; C - смеситель; P - автоклавный реактор полимеризации; T1, T2 - холодильники; Ц1, Ц2 - циклоны; ОВД - отделитель высокого давления; ОНД - отделитель низкого давления; ИИ1, ИИ2 - инициаторные насосы

Для полимеризации этилена в автоклавном реакторе требуется давление около 150 МПа [1, с. 29]. Согласно технологической схеме (рис. 1) перед подачей в реактор свежий этилен в ресивере P1 смешивается с предварительно сжатым в компрессоре K3 возвратным этиленом из ресивера P2, а затем эта смесь проходит через компрессор K1 и поступает в смеситель C, где к ней также добавляется возвратный этилен высокого давления, после чего в компрессоре K2 этилен дожимается до реакционного давления и поступает в реактор. Выходящий из реактора продукт проходит стадии отделения высокого, низкого давления и циклонирования, целью которых является разделение ПВД,

низкомолекулярного полиэтилена и непрореагированного этилена, который, как описано выше в двух точках возвращается в цикл. Разделение потоков возвратного этилена производится с целью рационального использования энергозатрат на компримирование, поскольку в таком случае уменьшается нагрузка на компрессор К1.

Рециркуляция больших объемов газа приводит к накоплению в технологической системе примесей. По отношению к физико-химическим основам процесса полимеризации их можно разделить на две категории: инертные и активные. Инертные примеси (в основном метан, этан, пропан и низкомолекулярный полиэтилен) не оказывают химического воздействия, но их наличие снижает общую концентрацию этилена во время реакции полимеризации, а оставшийся в рецикле низкомолекулярный полиэтилен может стать источником возникновения и развития нештатных ситуаций, например, вызвать забивку трубопроводов трехсекционного теплообменника Т2. В свою очередь содержание активных примесей недопустимо в ходе реакции, в частности, наличие ацетилена вызывает сшивку макромолекул, пропилен приводит к нежелательной сополимеризации, водород обрывает растущую цепь полимера и может стать инициатором реакции и привести к ее началу до ввода этилена в реактор [2, с. 28].

Чтобы концентрация примесей не превышала допустимые регламентом значения, производится периодическая сдвка - вывод газа из ресивера Р2. Основной трудностью при управлении этим процессом является отсутствие автоматического контроля состава газа в рецикле. Его анализ проводится только в лаборатории. Следовательно, принятие решения о проведении сброса возвратного газа остается за оператором и носит субъективный характер. Чтобы уменьшить влияние человеческого фактора на ход процесса, предлагается реализовать систему расчета и прогнозирования периода между смежными сдвками.

Опираясь на опыт разработки систем мониторинга и диагностики состояния процесса получения ПВД в автоклавном реакторе [3], можно увидеть, что динамику нарастания объемного содержания примесей в технологической схеме можно просчитать на основе системы балансных уравнений. Однако, в этой феноменологической модели не учитывались нелинейности реакторного узла [4], от которых в многом зависит конверсия этилена. Производство ПВД может проходить на разных технологических режимах, с использованием множества типов инициаторов [1, с. 30] и модификаторов для получения уникальных марок и сополимеров [2, с. 58-61]. Чтобы система могла подстраиваться под текущий режим при наличии доступа к базе архивных данных действующей технологической линии, целесообразно сменить вид модели и положить в основу системы нейронную сеть (НС).

Эффективность применение НС в качестве виртуальных анализаторов подтверждается рядом успешных внедрений [5]. Тогда на основе статистических данных, связывающих основные точки измерения технологических параметров, по которым можно контролировать ход процедур синтеза и рециркуляции газа, приведённые на рис. 1, формируется обучающий массив, включающий временную координату в качестве входа модели. В работе [6] для диагностики процесса полимеризации рекомендуется использовать двухслойную нейронную сеть обратного распространения ошибки с сигмоидальной функцией активации в скрытом слое и линейной - в выходном. Так как такая сеть не имеет внутренней памяти, а в рамках данной задачи необходимо учитывать не только мгновенные значения параметров, но и динамику их изменения, то за основу принята структура рекуррентной НС.

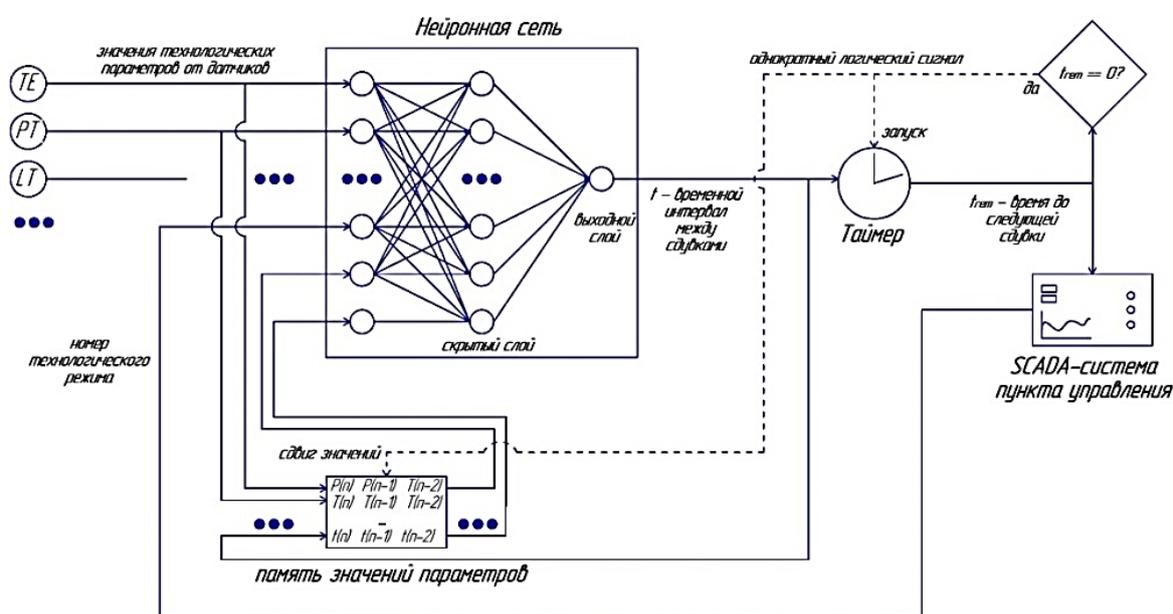


Рисунок 2. Структура системы определения времени до следующей сдвухи

Входными переменными разрабатываемой НС будут измеряемые параметры технологической линии производства ПВД (рис. 1), а на выходе она будет выдавать время t , которое рекомендуется выдержать после предыдущей сдвухи при текущем состоянии и режиме. Циклический алгоритм работы следующий: после проведения сдвухи НС определяет новое значение t , с которого начинает отсчет обратный таймер оставшегося времени t_{rem} . Это время должно быть выведено оператору на панели в SCADA-системе. Как только проходит t , то есть t_{rem} достигает нуля, следует проводить анализ газа в P2 и, если прогнозируемое время сдвухи подтверждается результатами лабораторного анализа, то оператор инициирует процедуру сброса газа из P2, тем самым выводя из рецикла значительную доли примесей. Также это событие запускает таймер с новым вычисленным НС значением и сдвигает выборку значений (удаление последнего и запись нового) в памяти.

Выводы

Использование такой системы позволит эффективнее определять время, когда следует проводить анализ возвратного этилена. Ее преимуществом является возможность дообучения на основе новых данных и подкрепления положительных результатов в ходе реального производственного процесса. Также реализация такой системы не потребует введения новых технических средств ввиду существования всех измерительных каналов. Поскольку проведение сдувок вызвано накапливанием примесей, то дополнительной возможностью развития такой системы может стать виртуальный датчик примесей в газе. Снижение концентрации примесей с минимизацией затрат сырья позволит получить выигрыш в энергозатратах, сохранить работоспособность оборудования и снизить риск возникновения предаварийных ситуаций.

Список использованной литературы

1. Поляков, А. В. Полиэтилен высокого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза / А.В. Поляков и др. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.
2. Коршак, В. В. Технология пластических масс / В. В. Коршак, Д. Ф. Купетов, Г. М. Цейтлин и др.; под редакцией В. В. Коршака. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Химия, 1976. - 608 с.
3. Холоднов В. А Моделирование динамики технологической установки с двойным рециклом получения полиэтилена высокого давления / В. А. Холоднов, И. В. Рудакова, Л. А. Русинов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2006. – Т. 49. – №. 12.
4. Лукашонок, Д. Система нечеткого управления температурным режимом при синтезе полиэтилена высокого давления / Д. Лукашонок, И. В. Рудакова // Энергетика и автоматизация в современном обществе. - 2020. - Ч. 3 - С. 3-10.
5. Тугашова, Л.Г. Виртуальные анализаторы показателей качества процесса ректификации / Л.Г. Тугашова // Electrical and data processing facilities and systems. – 2013. –V.9. – P.98-103.
6. Zhou Y. Fault detection and classification in chemical processes based on neural networks with feature extraction / Y. Zhou, J. Hahn, M. S. Mannan // ISA transactions. – 2003. – Т. 42. – №. 4. – С. 651-664.

© Д. Лукашонок, И. В. Рудакова, 2020

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ВОДЯНОГО И ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

магистрант гр. 419.2 **Медведев Владимир Александрович**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Гладышев Николай Николаевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Проанализировав работу системы водяного отопления, можно выделить огромное количество недостатков, таких как сложность регулирования, большая металлоемкость, сложность ремонта и подключения новых потребителей. Сравнивая систему водяного отопления с системой воздушного отопления, можно сделать вывод, что обе системы имеют как недостатки, так и преимущества друг перед другом. Если дальнейшее развитие теплоэнергетической промышленности пойдет по пути парогазовых машин, то использование систем воздушного отопления сможет заменить систему водяного отопления и уменьшить потери при транспортировке.

Ключевые слова. Отопление, воздушное отопление, водяное отопление, потери.

COMPARISON OF WATER AND AIR HEATING SYSTEMS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Medvedev Vladimir Aleksandrovich,
Gladyshev Nikolay Nikolaevich

Abstract. After analyzing the operation of the water heating system, one can single out a huge number of disadvantages, such as the complexity of regulation, high metal consumption, the complexity of repair and connection of new consumers. Comparing the water heating system with the air heating system, we can conclude that both systems have both disadvantages and advantages over each other. If the further development of the heat and power industry follows the path of steam-gas machines, then the use of air heating systems will be able to replace the water heating system and reduce losses during transportation.

Keywords. Heating, air heating, water heating, losses.

Системой отопления называют систему, позволяющую поддерживать заданные параметры температуры в помещении. В нашей стране в основном используется водяная система отопления.

Системой водяного отопления называют такую систему, в которой для передачи тепловой энергии от генератора до потребителя используется вода. В период проектирования систем отопления, люди остановили свой выбор именно на ней из-за того, что:

- вода является дешевым теплоносителем,
- экологически чистым,
- обладающей относительно большой теплоемкостью.

Система строилась под условия того времени, то есть: деревянные окна не обеспечивали должную герметичность, что приводило к необходимой кратности воздухообмена, то есть свежий воздух проникал в помещение через щели, тем самым в помещении всегда был свежий воздух, с большими инфильтрационными потерями, которые необходимо было компенсировать.

Также система водяного отопления зданий имеет большую инерционность, что можно отнести от части к положительным эффектам, но в большей степени к отрицательным. Если здание подключалось по независимой схеме, то во время аварии на теплосетях, здание остывало постепенно из-за того, что вода продолжала циркулировать и медленно остывать. При зависимой схеме подключения во время аварии вода просто вытекала из систем отопления и здание быстро остывало.

Водяная система отопления имеет так же множество проблем, таких как:

- Сложность регулирования – отрегулировать систему водяного отопления так, чтобы каждый потребитель получал ровно столько теплоты, сколько ему надо, практически невозможно. Крайние дома в системе без балансировки не получают необходимое количество теплоты. Из-за этого источнику производства тепловой энергии приходится подавать в теплосети больше тепловой энергии, что в конечном итоге приводит к переотопливанию ближайших домов на пути следования, но крайние дома получают необходимую тепловую энергию.

- Большая металлоемкость – на примере города Санкт-Петербург протяженность тепловых сетей составляет более 200 тыс. км в двутрубном исполнении [1, с. 173].

- Сложность ремонта и подключения новых потребителей – Чтобы отремонтировать участок сети, необходимо его раскопать, вскрыть канал, при его наличии, после вырезать участок трубы и установить новый. После установки новый участок необходимо проверить на герметичность шва. Если все сделано, то необходимо закрыть канал, и закопать его. Все эти действия требуют наличия специализированной техники и квалифицированных работников.

Также сейчас появились новые технологии по теплосбережению в виде новых теплоизоляционных материалов и стеклопакетов. Применение стеклопакетов в зданиях уменьшает инфильтрационные потери до минимума, но так же и снижает поступление свежего воздуха. Для старых домов это вызывает некоторые осложнения, а в новых домах систему отопления проектирую с

учетом установки стеклопакетов и новых изоляционных материалов. Для старых же домов систему отопления пересчитать невозможно из-за того, что не у каждого потребителя тепловой энергии есть возможность или предпочтение перейти на новые изоляционные технологии. Ввиду централизованности водяной системы отопления, она не может дать нижней квартире одно количество теплоты, а в верхней другое. Потребители получают примерно равное количество теплоты. Если у одного потребителя будут стоять стеклопакеты, то для поддержания необходимого уровня температуры в помещении он будет выбрасывать излишки тепловой энергии в атмосферу, тем самым эта теплота будет теряться и не использоваться в системах отопления, но на ее генерацию будет затрачено топливо. В то же время у потребителя со старыми окнами будет комфортная температура воздуха.

Эта проблема стоит относительно долго. Уже на рынок вышло возможное решение этой проблемы для потребителя – терморегулирующие головки. Устанавливая такую головку между байпасом и самой батареей, потребитель может регулировать количество теплоносителя, проходящее через теплообменник, тем самым регулируя температуру батареи, а значит и температуру в помещении. С точки зрения теплоэнергетики, такой способ регулирования не решает проблему, даже наоборот, усугубляет. Уменьшение расхода воды у одного потребителя вызовет увеличение расхода у другого и сойдет балансировку системы отопления, что в конечном итоге может привести к недостатку тепловой энергии в последних домах и переизбытку в первых домах по магистрали от источника теплоснабжения. Чтобы избежать такой проблемы системы теплоснабжения балансируют. Процесс балансировки очень трудоемкий и легко нарушается неплановыми установками новых отопительных приборов с другим коэффициентом теплопередачи или терморегулирующими головками.

Еще одной проблемой водяной системы отопления являются потери при ее транспортировке. Источник в виде водогрейной котельной имеет средний КПД около 90 %. Дома, строящиеся, по новым технологиям имеют хорошую теплоизоляцию. При этом теплоноситель пока доставляется до потребителя успевает остыть и потерять до 30 % своего тепла. Потери приводят к тому, что источнику теплоснабжения приходится их компенсировать, т.е. сжигать дополнительно топливо, чтобы дать в теплосеть больше тепла и до потребителя дошло необходимое количество тепла. Такой способ нуждается в компенсации потребленного топлива, то есть тепловая энергия которую покупает потребитель будет стоить дороже.

Как новый и альтернативный способ теплоснабжения можно предложить воздушное отопление. Системой воздушного отопления называют такую систему отопления в которой теплоносителем служит воздух. В качестве теплоносителя воздух легкоподвижен и имеет малую плотность, но и малую теплоемкость. Использовать воздух в системах централизованного отопления не

имеет смысла, так как перенести необходимое количество тепла на большое расстояние он не сможет.

Воздушные системы отопления можно использовать непосредственно у потребителя. Возможная схема использования представлена на рисунке 1.

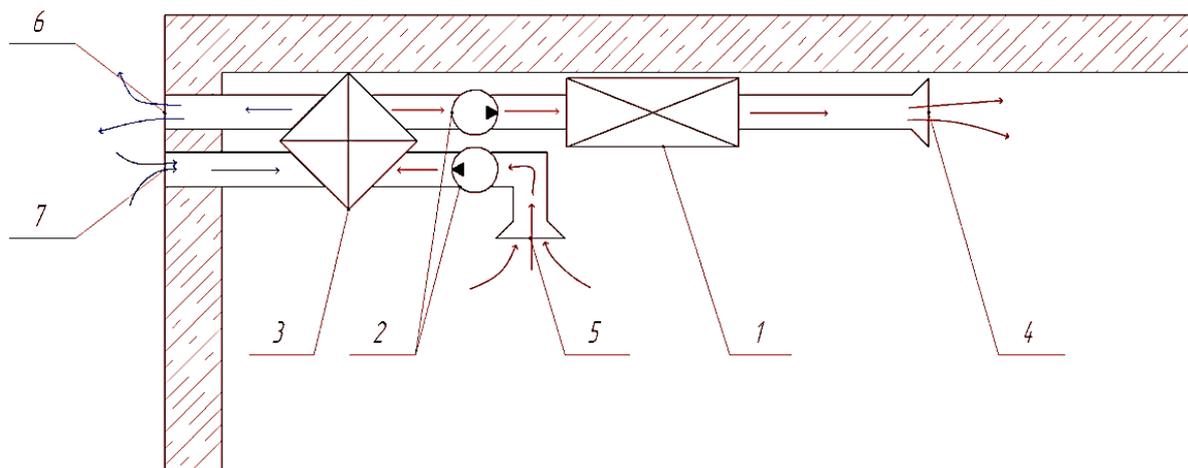


Рисунок 1. Схема установки, обеспечивающей воздушное отопление:

1 – калорифер; 2 – вентиляторы; 3 – теплообменник;

4 – воздухораспределительное устройство в помещении; 5 – воздухозаборное устройство в помещении; 6 – воздухораспределительное устройство на улице;

7 - воздухозаборное устройство с улицы

Принцип работы такой установки: холодный свежий воздух забирается с улицы через воздухозаборное устройство 7 и поступает в теплообменник 3. Проходя через теплообменник воздух подогревается уходящим отработанным воздухом и поступает с помощью вентилятора 2 в калорифер 1, где подогревается до необходимой температуры и направляется в помещение через воздухораспределительное устройство 4. Отработанный теплый воздух забирается из помещения через воздухозаборное устройство 5 направляемый вентилятором в теплообменник 3. Остывая отдавая свое тепло свежему воздуху, отработанный воздух возвращается в атмосферу через воздухораспределительное отверстие 6.

Такой способ отопления имеет несколько неоспоримых преимуществ перед водяными системами отопления:

- Для работы такой системы требуется электрическая энергия, которая имеет очень малые потери при транспортировке.
- Такая система легко поддается регулированию и автоматизации
- Каждый потребитель имеет возможность настроить для себя необходимую температуру воздуха в помещении
- Обеспечивает необходимую кратность воздухообмена в помещении.

В конечном итоге воздушные системы отопления, работающие по схеме, приведенной ранее, имеют меньшие потери, что позволяет экономить топливо на генераторах электрической энергии.

Главным недостатком такого отопления является его полная зависимость от электрической энергии, что делает полностью непригодным использование котельных для работы такой системы отопления.

Подводя итоги, можно сказать что система воздушного отопления хорошо поддается автоматизации и регулированию, что уменьшает затраты энергии в пустую, но используются непосредственно в отапливаемом помещении. Водяные системы отопления можно использовать при централизованном отоплении, но такие системы имеют много недостатков. Эти системы используют разную энергию: водяные системы отопления используют тепловую энергию потока воды, воздушные системы отопления электрическую энергию. Сейчас современные установки, работающие по парогазовому циклу при выработке электрической энергии, начали доходить до КПД равного 55 % [2, с. 5]. Известно, что при равной выработке электрической энергии турбинные установки вырабатывают больше тепловой энергии, чем парогазовые установки. Из-за этого КПД при выработке электрической энергии у паротурбинной установки меньше, в сравнении с парогазовым циклом. Если дальнейшее развитие теплоэнергетической промышленности пойдет по пути парогазового цикла, то системы отопления можно спокойно переделать под воздушные, а тепловую энергию направлять не только на нужды ГВС. Это позволит уменьшить потери тепловой энергии при транспортировке.

Список используемой литературы

1. Салихов А.А. Неоцененная и непризнанная «малая» энергетика. М.: Новости теплоснабжения, 2009. 173 с.
2. Гладышев Н.Н. Ресурсосберегающие технологии в системах централизованного теплоснабжения ЖКХ: монография/ ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2020. - 137 с.

© В. А. Медведев, Н. Н. Гладышев, 2020

СИСТЕМА ONLINE МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

аспирант 2-го курса **Моисеев Алексей Сергеевич**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Рудакова Ирина Викторовна**
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет) СПбГТИ(ТУ)
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Обобщение способов, методов и подходов к вопросу повышения безотказности и безопасности эксплуатации одного из самых потенциально опасных объектов – магистрального газопровода позволили сформировать структуру многоуровневой диагностической модели. Иерархическое распределение в ней функций обнаружения, локализация источника нарушения, предварительная диагностика с целью выявления возможной причины нарушения позволяет расширять модель посредством ввода новых блоков. Например, предлагается расширить базу входной информации за счет включения модуля автоматического анализа видеоизображения и оценки степени опасности появляющихся движущихся объектов.

Ключевые слова. Магистральный газопровод, система диагностики, диагностическая модель, Q- и T²-статистики, показатели безотказности, балансные уравнения.

ONLINE MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM FOR LINEAR GAS PIPELINE FACILITIES

**Moiseev Alexey Sergeevich,
Rudakova Irina Viktorovna**

Abstract. The generalization of methods and approaches to the issue of improving the reliability and safety of operation of one of the most potentially dangerous objects - the main gas pipeline made it possible to form a structure of a multi-level diagnostic model. The hierarchical distribution of detection functions, localization of the source of the violation, preliminary diagnosis in order to identify the possible cause of the violation allows you to expand the model by entering new blocks. For example, it is proposed to expand the input information base by including a module for automatically analyzing video images and assessing the degree of danger of emerging moving objects.

Keywords. Main gas pipeline, diagnostic system, diagnostic model, Q- and T²-statistics, reliability indicators, balance equations.

Развитие современной промышленности, а также благополучие и экологическая безопасность населения во многом зависят от своевременного и стабильного обеспечения предприятий энергией, одним из источников которой выступает природный газ. Транспортировка газа от территориально удаленных мест его добычи до потребителя сопряжена с возникновением аварийных ситуаций, последствия развития которых могут иметь разрушительный характер. Поэтому вопросам обеспечения безопасности эксплуатации магистральных газопроводов (МГ) уделяется повышенное внимание [1].

Одним из самых низконадёжных узлов МГ являются линейные участки, так как для них присущи тяжелые условия эксплуатации и сложность доступа ремонтных бригад из-за установки таких узлов в местах, удаленных от населенных пунктов. Центральным узлом управления на линии МГ выступает компрессорная станция, в подчинении которой оказываются прилегающие участки газопровода (ГП), газораспределительные станции и т.п. Перевод на новый уровень автоматизации современных систем управления создает платформу для внедрения инновационных подходов повышения безопасности эксплуатации, связанных с мониторингом в режиме реального времени. Как показывают обобщения результатов по эксплуатации магистральных газопроводных линий [2], наиболее уязвимым местом линейной части является система клапанов, для которых в качестве источника питания привода выступает газ, подводимый по импульсным трубкам из магистральной газопроводной линии. Это является как источником потенциальной опасности системы крановых площадок с расположенными на них запорными линейными кранами и их обвязкой, так и точками плановых утечек газа [3, 4, 5].

При разработке автоматизированных систем управления такими объектами одним из способов повышения эксплуатационной безопасности является внедрение систем мониторинга и диагностики состояния технологического объекта и технических средств автоматизации. Обзор современных подходов к решению задач диагностики объектов МГ показал, что в этой области разработано множество способов, решающих локальные задачи, в частности: система неразрушающего offline контроля состояния линейной запорной арматуры на базе вибродиагностического метода (патент РФ 2382991); способ обнаружения нарушения на многониточном МГ направленный на обнаружения несанкционированной перестановки арматуры (патент РФ 2700491); внутритрубная диагностика на основе магнитного метода с использованием датчиков Холла (патент РФ 2361198). Большинство из них может быть использовано при прибытии на место аварии ремонтной бригады или требуют

применения специализированного оборудования или установки дополнительных средств контроля.

Как показывает практика, для своевременного вмешательства в работу объектов ГП с целью предотвращения развития аварийных ситуаций необходимо как можно более точно выявить местоположение проблемного объекта и правильно оценить возможные причины нарушения. Разноплановость технического обеспечения МГ, его территориальная распределенность, и как результат, ограниченный набор контролируемых показателей, приводит к тому, что база системы мониторинга и диагностики – диагностическая модель, должна иметь комбинированную, расширяемую модульную структуру [6, 7]. В общем виде структура такой модели, в которой явно выражаются 3 иерархически расположенных уровня, приведена на рисунке 1.

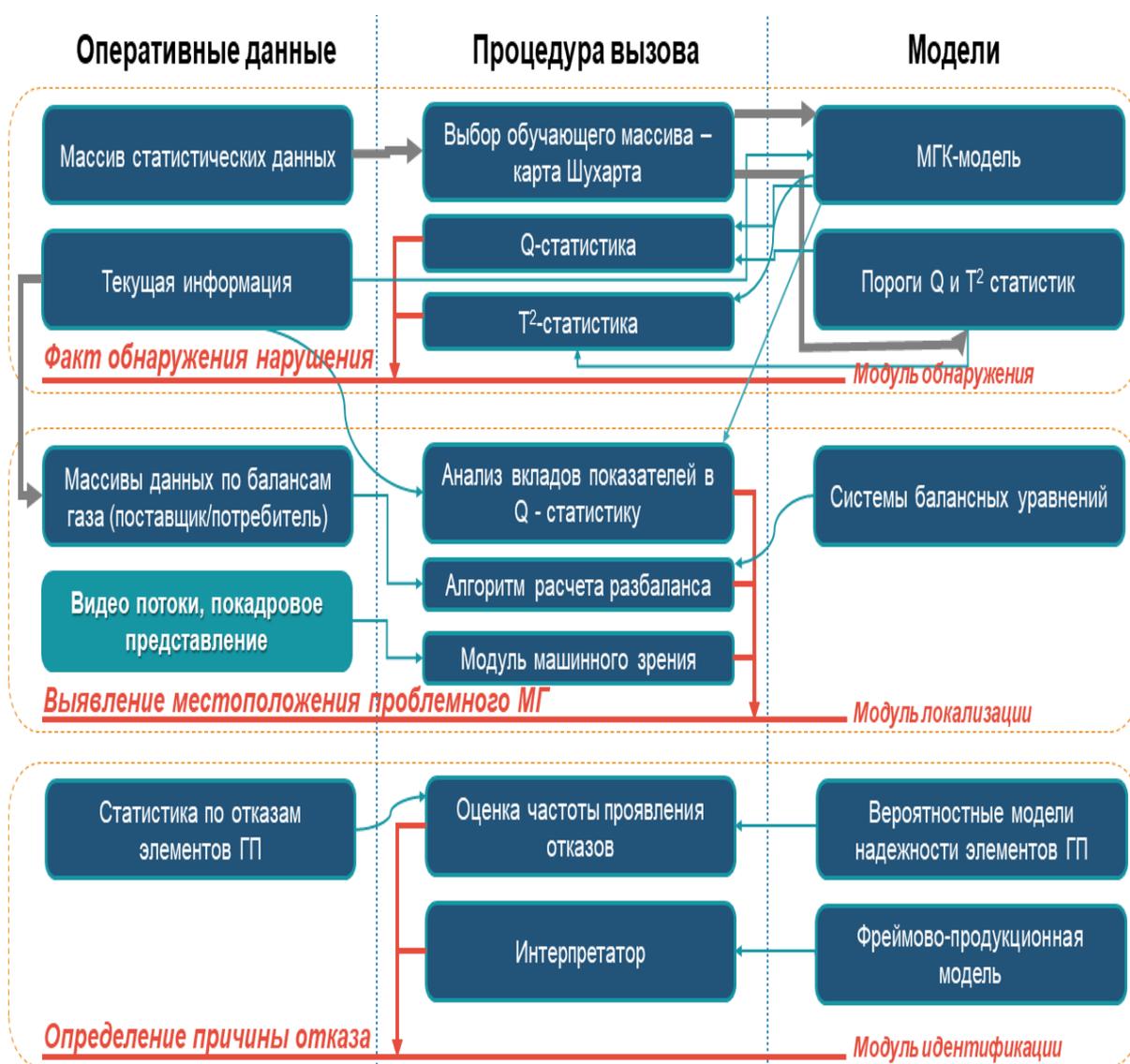


Рисунок 1. Модульная структура диагностической модели

На этапе обнаружения собирается и регулярно обновляется массив статистических данных соответствующих нормальному состоянию объектов МГ, из которых формируется обучающая выборка для разработки модели описания многомерного пространства состояний переменных посредством линейного преобразования в методе главных компонент (МГК) [6, 8].

Линейное преобразование, используемое в МГК:

$$X = TP^T,$$

где $X[nxp]$ – матрица данных из n выборок с p переменными, нормированными к нулевому среднему и единичной дисперсии; $P[pxp]$ – матрица главных компонент; $T[nxp]$ – матрица проекций.

Выявление выбросов и возможных проявлений нештатных ситуаций осуществляется через контроль попадания данных в область, ограниченную верхним и нижним контрольными пределами карты Шухарта (ГОСТ Р50779.42-99 (ИСО8258-91)). По выборке вычисляются пороговые значения определяющих Q-статистики (сумма возведенных в квадрат ошибок, не охваченных первыми главными компонентами)

$$Q = \mathbf{e}^T \mathbf{e} = (\mathbf{x} - \widehat{\mathbf{x}})^T (\mathbf{x} - \widehat{\mathbf{x}}) = \sum_{j=1}^p (\mathbf{x}_j - \widehat{\mathbf{x}}_j)^2$$

где $\mathbf{e} = (\mathbf{I} - \mathbf{P}_q \mathbf{P}_q^T) \mathbf{x}$ – невязки выборки \mathbf{x} , и T^2 -статистики (сумма нормированных, возведенных в квадрат проекций),

$$T^2 = \sum_i \frac{t_i^2}{S_{ti}^2}$$

где t_i – i -ая строка матрицы T , S_{ti}^2 – дисперсия t_i , q – число ГК в модели, относительно которых проверяются рассчитанные по оперативно обновляемым данным текущие значения этих статистик.

Превышение порогов является инициатором запуска следующей группы модулей, предназначенных для обнаружения местоположения объекта, изменение параметров которого вызвало смещение точки в пространстве относительно модели нормального режима работы (МГК-модели). На этом этапе невозможно ограничиться работой только одного модуля, так как ограниченный набор информационных каналов не позволяет проводить декомпозицию с выделением каждого конкретного объекта МГ.

В структуре системы предлагается выполнить локализацию по степени вклада каждого измеряемого и учитываемого в модели параметра в обобщённое значение Q-статистики [8]:

$$C_Q(j) = (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}}_j)^2 \quad C_Q^*(j) = \frac{C_Q(j)}{\sum_j C_Q(j)}$$

где \mathbf{x}_j – текущее значение j переменной, $\bar{\mathbf{x}}_j$ – обратное преобразование \mathbf{x}_j после проекции выборки \mathbf{x} на базис главных компонент, $C_Q(j)$ и $C_Q^*(j)$ – вклад

j-ой переменной в статистику Q и нормированное значение вклада соответственно.

Выбираются параметры, дающие наибольший вклад.

Второй уровень модели предполагает дополнительный учет разбаланса потребления по газу на отдельных участках МГ (распределительных и измерительных станциях), подчиненных конкретной компрессорной станции.

В алгоритм этого модуля предварительно вводится дополнительная информация о балансных объемных расходах газа с учетом следующих штатных источников утечки, которые создают ожидаемые потери [5, 9, 10]: при проведении ремонтно-восстановительных работ ($V_{рем}$), при проверке на негерметичность оборудования фланцевых соединений ($V_{нег}$), при работе пневматических приводов кранов ($V_{пн}$), при проведении продувки на ремонтируемом участке ($V_{пр}$), при опорожнении линии ($V_{оп}$). Для критериальной оценки предлагается степень соответствия потерь газа, выходящих за рамки, определенные статистически для каждого узла:

$$y = 100 - \frac{V_{кон} \cdot 100}{V_{нач} - (V_{негерм.} + V_{пн} + V_{рем} + V_{пр} + V_{оп})}$$

где $V_{кон}$ - объем газа на конечной точке контроля исследуемого участка газопровода, м³; $V_{нач}$ - объем газа на начальной точке контроля исследуемого участка газопровода, м³.

Если выявляется нарушение баланса с учетом известных утечек, и проявляется необоснованное изменение объема газа, то участок принимается, как суженый радиус поиска.

Отдельным модулем выступает система автоматического распознавания появления потенциально опасного объекта в зоне видео наблюдения на территории, окружающей объект МГ. Вопросами несанкционированных врезок в МГ и предотвращения вандализма в области автоматизации систем МГ занимаются постоянно [1, 3, 4, 10]. Наличие камер наблюдения позволяет отслеживать состояние ряда удаленных объектов, но своевременно обнаружение такой ситуации зависит от бдительности оператора, анализирующего видеоданные.

Для оценки степени опасности возникшего нарушения необходимо на основе имеющегося опыта эксплуатации подобных систем (фреймово-продукционная модель) выделить наиболее близкие по описанию нештатные состояния (потенциальные причины отказа) объектов МГ. Чтобы повысить достоверность выдвигаемых диагнозов на уровне – идентификация включается модуль алгоритма расчета критерия на основе показателей надежности. При разработке такого критерия за основу взяты выкладки по оценке периода технического обслуживания и ремонта представленные в патенте РФ 2475854.

Идентификация конкретного элемента технологического участка - узла можно оценить по частоте проявления отказа $X(n_i)$:

$$X(n_i) = \frac{-\ln P(t(n_i))}{(\hat{t}(n_i) \cdot \hat{\lambda}(t(n_i)))}$$

где P , $\hat{\lambda}$, \hat{t} – вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и суммарная наработка объекта.

При расчете порога $X(n_i)$ посредством весовых коэффициентов устанавливается приоритетность по потенциальной опасности последствий не устранения отказа элемента магистральной линии в разрешении конфликтов системы диагностики.

С целью снижения влияния на результаты обнаружения человеческого фактора прилагается вести автоматическое выявление движения в зоне наблюдения объекта, площадь фигуры которого на покадровом изображении соответствует площади, занимаемой одним человеком [11]. Полученное с камеры изображение после снятия шумовых сигналов кодируется в пространстве, где каждый пиксель кодируется 4 атрибутами: а – альфа-канал (0-255), R – канал красного цвета (0-255), G – канал зеленого цвета (0-255), B – канал синего цвета (0-255). Вычисляется абсолютная разницу между двумя массивами, соответствующим двум последовательно идущим кадрам видео изображения. Задав пороговый уровень шума (0-765), где 0 – означает, что любые отличия в изображении, будут учитываться (пролетевший снег, капля дождя и другие мелкие помехи), а 765 – означает, что никакие отличия в изображении не будут учитываться. Пример работы порогового фильтра показан на рисунке 2.

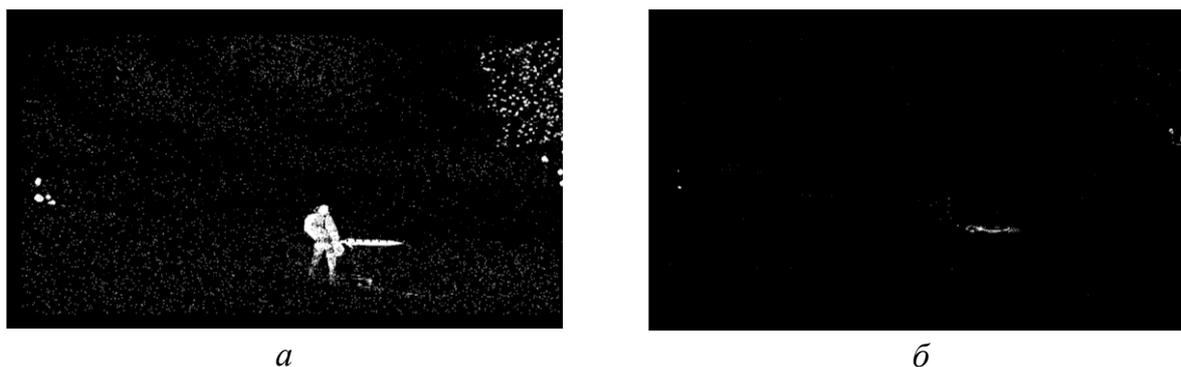


Рисунок 2. Пороговый уровень, распознаваемый алгоритмом:

а – уровень = 0, б – уровень = 70

На рисунке 2-а, помимо основного объекта, множество помех (идёт снег), а на рисунке 2-б, повышение порогового уровня позволило отфильтровать снег и выделить наиболее изменившиеся объекты.

После установки уровня, производится сравнение заданного порогового уровня шума и текущего состояния для разницы между полученными изображениями. При этом текущее состояние изображения рассчитывается как сумма различий по каналам - $dst_i [R] + dst_i [G] + dst_i [B]$. Если текущий уровень больше порогового, то заполняем все цветовые каналы пикселя массива маски числом 255 ($R, G, B = 255$, что соответствует белому цвету). Таким образом, выделяются отличия на изображении. После этого осуществляется поиск контуров объекта и если контуры больше заданного уровня, например, контур содержит 50 пикселей, то такой объект выделяется на изображении и к нему привлекается внимание оператора.

Выводы

Представленная структура системы мониторинга и диагностики имеет комбинированную, дополняемую модульную структуру, позволяющую для каждого конкретного узла компрессорной станции составить свою модификацию с учетом особенностей реализации автоматизированной системы управления на ней. Основной упор сделан на уровне локализации местоположения отказов и снижения влияния человеческого фактора в рамках визуального контроля видеоизображений. Отсутствие расширенной базы измеряемых технологических параметров, характеризующих состояние каждого объекта, в частности магистральных клапанов компенсируется привлечением подходов на базе вероятностных характеристик надежности. Таким образом, сформирована универсальная структура системы мониторинга и диагностики, внедрение которой позволит снизить развитие аварийных ситуаций, сопряженных с возгоранием и значительными потерями газа на этапе его транспортировки.

Список использованной литературы

1. Все о транспорте газа: сайт. - URL: <https://www.turbunist.ru/page,2,3281-tehnologiya-remonta-i-posleremontnyh-ispytaniy-sharovyh-kranov-proizvodstva-firmy-groveitaliya.html> (дата обращения: 14.05.2020).
2. OREDA (2015). Offshore Reliability Data Handbook. OREDA Participants, sixth edition. ISBN: 978-82-14-05948-9.
3. Савонин С.В. Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах / А.В. Москаленко, А.В. Тюндер, С.Е. Князев, З.А. Арсеньева // Инженерная защита. –2015. –Т. -№6(11). – С. 52-57.
4. Фик А.С., Кунина П.С., Бунякин А.В. Анализ повреждений технологических трубопроводов компрессорных станций // Пенза: Изд. дом «Академия естествознания», – 2007. – №4. – С. 118-123.

5. Саликов, А. Р. Технологические потери природного газа при транспортировке по газопроводам: магистральные газопроводы, наружные газопроводы, внутридомовые газопроводы / А. Р. Саликов. — Москва: «Инфра-Инженерия», 2015. — 112 с.
6. Рудакова И.В., Пешехонов А.А., Моисеев А.С. Способ локализации нарушения работы регулирующей и запорной арматуры магистральных газопроводных линий // Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: Салават: Изд-во УГНТУ, 2019. - С. 30 – 32.
7. Черникова А.В., Рудакова И.В., Пешехонов А.А. Развитие системы мониторинга магистральных газопроводов для повышения промышленной и экологической безопасности // Сборник трудов научной и учебно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные области управления, экономики и торговли», СПбПУ, 2017. - С. 132-139.
8. Jingtan C., Department of Building Services Engineering //Applied Energy 82, 2005. – С.197-213.
9. Рудакова И.В. Пешехонов А.А., Федорова Н.А. Локализация нештатных ситуаций при эксплуатации магистральных газопроводных линий / Международный научный журнал «Инновационная наука», Уфа: Аэтерна, №8. – 2020. С. 6-10.
10. Тухбатуллин Ф.Г. О причинах разбаланса природного газа в системе газораспределения и методах прогнозирования его величины / Ф.Г. Тухбатуллин, Д.С. Семейченков // Территория нефтегаз. –2017. – №6. – С. 14-20.
11. Васильев К.К. Статистический анализ изображений / К.К. Васильев, В.Р. Крашенинников // Ульяновск: УлГТУ. –2014. – С. 200-205.

© А.С. Моисеев, И.В. Рудакова, 2020

К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ ТЭС

ассистент **Морозов Григорий Алексеевич**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Злобин Владимир Германович**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются различные варианты технического перевооружения ТЭС. Приводятся основные факторы которые должны учитываться при модернизации.

Ключевые слова. Техническое перевооружение, ТЭС, повышение надежности, замена оборудования.

ON THE ISSUE OF TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF THERMAL POWER PLANTS

Morozov Grigory Alekseevich,
Zlobin Vladimir Germanovich

Abstract. The article describes various options for technical re-equipment of thermal power plants. The main factors that should be taken into account when upgrading are given.

Keywords. Technical reequipment, thermal power plants, improve reliability, replacement of equipment.

Для технического перевооружения ТЭС целесообразно рассматривать несколько вариантов реконструкции или модернизации, а именно:

- 1) полная замена оборудования, отработавшего свой ресурс, новым;
- 2) продление срока службы и частичная замена физически изношенного морально устаревшего оборудования более совершенным;
- 3) расширение действующей ТЭС путем новых блоков;
- 4) сооружение новых ТЭС;
- 5) утилизация промышленных тепловых отбросов и (или) использование вторичного топлива (например, отходящих газов нефтеперерабатывающего завода) путем создания когенерационных установок.

При сравнении вариантов должны учитываться как технико-экономические показатели, так и их перспективность; однако на первоначальных стадиях проработки приоритет предпочтительно отдавать проектам, обеспечивающим наибольшую экономию топлива и снижение вредных выбросов.

Рассмотрение имеющихся предложений по совершенствованию ТЭС показывает, что по-прежнему значительную долю новых энергоустановок составляют в этих предложениях паровые турбины с противодавлением и теплофикационного типа с конденсацией. В то же время, как показывает анализ тенденций развития мировой энергетики, комбинированное электроснабжение на базе традиционных ПТУ практически не имеет перспектив. Весьма металлоемкие, недостаточно экономичные установки паросилового цикла занимают значительные площади в черте городов, их градирни ухудшают локальное состояние атмосферы, особенно вблизи высотных зданий, а сжигание на ТЭЦ, наряду с газом, сернистых мазутов увеличивает количество вредных выбросов. Недостаток маневренных мощностей вынуждает работать теплофикационные ПТУ в часы ночного провала нагрузки, в том числе и летом. В итоге по оценкам работы [1], 40 % электроэнергии, вырабатываемой ТЭЦ, приходится на конденсационный режим, когда удельный расход топлива существенно выше, нежели на КЭС.

Как показывает опыт эксплуатации, и при полной загрузке теплофикационных отборов заметный вклад в потери вносит неэффективная работа ЦНД турбины с неизбежным сбросом части пара в конденсатор ТЭЦ с высокими параметрами пара отличает малая маневренность, что создает большие трудности в покрытии неравномерного электрического графика нагрузок, а ряд мероприятий по повышению маневренных качеств теплофикационных ПТУ [2, 4], сопровождается снижением экономичности и, в определенной степени, надежности оборудования.

Анализ материалов по проблемам и перспективам развития ТЭС показывает, что общемировой тенденцией, направленной на повышение экономичности тепловых электростанций и снижение их негативного воздействия на окружающую среду, является ориентация на строительство газотурбинных и парогазовых установок.

Модернизация действующих ТЭС по парогазовому циклу может быть осуществлена следующими основными путями:

- 1) газотурбинная пристройка;
- 2) парогазовая пристройка;
- 3) газотурбинная надстройка;
- 4) парогазовая надстройка;
- 5) замена полностью демонтируемого устаревшего и физически изношенного оборудования парогазовыми установками, выполненными по той или иной схеме.

Однако наличие большого числа различных способов технического перевооружения затрудняет выбор оптимального варианта модернизации для условий конкретной ТЭС, так как на стадии пред проектного поиска сведения о необходимых затратах на реконструкцию основного и вспомогательного

оборудования обладают еще значительной неопределенностью. Кроме того, высокие, трудно предсказуемые темпы инфляции и скачкообразные изменения цен на топливо и оборудование делают некорректными попытки использования текущих цен в технико-экономических расчетах при разработке программ развития ТЭС на перспективу. Не отвечает реальности и использование более стабильной системы цен любого предыдущего периода, умноженных на поправочный коэффициент, так как старая система цен не отражала ни полных затрат на различные виды топлива, ни их потребительской стоимости.

Более обоснованными при расчетах на перспективу, когда установятся реальные рыночные отношения и расширятся связи с мировым рынком, были бы расчеты по мировым ценам на топливо и оборудование. Однако при таком подходе необходимо учитывать ряд специфических особенностей экономики России (например, высокий банковский процент на капитал, условия формирования инвестиционных фондов, инфляционные процессы и т. п.), что требует определенных уточнений весьма существенных при расчетах на ближнюю перспективу (до 5 — 10 лет), а по некоторым показателям, возможно, сохраняющимся и в более отдаленный период (20 — 25 лет).

Поэтому представляется целесообразным основное внимание уделить анализу технических возможностей, связанных с модернизацией ТЭЦ, с учетом ограничений, которые позволят значительно сократить число вариантов схем для их последующей более детальной проработки. Это должно проводиться с учетом следующих основных факторов.

1. Возможность реализации рассматриваемой схемы в условиях данной ТЭС, что связано с наличием соответствующего места в главном корпусе и на территории станции, необходимого для размещения оборудования парогазовых и (или) газотурбинных пристроек или надстроек. Это обстоятельство может оказаться решающим, так как действующие ТЭС, намечаемые для реконструкции по парогазовой технологии, находятся, как правило, в черте городов на стесненных площадях, препятствующих их дальнейшему расширению. Поэтому размещение нового оборудования следует осуществлять в зависимости от конкретных условий генерального плана — в самостоятельном новом корпусе (если это возможно) или в старом главном корпусе без расширения площадей станции. Последнее связано с демонтажем части физически и морально устаревших котлов или турбогенераторов для установки на их месте оборудования ПГУ; при этом должен обеспечиваться вывод из работы по возможности, минимальной мощности и ввод нового оборудования в предельно сжатые сроки,

2. Фактор тепловой экономичности модернизированного оборудования в части снижения расходов топлива в номинальном и нерасчетных режимах при различной температуре наружного воздуха, при частичных нагрузках, при различном числе находящихся в работе газовых турбин и т.п.

3. Необходимые масштабы и длительность реконструкции основного оборудования, что напрямую связано с величиной возможного недоотпуска электроэнергии и теплоты в течение времени, необходимого для полной или частичной модернизации ТЭС. Поэтому следует, прежде всего, либо ориентироваться на такие схемы модернизации, которые не требуют для своей реализации времени, большего, чем период ремонтной кампании, либо к моменту широкомасштабной реконструкции всей ТЭС создать на ее свободных площадях (если таковые имеются) запас по генерирующим мощностям путем строительства установок по парогазовой технологии с высокой экономичностью, выполненных по той или иной схеме. В последнем случае следует помнить о важности фактора унификации, т.е. предусматривать возможность тиражирования такого типа ПГУ на модернизируемой ТЭС, так как монтаж и эксплуатация однотипного оборудования снижает затраты.

4. Эксплуатационная гибкость и надежность модернизированного оборудования, связанные с перспективным (после модернизации) режимом работы электростанции.

Естественно, что стремление к обеспечению высокой экономичности проектируемой установки и ее экологической чистоты должно сопровождаться высокими показателями надежности.

Применительно к проводимому анализу плодотворным может быть использование метода дерева отказов, нашедшего широкое применение в оценке структурной надежности АЭС как для систем нормальной эксплуатации, так и систем работающих в режиме «ожидания»). Для получения представительных количественных оценок надежности ПГУ (с использованием указанного выше метода) необходим набор статистических данных по основным показателям надежности (интенсивность отказов, время восстановления, среднее время наработки на отказ и пр.), относящимся к структурным элементам ПГУ.

В некоторых случаях при модернизации действующей ТЭС могут быть использованы одновременно несколько способов повышения ее экономичности в результате перехода на парогазовый цикл, например, парогазовая пристройка с реконструкцией и переводом всей станции в парогазовый режим. В зарубежной практике широко используется метод преобразования эксплуатируемых ГТУ в ПГУ или пристройка к действующим ГТУ котлов-утилизаторов для получения технологического пара [3].

При этом, если турбоагрегаты и паровые котлы находятся в достаточно хорошем состоянии, допускающем их надежную работу в течение 10- 15 лет, то следует рассматривать возможность модернизации по любой из выше перечисленных схем. Если физически устарели только действующие котельные агрегаты, то число альтернативных вариантов сокращается, так как потребуются демонтаж котельного оборудования и сооружение на его месте других парогенерирующих установок, и, следовательно, схемы газотурбиной и

парогазовой пристройки не могут быть реализованы в чистом виде. При полной выработке ресурса работы котлов и турбин, должен производиться демонтаж всего старого теплоэнергетического оборудования с установкой на его месте нового, значительно более экономичного.

Таким образом, учитывая основные факторы, а именно: возможность реализации рассматриваемой схемы в условиях данной ТЭС, необходимые масштабы и длительность реконструкции основного оборудования, эксплуатационную гибкость, достигается возможность проведения грамотного технического перевооружения ТЭС с минимальными финансовыми затратами и достижения требуемой надежности системы.

Список использованной литературы

1. Стырикович М.А. Природный газ в централизованном электро- и теплоснабжении // Теплоэнергетика. – 1994. – №5. С. 50-57.
2. Иванов В.А. Режимы мощных паротурбинных установок. – 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
3. Боруш, О. В. Парогазовые установки: учебное пособие / О. В. Боруш, О. К. Григорьева. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. — 64 с.
4. Григорьева, О. К. Теплоэнергетика. Тепловая экономичность паротурбинных энергоблоков : учебное пособие / О. К. Григорьева, О. В. Боруш. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. — 51 с.

© Г.А. Морозов, В.Г. Злобин, 2020

МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОССИЙСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО РЫНКА УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

студент гр. 517 **Москаленко Павел Анатольевич**,
ассистент **Труханова Ирина Александровна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе проведены анализ рынка приборов автоматизации, сравнение цен российских и импортных устройств, указаны особенности функционала отечественных приборов, а также положительные аспекты импортозамещения приборов автоматизации в современном мире.

Ключевые слова. Устройства автоматизации, преобразователь частоты, контроллер, терморегулятор.

MARKETING RESEARCH OF THE RUSSIAN AND FOREIGN MARKET OF AUTOMATION DEVICES

Moskalenko Pavel Anatolyevich,
Trukhanova Irina Aleksandrovna

Abstract. The paper analyzes the market of automation devices, compares prices of Russian and imported devices, indicates the features of the functionality of domestic devices, as well as positive aspects of import substitution of automation devices in the modern world.

Keywords. Automation devices, frequency converter, controller, temperature controller.

Введение: В настоящее время во всем мире уровень автоматизации технологических процессов постоянно повышается. В связи с чем появляется необходимость в разработке более эффективных и современных устройств автоматизации. По всему миру множество фирм производит различное оборудование для автоматизации технологических процессов. Это изобилие приводит к тому, что покупатель тратит огромное количество времени на выбор нужного продукта, а время – один из ценнейших ресурсов в нашей жизни. Для решения этой проблемы проведем анализ рынка приборов автоматизации и определимся с наилучшими вариантами.

Частотные преобразователи российских и импортных брендов

Для начала нужно понять, что такое частотные преобразователи, для чего они нужны и где применяются.

Преобразователь частоты применяют в паре с асинхронным двигателем для автоматической корректировки частоты переменного тока под заданные параметры. Таким способом прибор непрерывно контролирует скорость и момент электродвигателей. Использование частотных преобразователей помогает не только автоматизировать процесс, но и сэкономить электроэнергию – до 50 % [1].

Современные частотные преобразователи автоматизируют такие системы и оборудования, как: конвейерные механизмы, подъемное оборудования (краны, лифты), насосы и системы очистки воды, станки промышленного назначения, вентиляторы.

Выбор подходящего заранее заданным критериям устройства позволит обеспечить бесперебойную работу привода и сократить потребление электроэнергии.

Из ряда отечественных производителей внимание стоит уделить такой фирме как «Эффективные системы», поскольку она является передовым поставщиком частотных преобразователей в России.

Из ряда импортных стоит рассмотреть частотные преобразователи фирм «Danfoss» и «INVT», поскольку они являются лидерами рынка.

На данный момент в сфере использования средств автоматизации в российской промышленности актуальна следующая тенденция: импортозамещение - качество продукции отечественного производителя в сфере автоматизации вышло на новый уровень. Российские компании не только достигли уровня импортных производителей, но и могут составить серьезную конкуренцию.

Частотный преобразователь компании «Эффективные системы» имеет ряд особенностей, расширяющих его функционал: имеет высокие показатели глубины регулирования скорости и отличные возможности по управляемости и контролю, а так же имеет в наличии векторный режим управления. Кроме того, возможна поставка преобразователей в пыле-, влагозащищенном исполнении IP54 и с расширенным климатическим диапазоном УХЛ1.

Ниже представлены цены на частотные преобразователи:

- Частотные преобразователи Danfoss серии VLT Micro Drive FC 51 (мощность 1,5 кВт) – 19 565 [2].

- Преобразователи частоты «Эффективные системы» ES022-02-0070 (мощность 1,5 кВт) – 20 500 [3].

- Преобразователь частоты INVT GD10-1R5G-S2-B (мощность 1,5 кВт) – 21 574 [4].

Программируемые контроллеры

Для того чтобы соотнести стоимость программируемых контроллеров, обратимся к таким зарубежным компаниям, как «Lovato» и «Siemens», а из числа Российских фирм рассмотрим продукцию компании «Овен».

Контроллером в автоматизированных системах называют техническое средство, управляющее физическими процессами в соответствии с установленным алгоритмом, с использованием считываемой датчиками информации и выводимой на определенное устройство.

ПЛК контроллеры обычно применяют для управления и контроля производственного оборудования. Они становятся главным ядром автоматизированной системы управления. Принцип действия такой системы выстроен на получении и передаче по сети команд управления. Программируемый контроллер является самостоятельным элементом, который изготавливают отдельно от управляемого им оборудования.

Ниже представлены цены на программируемые контроллеры:

- Программируемый контроллер «Овен» ПЛК63 – 14 514 [5].
- Программируемый контроллер «LOVATO» RGK800 – 26 740 [6].
- Программируемый контроллер «Siemens» S7-1500 – 16 297 [7].

ПЛК «Овен» имеет ряд отличительных особенностей:

1. Средства управления и индикации располагаются непосредственно на самом контроллере.
2. Протоколы Modbus (RTU, ASCII) поддерживаются при помощи специальных библиотек.
3. Возможность подключать внешние устройства с нестандартными протоколами посредством работы напрямую с портами контроллера.
4. В контроллер встроена батарея, позволяющая организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременно пережить отсутствие питания, осуществление перевода выходных элементов в безопасное состояние.

Терморегулятор и сфера его применения

В целом, терморегулятор (термостат) - устройство, позволяющее поддерживать заданную температуру воздуха или определенной поверхности. Если же рассматривать более конкретно, то терморегулятор – промежуточное звено в цепочке комфортных условий, на одном конце которой находится обогревательный или охлаждающий прибор, а с другой – датчик температуры.

Сфера применения терморегуляторов имеет крайне широкий диапазон: начиная от контроля приборов отопления самых обычных квартир до огромных промышленных объектов. Под управлением ПЛК находятся бытовые кондиционеры и морозильные камеры большой мощности.

Термостаты контролируют подогрев грунта в теплицах или антиобледенение крыш. Термостаты работают в огромном множестве систем. И хотя речь не идет про одно и то же изделие, конструктивно они всегда очень похожи.

Компании «Varmann» и «Danfoss» предлагают широкий выбор терморегуляторов, но отечественный производитель «Овен» ничем не уступает этим двум «гигантам». Продукцию этих поставщиков мы и рассмотрим.

Цены на программируемые терморегуляторы:

- Терморегулятор Varmann Vartronic – 8 310 [8].
- Терморегулятор Овен 2ТРМ0 – 3 816 [5].
- Терморегулятор Danfoss Icon™ - 5 481 [2].

Главные преимущества регулятора Овен 2ТРМ0:

1. Улучшенная помехоустойчивость: 2ТРМ0 полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 51522 (МЭК 61326-1) по электромагнитной совместимости для оборудования класса А (для промышленных зон) с критерием качества функционирования А;
2. Повышенная точность измерений: погрешность измерений не превышает 0,15 % (при классе точности 0,25/0,5);
3. Улучшенные показатели климатического исполнения: допустимый диапазон рабочих температур от –20 до +50 °С;
4. Расширенный диапазон напряжений питания: 90÷245 В частотой 47÷63 Гц;
5. Встроенный источник питания 24 В во всех модификациях нового 2ТРМ0 для питания активных датчиков или других низковольтных цепей АСУ.

Заключение

На примере описанного выше оборудования наблюдается тенденция, что стоимость продукции отечественного производителя в большинстве случаев ниже продукции зарубежных фирм при сравнительно одинаковых характеристиках. Российским потребителям стоит отдавать предпочтение отечественному производителю, поскольку это поможет развиваться отечественному рынку устройств автоматизации, а также позволит сэкономить значительное количество ресурсов. Учитывая рост курса национальной валюты относительно курса рубля, можно сделать вывод о том, что импортное оборудование будет становиться только дороже. Именно поэтому сейчас наиболее актуальным является развитие импортозамещения на рынке устройств автоматизации в России.

Список использованной литературы

1. Керимов Д.А. Импортозамещение в энергетике// Вестник Югорского государственного университета. 2016. Выпуск 4 (43). С. 52-55. [Электронный ресурс].
2. Интернет ресурс <https://www.danfoss.com/ru-ru/>
3. Интернет ресурс <https://www.softstarter.ru/>
4. Интернет ресурс <https://www.invt.com/>
5. Интернет ресурс <https://owen.ru/>
6. Интернет ресурс <https://www.lovatoelectric.ru/>
7. Интернет ресурс <https://www.siemens-ru.com/>
8. Интернет ресурс <https://varmann.ru/>

© П.А. Москаленко, И.А. Труханова, 2020

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

студент гр. 519 **Никешин Владислав Геннадьевич**,
Науч. руководитель: ст. преподаватель **Бондаренкова Ирина Владимировна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье проводится обзор программного обеспечения для решения основных задач при использовании автоматизированных систем управления наружным освещением. Приводится анализ возможностей и особенностей применения программного обеспечения в различных автоматизированных системах.

Ключевые слова. Автоматизированная система управления наружным освещением, программное обеспечение, автоматизированное рабочее место, диспетчерское управление, технический учет энергоресурсов, система управления базами данных.

AUTOMATED OUTDOOR LIGHTING CONTROL SYSTEMS SOFTWARE

Nikeshin Vladislav Gennadyevich,
Bondarenkova Irina Vladimirovna

Abstract. This article provides an overview of software for solving basic problems using automated outdoor lighting control systems. An analysis of the possibilities and features of the use of software in various automated systems is given.

Keywords. Automated control system for outdoor lighting, software, automated workstation, dispatch control, technical accounting of energy resources, database management system.

Специализированное программное обеспечение (ПО) в автоматизированных системах управления наружным освещением (АСУНО) предназначено для отслеживания, просмотра и внесения изменений в регулирование текущих параметров системы.

В настоящий момент существует большое количество различного рода программного обеспечения для работы с автоматизированными системами управления наружным освещением. Любое ПО должно обеспечивать выполнение основных задач системы: создание расписания работы АСУНО, индикацию данных со счётчиков, формирование отчетов по энергопотреблению,

разграничение прав доступа и многое другое. Обычно каждое ПО для удобства пользователей предусматривается три режима работы системы: ручной, автоматизированный и автоматический.

Одним из крупнейших производителей ПО широкого профиля для АСУНО является российская компания «ADC Энергия». Ниже представлен анализ программного обеспечения «ПолиТЭР» от этого производителя, полученный по результатам проведенного обзора литературных источников.

Данное программное обеспечение предназначено для автоматизированного диспетчерского управления и коммерческого учета потребления электроэнергии в системах наружного освещения городов и промышленных предприятий [1]. Используется в автоматизированных системах коммерческого и технического учёта энергетических ресурсов, автоматизированных системах диспетчерского контроля и управления объектами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), топливно-энергетической сферы, технологическими процессами и производствами.

В технических характеристиках данного программного обеспечения можно выделить следующие важные особенности:

- возможность масштабирования системы;
- возможность поддержки различных сетей передачи данных;
- возможность подключения и включения в работу сервера баз данных под управлением СУБД «Oracle»;
- возможность просмотра удалённому пользователю данных о диспетчеризации через популярную сеть Интернет.

К его основным функциям можно отнести следующие:

- полнофункциональная работа встроенной SCADA-системы в реальном времени;
- возможность просмотра данных в удобном виде: мнемосхемы, графики, таблицы, отчёты, тренды;
- возможность разграничения прав пользователей;
- возможность фиксирования истории процессов с определённой периодичностью;
- предупреждение и сигнализация аварий на экранах автоматизированных рабочих мест;
- возможность создания и редактирования конфигурации системы.

Интерфейс данного программного обеспечения не является интуитивно понятным и требует некоторой доработки для удобства и простоты работы с ним. Пример интерфейса представлен на рисунке 1.

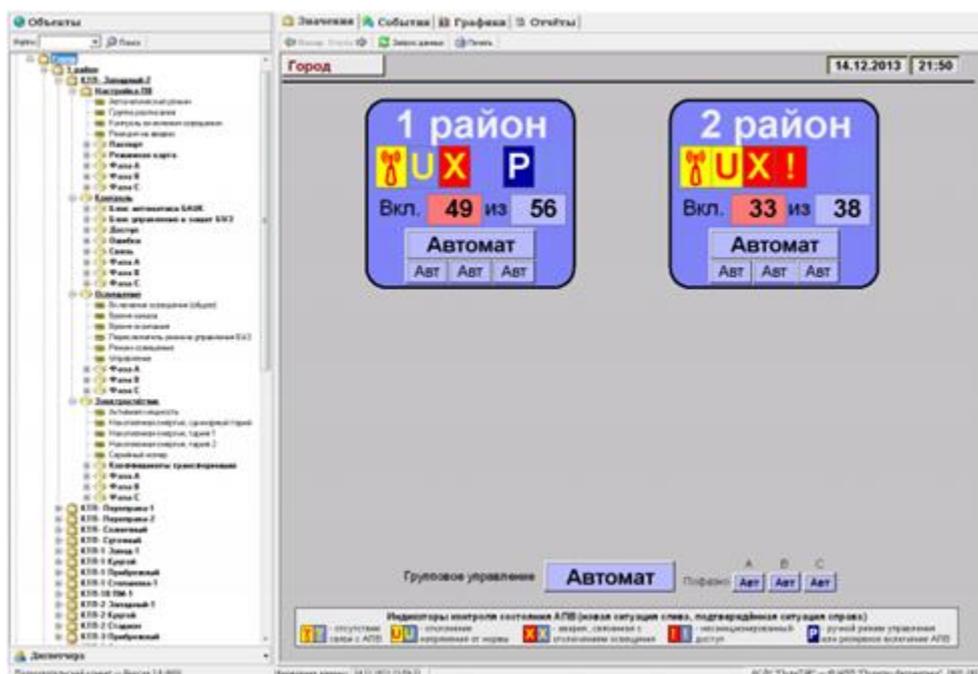


Рисунок 1. Объект автоматизации в программном обеспечении «ПолиТЭР»

На практике в настоящее время сложилась такая ситуация, что каждый производитель АСУНО сам создаёт своё программное обеспечение под конкретные запросы заказчика, в зависимости от необходимого перечня функций системы или объекта автоматизации. Это экономически и технически целесообразно.

Программное обеспечение «Пирамида 2000» для АСУНО «Пирамида» является ключевой составляющей информационно-измерительной системы «Пирамида» и применяется для формирования вычислительной среды в центрах сбора и обработки данных, диспетчерских центрах, подразделениях предприятий, чья деятельность так или иначе связана с управлением технологическими процессами и производством, контролем и учётом энергоресурсов [2].

По словам разработчиков ПО «Пирамида 2000» постоянно обновляется. Достоинством данного программного обеспечения является возможность поддерживать не только задачи учета всех видов энергоресурсов, но и другие сферы деятельности предприятия, в частности управление любыми технологическими процессами.

Выполняемые данным ПО задачи можно условно разделить на несколько уровней:

- сбор и хранение данных, автоматизация расчётов;
- визуализация, мониторинг и управление локальным процессом;
- аналитика, контроль технологического процесса, помощь в принятии решений.

Пример интерфейса программного обеспечения «Пирамида 2000» представлено на рисунке 2.

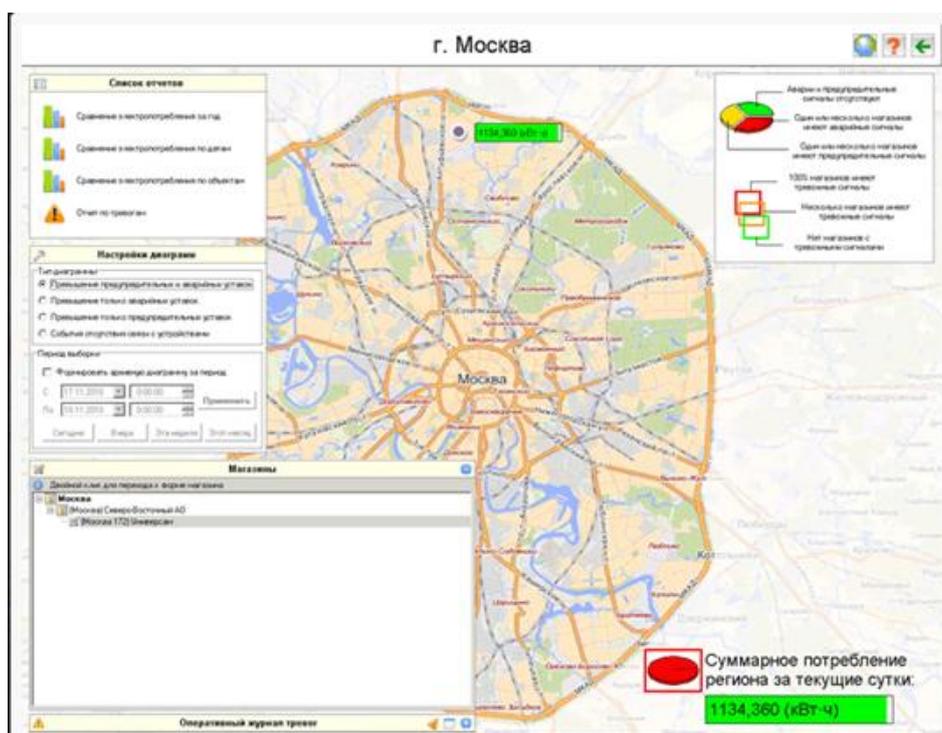


Рисунок 2. Специализированный интерфейс оператора АСУНО «Пирамида»

Программное обеспечение для АСУНО «Кулон» предоставляет широкие возможности для оперативного контроля и управления объектами наружного освещения. Оно позволяет удалённо управлять, настраивать и контролировать объекты наружного освещения [3].

Одним из основных достоинств рассматриваемого ПО является возможность проводить всесторонний анализ функционирования удаленных объектов, назначать и контролировать работы по обслуживанию оборудования и осуществлять рассылку отчетов по энергопотреблению и энергосбережению всем заинтересованным лицам.

Преимуществами программного обеспечения АСУНО «Кулон» являются:

- современность, потому что есть возможность работы по различным каналам связи, например Ethernet, GSM, 3G, GPRS;
- широкий функционал (позволяет реализовать контроль как каждого светильника, так и групп светильников);
- дистанционное обновление (позволяет обновлять программное обеспечение встроенного оборудования дистанционно);
- лёгкая интеграция (предоставляется возможность обмена данными с системами управления более высокого уровня на базе стандартных современных протоколов).

Пример интерфейса программного обеспечения «Кулон» представлен на рисунке 3.

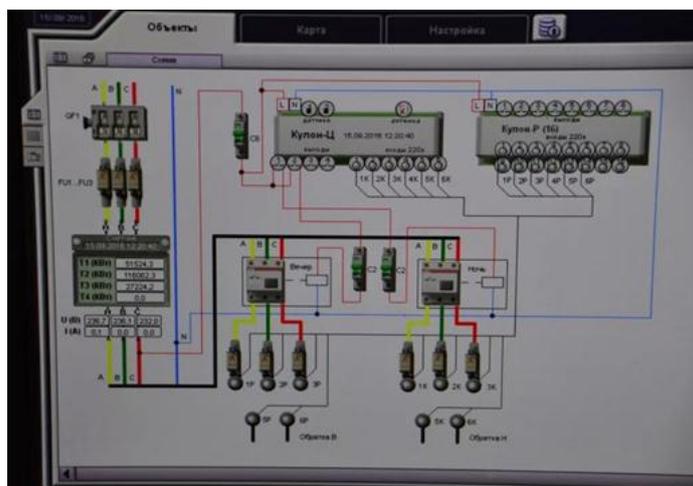


Рисунок 3. Интерфейс оператора АСУНО «Кулон»

Проанализировав существующее программное обеспечение можно выделить некоторые общие черты:

- дружелюбный интерфейс;
- возможность составления и редактирования расписания включения и выключения ламп;
- возможность оперативного управления освещением;
- возможность отслеживания состояния объектов освещения;
- возможность просмотра данных со счётчика;
- возможность получения отчёта с параметрами электроэнергии по команде диспетчера;
- возможность ведения файла событий (лог);
- возможность создания пользовательских групп с разными правами доступа;
- возможность создания и редактирования мнемосхем;
- удобный рабочий стол для персонала.

Список использованной литературы

1. Официальный портал разработчика программного обеспечения «ПолиТЭР» для АСУНО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.adsenergy.ru/ru/products/programmnoe-obespechenie-asuno-politer/>, свободный (дата обращения: 15.11.2020).
2. Официальный портал разработчика программного обеспечения «Пирамида 2000» для АСУНО «Пирамида» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sicon.ru/prod/po/pyramid2000/>, свободный (дата обращения: 15.11.2020).
3. Официальный портал разработчика программного обеспечения для АСУНО «Кулон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sundrax.ru/solutions/street-lighting/>, свободный (дата обращения: 16. 11. 2020).

© В.Г. Никешин, И.В. Бондаренкова, 2020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЗУТА С ПРИСАДКОЙ В ВИДЕ ШЛАМА

студент гр. ПТЭРМ-1-19 **Носачев Глеб Петрович**,
Науч. руководитель: д-р техн. наук, профессор **Зверева Эльвира Рафиковна**
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Эффективность использования присадки к мазуту позволит связывать химические элементы серы в процессе его сгорания, уменьшать низкотемпературную сернокислотную коррозию всех нагреваемых поверхностей, снижать в выбросах долю оксидов серы. В качестве материала присадки целесообразно использовать обезвоженный карбонатный шлам, накопления которого являются неограниченным ресурсом, что позволяет начать их массовое применение.

Ключевые слова. Мазут, шлам, карбонатный, химическая очистка, присадка, водоподготовка.

USE OF FUEL OIL WITH AN ADDITIVE IN THE FORM OF SLUDGE

Nosachev Gleb Petrovich,
Zvereva Elvira Rafikovna

Abstract. This article presents the effectiveness of using an additive to fuel oil, which will bind the chemical elements of sulfur during its combustion, reduce the low-temperature sulfuric acid corrosion of all heating surfaces, and reduce the share of sulfur oxides in emissions. As an additive material, it is advisable to use dehydrated carbonate sludge, the accumulation of which is an unlimited resource, which allows them to start mass application.

Keywords. Fuel oil, sludge, carbonate, chemical cleaning, additive, water preparation.

В настоящее время топочный мазут используется в основном в котельных и тепловых электростанциях как судовое топливо. Соответственно, его качество сказывается на условиях его хранения и транспортировки, а также на количестве вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при сжигании, и на работу котельного оборудования. Следует отметить, что использование высокосернистого мазута приводит к тому, что происходит заметное выделение определенного количества токсичных оксидов серы и азота, а также канцерогенных полициклоаренов (бензапирена и пентаоксида ванадия). В результате образуются оксиды серы, повышается точка росы отходящих

дымовых газов, приводящая к образованию достаточного количества серной кислоты, и, как следствие, к замене хвостовых частей котельных, к ремонту отработавших агрегатов из-за их коррозии.

Основной тенденцией развития российской нефтеперерабатывающей отрасли сегодня является увеличение глубины переработки нефти и повышение объема выпуска высококачественного нефтепродукта для потребителя. Однако мы можем наблюдать, что по мере углубления переработки нефти доля прямогонного мазута в топливе для котельных снижается, доля же гудрона и остатков крекинг-процессов растет. Следовательно, качество топочного мазута резко снижается.

Не менее важной проблемой энергетики является переработка, хранение, утилизация отходов и шламов. Сегодня золошлаковые отвалы требуют огромных площадей, более того, организация таких площадок, их содержание требуют значительных эксплуатационных ресурсов, что, как следствие, скажется на увеличении себестоимости производства энергии. Они являются основным источником загрязнения окружающей биосферы. По мере увеличения количества золошлаковых материалов увеличивается и площадь земель, которые необходимо отводить под золоотвалы, что приводит к их изъятию из промышленного и сельскохозяйственного производства. Эта проблема еще не решена.

Достаточно большое количество карбонатного шлама образуется при эксплуатации систем химической очистки воды (ХВО) на электростанциях. Карбонатный шлам, продукт, полученный в результате химического осаждения, обладает целым рядом комплексов физико-химических свойств: специфическим ионизационным потенциалом, поверхностной активностью и высокой дисперсностью. Карбонатный шлам в настоящее время уже используется в качестве модифицирующей добавки к каучуковому сырью для производства различных вяжущих в строительной промышленности, реагента для очистки нефтеэмульсионных сточных вод, известковой муки в сельском хозяйстве, наполнителя для асфальтобетона и др.

В настоящее время, шламы ХВО складываются, постепенно скапливаются в шламоотвалах. Учитывая значительное количество накапливаемых шламов, безопасность, доступность и низкую стоимость, они имеют неплохие перспективы для широкого применения в целях ресурсосбережения в энергетике, в частности, в качестве добавки к высокосернистому мазуту. Утилизация шламов ХВО является важной экологической проблемой на всей территории России. Объем накопленного шлама водоочистки на шламохранилищах Республики Татарстан уже превысил триста тысяч тонн, при этом наблюдается достаточно устойчивая тенденция непрерывного роста шламонакопления. С ростом общего объема промышленных отходов, их негативного воздействия на окружающую среду и увеличением затрат, связанных со сбором шламов, их захоронением на полигонах, а также

необходимостью их хранения или утилизации, задача выбора оптимальной технологии утилизации шламов водоподготовки становится все более актуальной.

Анализ современной литературы показал, что осадок водоочистных сооружений может быть широко использован в качестве вторичного сырья при условии, что товарный вид продукта и условия транспортировки обеспечиваются его обезвоживанием. В реальное время карбонатный шлам водоочистки используется для регенерации извести из него, в строительной промышленности для приготовления цементных растворов и производства гипса, а также возможно использование шлама осветлителей в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых почв. В области энергетики осадок, образующийся при умягчении природных вод тепловых электростанций, пока масштабно полезно не используется.

Таблица 1. Показатели качества топочного мазута марки М100 при использовании в качестве присадки карбонатного шлама

Определяемый показатель	Концентрация присадки в мазуте, % (масс)						
	0	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Вязкость условная при 80 °С, °ВУ	13,4	13,3	13,2	13	12,9	12,8	12,5
Температура застывания, °С	7,3	4,8	3,6	3,8	3,5	1,7	1,7
Содержание влаги, %	1,7	2	2,1	2,2	2	1,8	2
Содержание серы, %	2,9	2,64	2,51	2,51	2,48	2,45	2,37
Низшая теплота сгорания рабочая, кДж/кг	39375	39467	39259	38984	38876	38133	38644
Зольность, %	0,127	0,377	1,144	1,74	2,21	2,73	3,25
Содержание механических примесей, %	0,217	0,395	0,56	0,67	0,87	1,203	1,44
Плотность при 20 °С, кг/м ³	990	1014	1007	996	993	995	1000
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие						Слабо-кислая
Кислотное число, мг КОН/г	~0						

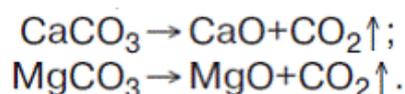
Карбонатный шлам возможно использовать только после того, как пройдет обезвоживание или сушка при постоянной температуре 120-130 °С.

Высушенный шлам представляет собой порошок, довольно рассыпчатый, колеблющийся от светло-серого до тёмно-бурого цвета с влажностью 15 %, массовой долей карбонатов магния и кальция (80-88 %). Состав же шламов, образующихся при коагуляции и известковании природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, но ведущим компонентом всё же является карбонат кальция (75-85 %), а так же гидроксиды железа и магния (по 4-8 % каждого компонента) и органические и кремнекислые соединения [1, 2, 3].

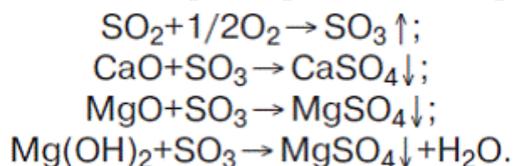
В результате применения присадки, препятствующей росту зарождающихся кристаллов, вязкость вещества и температура охлаждения и затвердевания мазута снижаются до необходимого уровня, а, следовательно, снижаются энергозатраты на нагрев мазута для перекачки его по трубопроводу.

Механизм действия присадки на оксиды серы, образующиеся при сжигании топочного мазута:

1. Разложение соединений присадки - углекислого кальция CaCO_3 при $t > 900^\circ\text{C}$ и углекислого магния MgCO_3 при $t > 540^\circ\text{C}$:



2. Связывание оксидов серы, образующихся при горении мазута:



Не считая SO_2 , также в факеле можно обнаружить двухатомную серу S_2 , сероводород H_2S и свободные радикалы SO , S , SH . При достаточно высоких температурах относительное содержание свободных радикалов SH , SO и S имеет возможность достигнуть 30 % от общего содержания серы. Свободные сернистые радикалы на этапе превращений, также могут вступать в определённые химические реакции с разными компонентами присадки. Нельзя упускать из внимания и то, что имеет место адсорбция сернистых соединений на оксидах магния и кальция, а также на самых малых частичках золы. Элементный анализ состава золы (табл. 2), полученной при сжигании мазута с присадкой, доказывает возможность описанных выше процессов.

Таблица 2. Элементный состав золы и мазута с присадкой

Номер опыта	Содержание компонентов					
	Mg	S	Ca	Fe	Na	Al
1	8,73	3,31	14,38	20,05	8,25	9,68
2	8,76	3,96	14,65	20,42	8,41	9,86

Следовательно, данная присадка к мазуту, представленная в виде обезвоженного карбонатного шлама, позволяет химически связывать серу, содержащуюся в жидком топливе при его сжигании. И этим снизить низкотемпературную (сернокислотную) коррозию поверхностей нагрева, а еще уменьшить долю оксидов серы в выбросах в атмосферу [4, 5, 6].

В качестве присадки целесообразно применить обезвоженный карбонатный шлам с размером частиц не превышающих 0,09 мм и общим содержанием карбонатов магния и кальция не меньше 85 %. На данный момент накопленные объемы шлама водоочистки, а также его ежегодное увеличение являются неограниченным ресурсом для начала их массового и систематического применения в энергетике в качестве полезной, доступной добавки к топочному мазуту.

Список использованной литературы

1. Пат. 2363722 Российская Федерация. Присадка к мазуту/ Э.Р. Зверева, Л.В. Ганина. Оpubл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
2. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андрияшина И.А. Влияние присадки на эксплуатационные свойства топочных мазутов //Химия и технология топлив и масел. 2009. № 5. С. 31-33.
3. Зверева Э.Р. Присадки к топочным мазутам//Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 1-2. С. 7-17.
4. Зверева Э.Р. Использование карбонатного шлама в качестве присадки к котельным топливам // Сб. трудов VI Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2010. С. 11-116.
5. Зверева Э.Р. Повышение качества топочных мазутов // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 25. № 4. С. 99-104.
6. Зверева Э.Р., Дмитриев А.В., Шагеев М.Ф., Ахметвалиева Г.Р. Результаты промышленных испытаний карбонатной присадки к мазуту // Теплоэнергетика. 2017. № 9. С. 50-56.

© Г.П. Носачев, Э.Р. Зверева, 2020

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАБОРАТОРНОГО
ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛОВОГО
НАСОСА ФИРМЫ «MEASLAB»**

студент гр. 513 **Савенко Александр Вячеславович**,
ассистент **Цимбал Виктор Дмитриевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрен цикл работы лабораторной установки с одноступенчатым парокомпрессионным тепловым насосом. Рассчитаны показатели эффективности установки, также были выявлены зависимости этих показателей друг от друга. Рассмотрен вариант работы установки в качестве нагревателя и кондиционера. Сделан вывод о целесообразности использования тепловой насосной установки в помещении.

Ключевые слова. Тепловой насос, тепловая насосная установка, эффективность, одноступенчатый тепловой насос.

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A LABORATORY SINGLE-
STAGE VAPOR COMPRESSION HEAT PUMP OF THE FIRM "MEASLAB"**

**Savenko Aleksander Vyacheslavovich,
Tsimbal Viktor Dmitrievich**

Abstract. The article discusses the cycle of work of a laboratory unit with a single-stage vapor compression heat pump. The efficiency indicators of the installation were calculated, and the dependence of these indicators from each other was revealed. A variant of the unit operation as a heater and cooler is considered. The conclusion about the expediency of using HPU indoors is made.

Keywords. Heat pump, TNU, efficiency, single stage heat pump.

В связи с политикой большинства Европейских стран о сокращении выбросов углекислого газа, резко стали набирать популярность альтернативные способы отопления и получения горячего водоснабжения (ГВС). Одним из таких способов является установка в качестве нагревателя теплового насоса (ТН), состоящего из следующих элементов: испарителя (И), компрессора (КМ), конденсатора (К), отделителя жидкости (ОЖ) и регулирующего вентиля (РВ). Это устройство реализует процесс переноса низкотемпературной теплоты на более высокий температурный уровень. В этой системе рабочие тела совершают обратный термодинамический цикл. В лабораторном стенде теплового насоса в

качестве рабочего агента используется фреон R134a. Для этого применяется четырехходовой клапан (ЧХК), в котором положение золотника определяет направление рабочего агента. При смене одного режима на другой испаритель и конденсатор меняются местами.

Принцип работы лабораторного стенда состоит из двух контуров. В испаритель (ПТ1) циркуляционным насосом подается теплоноситель низкого потенциала, где он передает свою теплоту рабочему агенту теплового насоса (фреон R134a). После этого, охлажденный теплоноситель направляется в воздушный теплообменник (ВТ), где нагревается до температуры окружающего воздуха (~20 °С). Далее теплоноситель поступает в испаритель, то есть контур повторяется (рис. 1).

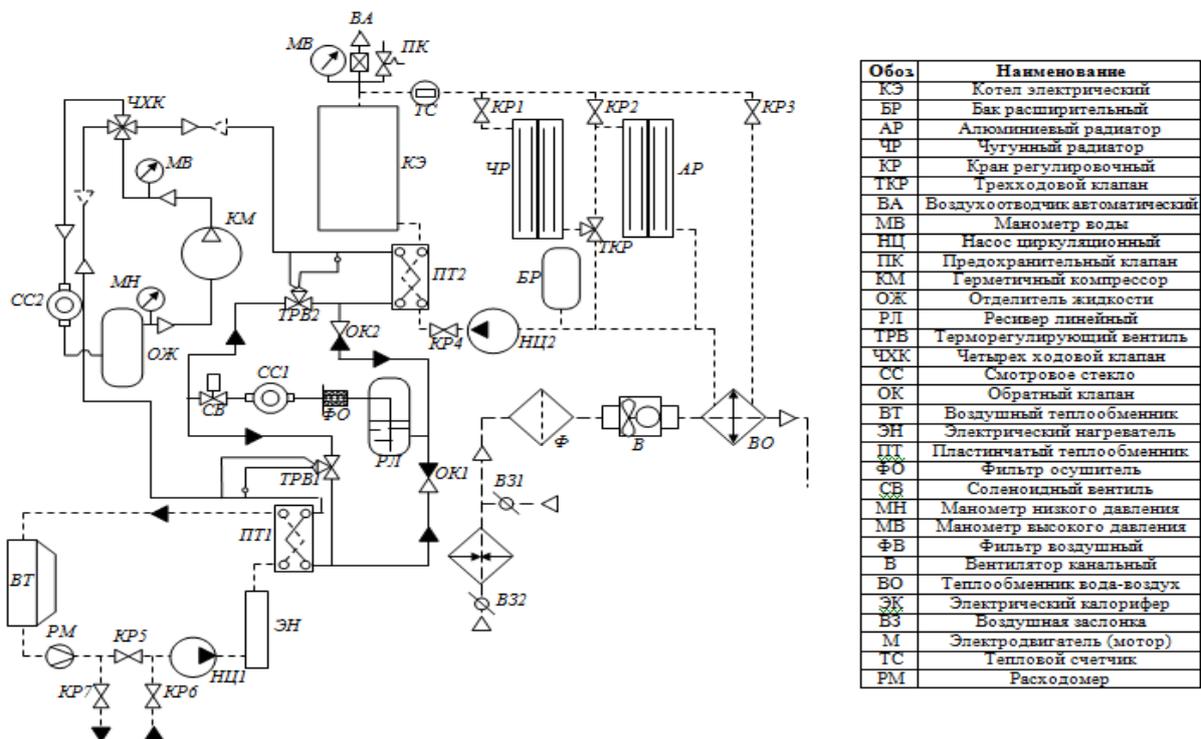


Рисунок 1. Принципиальная схема лабораторной установки с одноступенчатым парокомпрессионным тепловым насосом

В испарителе фреон начинает кипеть, то есть протекает процесс парообразования. Далее влажный пар проходя через ЧХК и отделитель жидкости (ОЖ) поступает в компрессор (КМ). В компрессоре происходит сжатие фреона, за счет чего повышаются его параметры (температура и давление). После КМ рабочий агент поступает в ПТ2 (конденсатор), где отдает свою теплоту теплоносителю. Далее жидкий рабочий агент идет в фильтр осушитель (ФО) и ресивер (РЛ), после чего поступает в ТРВ1 и в результате дросселирования изохалтно расширяется до начального давления. Далее фреон поступает в испаритель и цикл повторяется.

В лабораторном стенде теплового насоса установлены два терморегулирующих вентиля (ТРВ). Это сделано из-за того, что стенд имеет два

режима: режим холодильной установки и режим теплового насоса. Поэтому, когда испаритель с конденсатором меняются местами, необходима установка двух терморегулирующих вентилей. В процессе работы установки всегда работает только один ТРВ. При смене режима один ТРВ отключается и начинает работать другой. Эти режимы целесообразно применяться в разное время года. Летом тепловой насос работает в режиме холодильной установки, то есть как кондиционер, а зимой в режиме теплового насоса.

Таким образом, тепловой насос в комплексе теплоснабжения можно использоваться для отопления здания в зимний период времени и для кондиционирования в летний, а также ТНУ может послужить, как нагревающий элемент для горячего водоснабжения. Чтобы оценить эффективность теплового насоса на лабораторной установке было проведено 110 опытов. Первые 10 опытов, в которых были определены и рассчитаны показатели ТНУ, приведены в табл. 1.

При работе с лабораторным одноступенчатым парокомпрессионным тепловым насосом были определены следующие значения:

- Давление и температура испарения P_0, t_0 ;
- Давление и температура конденсации P_k, t_k ;
- Расход и температура теплоносителя в падающем трубопроводе L_1, t_1 ;
- Температура теплоносителя в обратном трубопроводе t_2 .

Таблица 1. Энергетические показатели ТНУ

№	Измеряемые величины							π_k	q_k	q_0	l	φ	η_e
	P_0 , бар	P_k , бар	t_k , °C	t_0 , °C	t_1 , °C	t_2 , °C	L_1 , л/ч						
1	2,2	5,89	19,2	14	21,8	21,3	549,7	2,68	212	183	28,7	7,38	0,13
2	1,62	5,96	23,4	14,2	23,3	21,9	555,2	3,68	223	184	39,2	5,69	0,18
3	1,48	6,08	27,2	13,7	24,4	23,1	560,6	4,11	225	183	42,7	5,27	0,24
4	1,34	6,19	29,7	13	25	23,7	567,7	4,62	228	182	46,6	4,90	0,27
5	1,3	6,31	31,8	12,4	25,6	24,3	561,9	4,85	228	181	48,2	4,74	0,30
6	1,3	6,44	33,5	11,8	26,4	25	555,6	4,95	227	179	48,7	4,67	0,33
7	1,3	6,57	34,9	11,3	27	25,7	562,1	5,05	226	178	49,2	4,60	0,35
8	1,35	6,7	36,2	10,8	27,7	26,3	565,1	4,96	224	176	48,4	4,63	0,38
9	1,38	6,82	37,3	10,6	28,4	27,1	562,8	4,94	223	175	48,2	4,63	0,40
10	1,4	6,96	38,3	10,3	29,1	27,8	559,9	4,97	222	174	48,3	4,59	0,41

Также были рассчитаны:

- Тепловая нагрузка конденсатора q_k ;
- Тепловая нагрузка испарителя q_0 ;
- Степень сжатия компрессора π_k ;
- Удельная работа компрессора l ;
- Коэффициент трансформации φ ;
- Эксергетический КПД η_e .

По этим значениям были выявлены следующие зависимости:

1. $\varphi=f(\pi_k)$ зависимость коэффициента трансформации ТНУ от степени сжатия компрессора;
2. $\varphi=f(t_1)$ зависимость коэффициента трансформации ТНУ от температуры теплоносителя в падающем трубопроводе.
3. $\eta=f(\pi_k)$ зависимость эксергетического КПД от степени сжатия компрессора;
4. $\eta=f(\varphi)$ зависимость эксергетического КПД от коэффициента трансформации ТНУ.

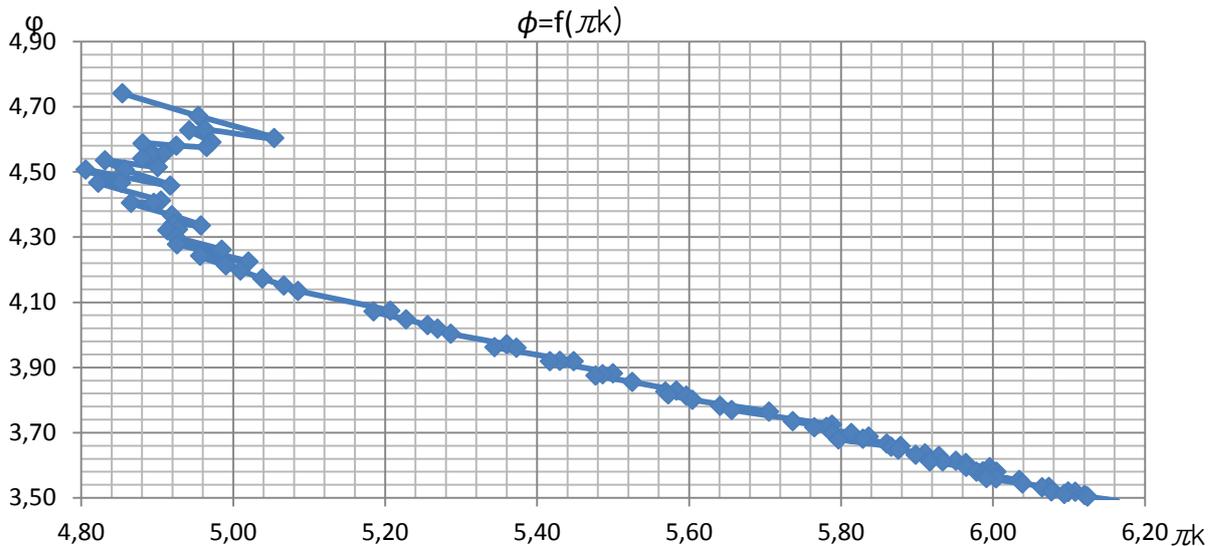


Рисунок 2. Зависимость коэффициента трансформации ТНУ от степени сжатия компрессора

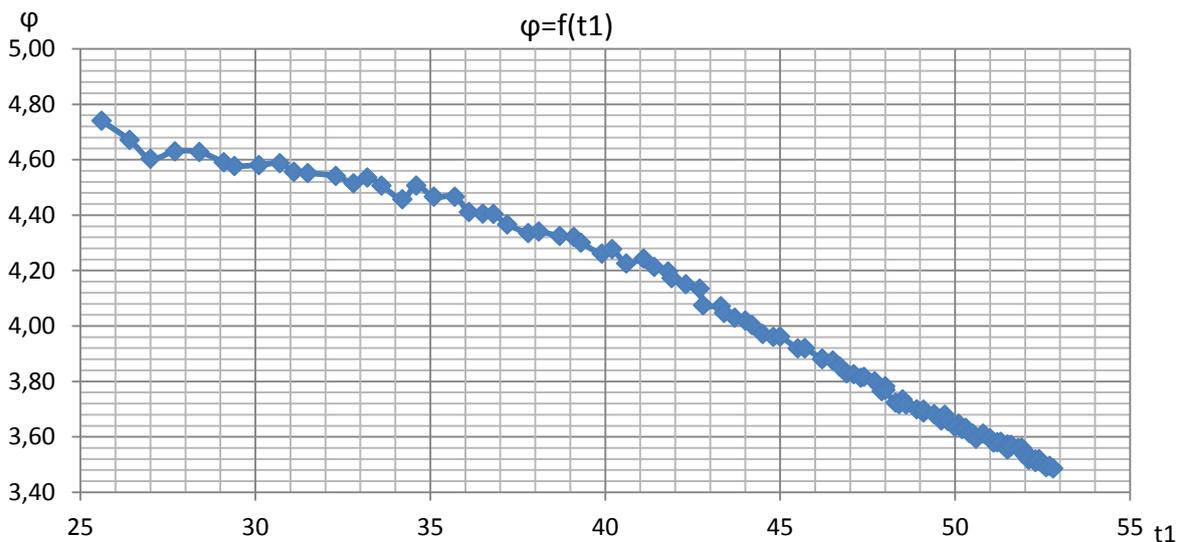


Рисунок 3. Зависимость коэффициента трансформации ТНУ от температуры теплоносителя в падающем трубопроводе

Из рис. 3 следует, что коэффициент трансформации ТНУ снижается при увеличении степени сжатия. Это говорит о том, что с увеличением степени сжатия компрессора увеличивается удельный расход электрической энергии на привод компрессора. Это объясняется в формуле $\varphi = \frac{1}{\eta_{\text{ТНУ}}}$.

Из зависимости коэффициента трансформации ТНУ от температуры теплоносителя в падающем трубопроводе следует, что с увеличением температуры коэффициент трансформации падает.

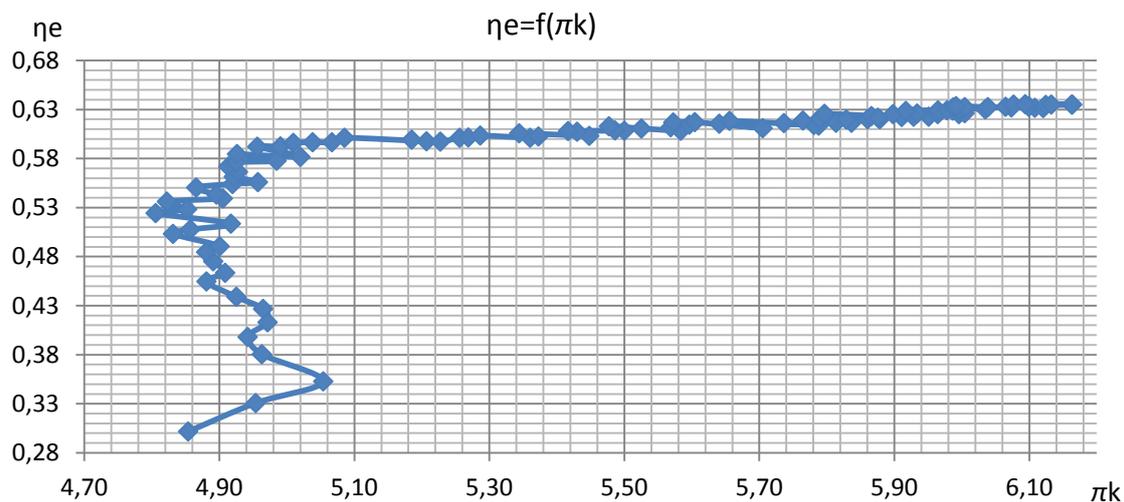


Рисунок 4. Зависимость эксергетического КПД от степени сжатия компрессора

Исследования зависимости эксергетического КПД от степени сжатия компрессора показывает, что с увеличением π_k эксергетический КПД растет. Но на графике видно, что в промежутке значений π_k от 4,8 до 5,1 эксергетический КПД заметно возрастает, а далее он принимает некое усредненное значение, то есть, практически не меняется.

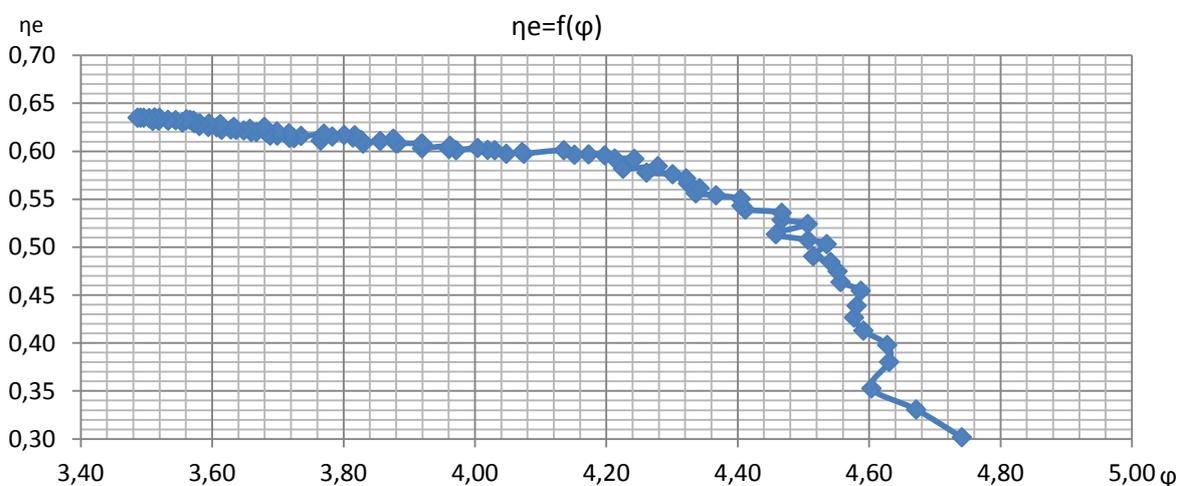


Рис. 5. Зависимость эксергетического КПД ТНУ от коэффициента трансформации

Как видно из графика (рис. 5), с увеличением коэффициента трансформации теплоты эксергетический КПД ТНУ падает. Это говорит о том, что увеличиваются затраты электрической энергии на привод компрессора, то есть рост величины $\dot{E}_{\text{ТНУ}}$ превалирует над величиной $\dot{E}_в$.

Заключение

При исследовании одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса фирмы «MeasLab» были определены и рассчитаны показатели эффективности ТНУ, также были выявлены зависимости этих показателей друг от друга.

По показателям эффективности теплового насоса можно сделать вывод о целесообразном использовании одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса для отопления помещений. В этом ТНУ за единицу затраченной электрической энергии на привод компрессора вырабатывается примерно $\frac{4}{5}$ единиц теплоты в конденсаторе. Самый высокое значение эксергетического КПД ТНУ принимает $\eta_e=0,65$. Также его главным достоинством является то, что ТНУ имеет два режима. В летний период его можно использовать для отопления помещения, а в зимний для кондиционирования.

Эффективность теплоснабжения можно повысить за счет использования низкопотенциального тепла от источника, трансформируя его на более высокий температурный уровень в тепловом насосе, и дальнейшее его использование для отопления и ГВС зданий. За счет того, что от источника теплоснабжения требуется только низкопотенциальная теплота, минимизируются потери в тепловых сетях. Также исключаются режимы перетапливания и недотапливания помещений.

Список использованной литературы

1. Боровков В.М., Аль Алавин А.А. Эксергетический анализ работы ТЭЦ совместно с тепловым насосом // Проблемы энергетики, №7-8. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2006.
2. Гладышев Н.Н. Ресурсосберегающие системы отопления зданий ЖКХ // Вестник энергоэффективности. 2016. № 4. С. 22-29.
3. Гладышев Н.Н., Луканин П.В. Ресурсосберегающие системы энергоснабжения потребителей ЖКХ // Вестник энергоэффективности. 2015. №1. С. 86-91.
4. Гладышев Н.Н., Москалев А.А. Определение потенциала энергосбережения в системах теплоснабжения ЖКХ // Вестник энергоэффективности. 2013. № 2, С. 30-34.
5. Луканин П.В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители): учебное пособие/ ГОУВПО СПбГТУРП. СПб.: 2009. – 116 с.

© А.В. Савенко, В.Д. Цимбал, 2020

ВНЕДРЕНИЕ ШОССЕЙНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КРЫМА

студент гр.513 **Савенко Александр Вячеславович**,
Науч. руководитель: ассистент **Кулапина Алёна Владимировна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье проанализированы показатели мировой и Российской ветроэнергетики. Найдено решение, связанное с энергоснабжением Крымского полуострова, как результат установка шоссейных ветрогенераторов на Крымский мост. Рассчитано количество установок необходимых для полного энергообеспечения моста. Вычислена средняя окупаемость проекта.

Ключевые слова. Ветроэнергетика, альтернативная энергетика, шоссейные ветрогенераторы, Крымский мост.

IMPLEMENTATION OF ROAD WIND TURBINES IN THE ENERGY COMPLEX OF CRIMEA

Savenko Aleksander Vyacheslavovich,
Kulapina Alyona Vladimirovna

Abstract. The article analyzes the indicators of the world and Russian wind energy. A solution has been found related to the power supply of the Crimean Peninsula, as a result of the installation of road wind turbines on the Crimean bridge. The number of installations required for complete power supply of the bridge has been calculated. The average payback of the project has been calculated.

Keywords. Wind energy, alternative energy, road wind turbines, crimean bridge.

Ежегодно в атмосферу земли выбрасываются миллиарды тонн CO₂, по данным портала Enerdata только за 2019 год эти показатели составили 37 млрд тонн. Все это не могло не сказаться на экологии планеты. Участвовавшие случаи экологических катастроф, таких как разлив дизельного топлива под Норильском. В результате в реки и в почву попало более 21 000 тонн нефтепродуктов. По оценке международной природоохранной организации Greenpeace, ущерб только водным объектам на Таймыре может превышать 147,046 млрд руб без учета урона почве и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1]. Все эти факторы связаны непосредственно с углеродными видами топлива, в связи с этим все более актуален вопрос альтернативной энергетики.

В наше время наблюдается стремительный рост ветроэнергетики в мире, статистические данные с 2013-2019 года представлены на рис.1.



Рисунок 1. Статистика выработки ветроэнергетики в мире

Мировым лидерам отрасли является, Западная Европа на данный момент этот показатель составляет (38,8 %) от общей, генерируемой ветроэлектрическими установками мощности, также крупными производителями ветроэнергетики являются страны Азии 34,5 %, и Северная Америка, чья выработка составляет 23,9 % [2]. Такой интерес к ветроэнергетики связан с очевидными плюсами такими как:

- 1.Отсутствие загрязнения окружающей среды;
2. Использование возобновляемого, неисчерпаемого источника энергии;
3. Не имеет санитарной зоны;
4. Стабильные расходы на единицу полученной энергии;
5. Минимальные потери при передаче энергии;
6. Низкие затраты на техническое обслуживание.

В России выработка ветряными электростанциями за 2018 год составляет 134МВт. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд кВтч/год, примерно 30% производства электроэнергии всеми электростанциями России [3]. Для реализации всего потенциала необходима установка дополнительных ветрогенераторов. Один из последних интереснейших вариантов, которые могли бы быть применены в нашей стране придорожные (шоссейные) ветрогенераторы. Эта установка использует весь воздушный поток, генерируемый автомобилями на скоростных автомагистралях, для полезной работы. Такой как выработка электроэнергии для освещения шоссе ночью, а в дневное время -аккумулирует энергию. Также из достоинств данной установки является бесшумная работа генераторов. Мощность ветряной турбины составляет 9600 кВт электроэнергии в год при скорости автомобилей 110 км\ч

[4]. Цена одного генератора составляет 60 000 руб [5]. Так одна установка, состоящая из двух генераторов и опоры, будет стоить примерно 304 000 руб. При монтаже решающее значение для выбора места должны иметь скорость ветра и отсутствие турбулентностей (завихрений). Из этих соображений идеально подходит прибрежные зоны. Такие как побережье Крымского полуострова, обладающего значительными ресурсами возобновляемых источников энергии, которые на сегодняшний день не используются. Крым, как город-курорт развивается стремительными темпами, потребность в электроэнергии с каждым годом возрастает.

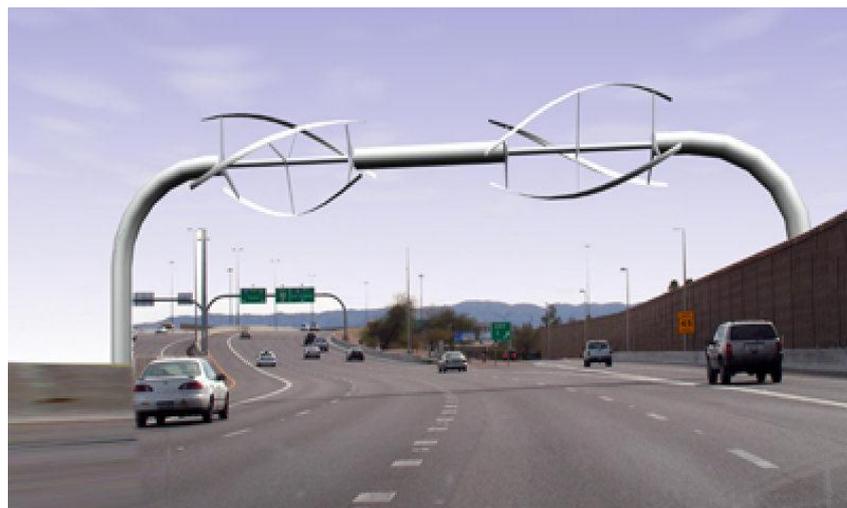


Рисунок 2. Шоссейный ветрогенератор

За 3 года на финансирования республики было выделено из средств федерального бюджета колоссальные суммы денег. В основном расширение энергетического комплекса. Из постановления о «Развитии топливно-энергетического комплекса Республики Крым на 2018-2020 годы» в 2018 году - 6641,12 млн руб, в 2019 году - 4646,88 млн руб, в 2020 году - 3254,70 млн руб. Для решения проблемы с дополнительным источником энергии, установка шоссе ветрогенераторов послужит идеальным решением. Площадкой для установки придорожных генераторов является построенный в 2018 году Крымский мост, обладающий хорошей пропускной способностью. По информации Керчь инфо автомобильный трафик составляет 5824, а железнодорожный - 94 поезда в сутки, со средней скоростью движения автомобилей 90 км/ч и железнодорожного транспорта 120 км/ч, что обеспечивает постоянные потоки ветра в совокупности с общим движением воздушных масс с моря. Протяженность моста составляет 19 км. Чтобы осветить каждый метр дороги в течение года, — это миллионы киловатт ежегодно. Найдем суммарную потребляемую мощность моста. Все данные об осветительных системах, световых потоках, стоимости систем были взяты из открытых источников. При среднем времени светового дня 12 ч, количестве

матч, установленных на мосту, 1126 штук [6], и мощности натриевой лампы 300 Вт.

Формула суммарной мощности, потребляемой мостом за один год.

$$P_{\text{сум}} = 365 \cdot 12 \cdot P \cdot n,$$

P – мощность лампы; n – количество ламп

Мощность составляет 1,47 ГВт. Чтобы подсчитать необходимое количество турбин для установки. Зная примерную суммарную потребляемую мощность в год и количество вырабатываемой энергии одним ветрогенератором можно найти сколько ветряных турбин необходимо установить, чтобы полностью покрыть энергетические нужды моста — это число составляет 152 шт. В этом случае расстояние между опорами составит 500 м. Если же увеличить его до 1 км, то можно покрыть $\frac{1}{4}$ энергетических нужд моста.

Также можно подсчитать на сколько снизятся ежегодные финансовые расходы, затраченные на обеспечение электроэнергией моста. Стоимость электроэнергии в Керчи составляет 5,03 рублей за 1 кВт/ч [7].

$$Q = P \cdot n = 12 \cdot 365 \cdot 5,03$$

P – мощность лампы; n – количество ламп.

Стоимость электроэнергии на освещение моста в год составляет 7 442 206 млн. руб. Вследствие этого установка шоссейных ветрогенераторов окупится в среднем за 3,5 года. Что еще раз наводит на мысль о внедрении альтернативной энергетики в современные проекты.

Установка ветрогенераторов шоссейного типа в количестве 152 на Крымском мосту позволит не только решить проблему, связанную с энергоснабжением полуострова, но и добавить в бюджет республики дополнительные денежные средства, которые могли бы пойти на развитие альтернативных источников энергии. Впоследствии тарифы на электроэнергию снизились бы, а экология, которая необходима региону как курортной зоны, улучшилась бы.

Список использованной литературы

1. Интернет-ресурс https://ru.wikipedia.org/wiki/Утечка_дизельного_топлива_в_Норильске
2. Интернет-ресурс <https://library.wwindea.org/global-statistics/>
3. Интернет-ресурс https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика_России
4. Интернет-ресурс <https://www.altenergymag.com/article/2019/05/top-article-from-2019-traffic-powered-wind-turbines/31030>
5. Интернет-ресурс <https://greefenergy.en.alibaba.com>
6. Интернет-ресурс <https://realty.ria.ru/20180118/1512829457.html>
7. Интернет-ресурс <http://gup-krymenergo.crimea.ru/>

© А.В Савенко, А.В. Кулапина, 2020

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ НА УСТАНОВКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

канд. техн. наук, доцент **Сидельников Владимир Иванович**,
магистрант **Бикташев Ренат Мидхатович**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена исследованию процесса пиролиза, используемого для утилизации нефтешламов с целью определения оптимальных рисков работы установки. Представлены результаты экспериментов и рекомендации по совершенствованию промышленной установки.

Ключевые слова. Термическая деструкция, пиролиз, органическое сырье, оптимизация, система автоматического регулирования.

OPTIMIZATION OF OIL SLUDGE PROCESSING PROCESSES AT THE THERMAL DESTRUCTION PLANT

Sidelnikov Vladimir Ivanovich,
Biktashev Rinat Midkhatovich

Abstract. The article is devoted to the study of the pyrolysis process used for oil sludge disposal in order to determine the optimal risks of the plant operation. The results of experiments and recommendations for improving the industrial installation are presented.

Keywords. thermal degradation, pyrolysis, organic raw materials, optimization, automatic control system.

Наличие проблемы экологической безопасности, связанной с добычей, переработкой, транспортировкой и хранением нефтепродуктов, и возможность разлива нефти, что приводит к негативному воздействию на окружающую среду, в том числе в Арктической зоне Российской Федерации, было наглядно продемонстрировано на примере с Норильским металлургическим комбинатом [1]. В соответствии с директивными материалами Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации должны быть созданы условия для ликвидации экологического ущерба и рекультивации загрязненных территорий с использованием всевозможных современных технологий.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы рассматривались возможности термического способа утилизации и переработки нефтешламов на базе установки термической деструкции (УТД), производимой российской

компанией ООО «Международная Энергетическая Экологическая компания» [2] с целью оптимизации процессов переработки, повышения производительности и создания систем и автоматического регулирования процессом переработки шламов. Процесс пиролиза на установке может быть представлен в следующем виде (рис.1):

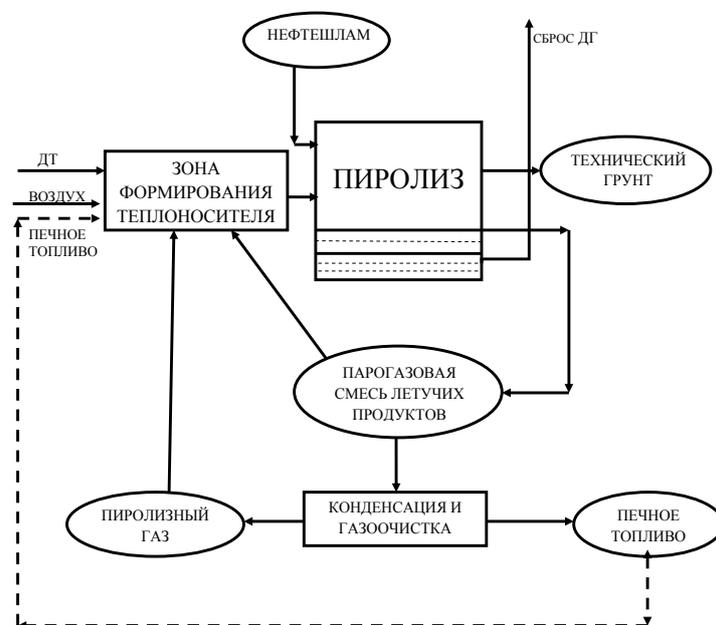


Рисунок 1. Блок-схема процесса пиролиза нефтешламов

В условиях проведения эксперимента осуществлялась непрерывная подача нефтешлама в разогретую область реактора, постоянный отбор продуктов реакции, прокалка и стабилизация технического грунта. Качественный и количественный состав продуктов пиролиза определяется содержанием органической части в нефтешламах, временем достижения конечной температуры пиролиза, скоростью нагрева, временем пребывания летучих продуктов пиролиза в реакционной зоне.

Для определения оптимальных режимов получения продуктов термического разложения в процессе медленного пиролиза использовались нефтешламы с содержанием в них 20 % углеводов и регулировалась температура в реакторе установки и оценивалось количество печного топлива и пиролизного газа.

Работа проводилась в следующей последовательности: Осуществлялась загрузка нефтешлама в загрузочный бункер с созданием газоплотного слоя, затем проводился нагрев топочной камеры горелочным устройством до температуры 550 – 600 °С с регулированием градиента температур в реакционной зоне. Затем подавался нефтешлам в активную зону разогретого реактора и шел процесс предпиролиза, пиролиза и прокалики нефтешламов с образованием летучих парогазовых продуктов и технического

грунта. Образовавшиеся летучие парогазовые продукты пиролиза попадали в систему конденсации и газоочистки, где проходила конденсация продуктов пиролиза в печное топливо. При этом осуществлялось поддержание заданного температурного градиента по длине реактора. Неконденсированные газы и части паров в смеси с воздухом направлялись в зону формирования газовых теплоносителей пиролиза.

Время достижения конечной температуры пиролиза определялась временем прохождения нефтешлама через разогретую активную зону реактора, скоростью ввода сырья и скоростью вывода технического грунта.

Регистрировались следующие ключевые параметры:

- количество конденсируемого печного топлива;
- количество получаемого газа.

Пример получаемых зависимостей приведен на рис. 2, результаты исследований приведены в таблице 1.

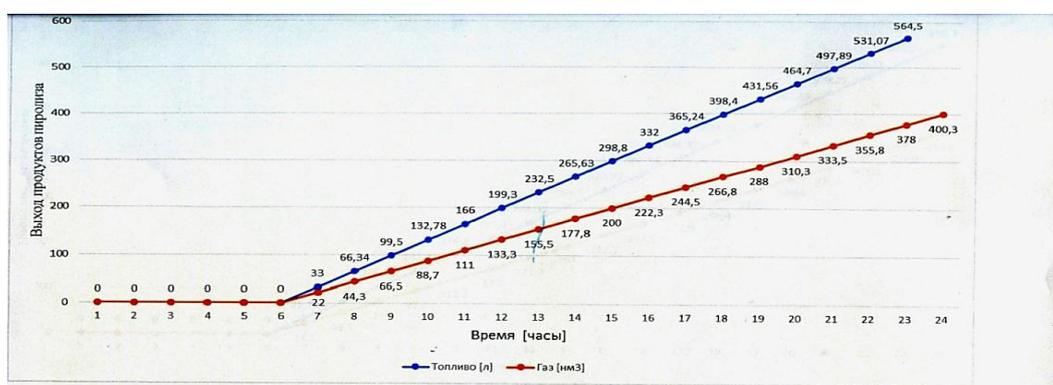


Рисунок 2. Выход продуктов пиролиза при температурном режиме от 400 до 410 °С

Таблица 1. Скорость генерации продуктов пиролиза [3]

№ п/п	Температурный диапазон (°С)	Скорость генерации топлива (л/ч)	Скорость генерации газа (нм³/ч)
1.	400-410	33,28	22,2
2.	410-420	36,13	25,2
3.	420-430	38,25	27,4
4.	430-440	40,38	29,6
5.	440-450	42,5	31,9
6.	450-460	44,61	34
7.	460-470	46,8	36,2
8.	470-480	48,9	38,4
9.	480-490	43,17	45,3
10.	490-500	37,42	53,5

На основании полученных данных, а также опыта работы на установке термической деструкции можно сделать следующие выводы о ведении технологического режима и оптимальном температурном режиме.

1. При ведении процесса в температурном диапазоне от 400 °С до 470 °С необходимо увеличить время нахождения шламов внутри реактора, тем самым обеспечить полное выпаривание оставшихся углеводородов. При этом сухой остаток на выходе из установки будет удовлетворять требованиям экологической безопасности. Увеличение времени пребывания органического сырья в реакторе может быть достигнуто путем уменьшения частоты вращения шнеков в реакторе.

2. Для нефтешламов с содержанием углеводородов не более 20 % ведение технологического процесса в температурном диапазоне от 470 до 480 °С является оптимальным с точки зрения количества выходного продукта.

3. С целью обеспечения автономности установки термической деструкции в условиях Крайнего Севера, где не маловажную роль играет подвод электричества, можно подавать пиролизный газ на газовую турбину, что позволит полностью покрыть энергопотребление самой установки. Получаемое печное топливо может быть использовано для поддержания температурного режима работы установки.

4. Для улучшения (модернизации) установки с целью повышения производительности по выходному сырью предлагается:

4.1. Подаваемое в реактор органическое сырье предварительно подогреть с целью уменьшения влажности и нагрева шлама до температуры к температуре близкой к началу пиролиза.

4.2. Увеличить объем пиролизной печи для увеличения времени нахождения продукта в реакционной зоне.

4.3 Изменить шаг витков шнека в реакторе с целью эффективного ворошения сырья.

Список использованной литературы

1. ТАСС Роспотребнадзор. ПДК вредных веществ в воде в Норильске превышена в десятки тысяч раз. <https://tass.ru/> (дата обращения 9 июня 2020 г.)
2. Официальный сайт компании ООО «Международная Энергетическая Экологическая компания» <https://i-pec.ru/>
3. Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Бабаш С.Е. и др. Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия – 1987. – 240 с.

© В.И. Сидельников, Р.М. Бикташев, 2020 г.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТЭС И АЭС

студент гр. 421 **Кучерова Надежда Александровна**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Злобин Владимир Германович**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье описываются методы математического моделирования, их использование на практике, и чем они полезны. Моделирование ТЭС и АЭС содержит цепь последовательных элементов, каждый из которых достаточно многообразен и кропотлив.

Ключевые слова. Моделирование, оптимизация, граф, теория графов, узел, матрица, эквивалентирование, декомпозиционный метод.

SUBSTANTIVE PROVISIONS OF MATHEMATICAL DESIGN AND OPTIMIZATION OF THERMAL CHARTS OF THERMAL AND ATOMIC ELECTRO POWER STATIONS

Kucherova Nadegda Alexandrovna,
Zlobin Vladimir Germanovech

Abstract. In the article the methods of mathematical design, their use, are described in practice, and what they are useful. The design of Termal and Atomic Electro Power Stations contains the chain of successive elements, each of that is varied enough and laborious.

Key words. Design, optimization, count, theory of the graphs, knot, matrix, equivalention method, decouplig method.

При планировке или конструировании различных сложных объектов необходимы понимание и представление о численных и квалитативных законах, присущих изучаемым системам. Данную информацию получают благодаря способам математического моделирования.

Как известно [1], математическая модель позволяет описывать настоящие условия количественных и последовательных взаимосвязей и зависимость между главными характеристиками определенного объекта, технологическими и предметными функциями его элементов, параметрами поверхностных технологических и экономических соединений, совокупностью лимитов и требуемой мерой производительности.

Этапы моделирования тепловых схем ТЭС и АЭС представлены на схеме (рис.1).

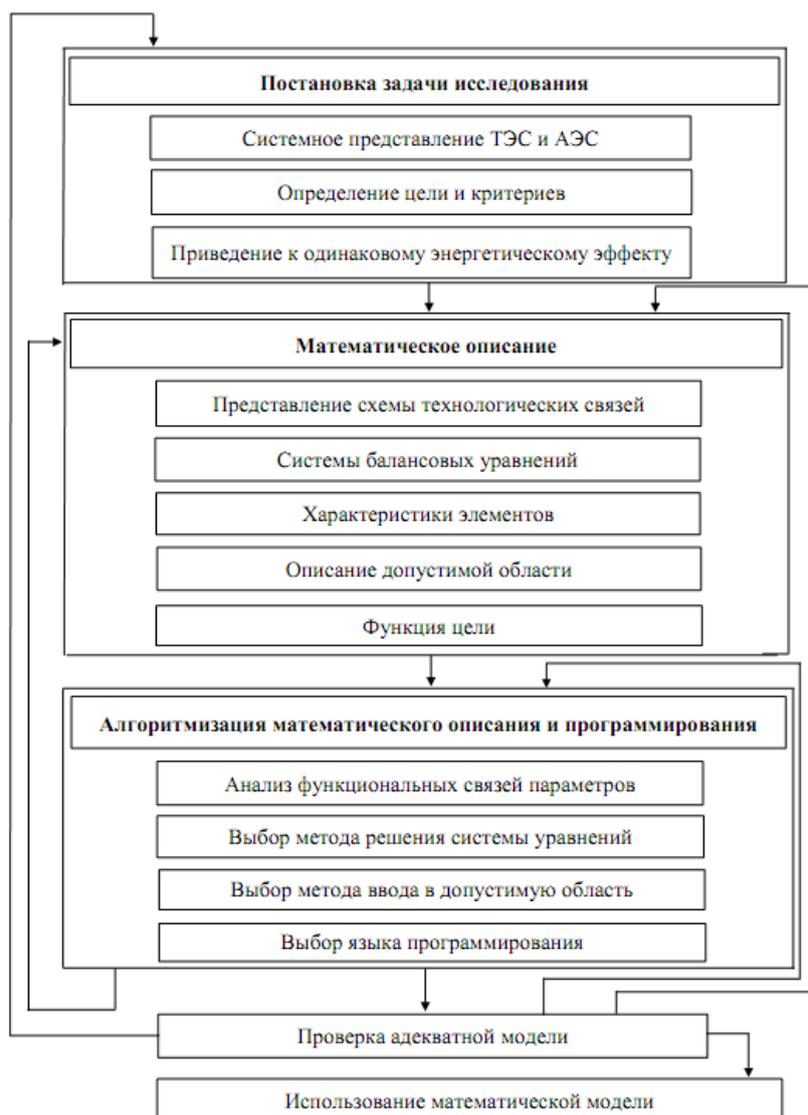


Рисунок 1. Этапы моделирования тепловых схем ТЭС и АЭС

Постановка задачи моделирования. Для разработки математической модели тепловой и атомной энергетических установок (ТЭУ и АЭУ) моделируемый предмет рассматривается как соответствующий формирующийся компонент энергосистемы. Поверхностные технологические и экономические связи заменяются их суммарным представлением или численными параметрами. Однако сама энергоустановка трактуется, как объединенный составной комплекс смешанных составных частей установки и конструкций, выделенных для производства электроэнергии, теплоты, вторичного ядерного топлива с помощью синхронного, постоянного производства разного рода взаимосвязанных протеканий реального цикла. Любая реформа какой-либо характеристики или компонента энергоустановки (ЭУ) в разной мере воздействует на показатели всего производства.

В роли компонентов технологического проекта ТЭС и АЭС могут числиться, например, котел, активная зона реактора, отсек турбины, питательный насос и др. Единичные неполные системы элементов, особенно плотно соединенные проведением таких же технологических процессов, обычно называются группами элементов.

Процессы в составной части оснащения соединены течением всевозможных энергоносителей в соотношении с данной схемой связей. Связи, производимые любым теплоносителем, описываются потреблением и двумя термодинамическими параметрами состояния этого теплоносителя; механические и электрические связи можно охарактеризовать мощностью [2].

На данном этапе моделирования производится промежуточное исследование предварительных сведений о моделируемом объекте, на его основании складывается перечень технологических процессов, соответствующих для этой установки и составляются ведущие условия при создании модели.

Главным назначением математического моделирования и комплексной оптимизации ТЭС и АЭС есть выбор наиболее благоприятного вида технологической системы и значимость ее параметров.

Математическое описание. Идея математического описания заключается в постановке цели подобно какой-либо системы уравнений, неравенств и функциональных взаимосвязей между отдельными параметрами модели. Для исследования смешанных систем часто используется теория графов. Граф по существу – это объединение отрезков случайной длины и формы, именуемых ветвями, и точек пересечения – узлами. Главная системная информация, содержащаяся в графе, состоит в графическом выражении элементов и их соотношений благодаря энергоносителям. Всякая схема может быть предложена при расчете на электронно-вычислительной машине наподобие матрицы соединений.

Математическая модель установки – совокупность балансовых уравнений, задающих соотношение между параметрами связей; им соответствуют уравнения энергетического, расходного, гидравлического балансов и преобразование энтальпии каждого из энергоносителей.

Третья составляющая модели – параметры компонентов установки. На этом этапе определяются параметры процессов и механизмов в соответствии с системой характеристик связей Z и конструктивных параметров установки Z_k . К ним принадлежат:

- характеристики изменения давления i -го энергоносителя в k -ом компоненте установки.
- характеристики изменения энтальпии.
- характеристики издержек металла и других материалов типа m для каждой q -й части в k -ом компоненте.

Для особенно непростых компонентов оснащения, в частности активной зоны реактора, есть возможность применения вспомогательных образцов параметров, передающих их отличительную черту.

Достаточно значительной составляющей математической модели является *система ограничений*. Физические, термодинамические, потребляемые, конструктивные параметры Z и Z_k не способны относиться к абсолютно случайным значениям, но могут варьироваться только в пределах допустимых и технически осуществимых условий.

Описание математической модели служит завершением формирования *функции цели* – представленных расходов по ТЭС и АЭС.

Методы декомпозиции эквивалентирования. Сложная эффективность параметров и план ТЭС и АЭС, описанный единой математической моделью, согласована с результатом задачи очень большой размерности.

В моделировании существуют методы, построенные на разбиении задачи на некоторое количество подзадач, определяющихся самостоятельно, с дальнейшим их согласованием. Такие методы именуется декомпозиционными.

Декомпозиционный метод состоит в том, что, выбирается основной алгоритм и алгоритм местного значения, каждый из них совпадает одному компоненту системы. Основной алгоритм отправляет определенную совокупность характеристик алгоритму местного значения. После этого каждому компоненту приходят результаты проведения операции от алгоритмов местного значения в формате системы параметров. Далее вносятся поправки систем и, будучи исправленными, они отправляются обратно алгоритмам местного значения.

Эквивалентирование – модифицирование одной математической модели в другую, соответствующую с конкретной точностью первичной, но более элементарную, определяющуюся минимальным числом меняющихся уравнений и неравенств, разным составом уравнений, наименьшем временем подсчетов и т.п.

Методы составления экспериментов отличаются наличием значительных ресурсов для эквивалентного описания энергетических объектов. Они позволяют выстраивать аппроксимационные соотношения, объединяющих технико-экономические показатели ТЭС и АЭС с низким числом оптимизируемых показателей, что приносит значительную вместимость модели. Аппроксимационные зависимости используются для конкретных компонентов и аппаратов ТЭС и АЭС; при данных условиях, модель, в общем, показывает соотношение параметров и длинного ряда факторов.

Методы оптимизации. Достоверность и цель эксперимента используются, учитывая сложность решаемых задач. Методы оптимизации делятся на частные или комплексные. Комплексные применяются чаще, поскольку такие методы имеют в наличии множество факторов для решения задач и обладают

взаимосвязанностью оптимизируемых параметров для энергоустановок. Также для решения задач применяются методы нахождения экстремума функции различных переменных и, соответственно, методы нелинейного математического программирования.

С помощью решения системы нелинейных уравнений, составленных приравниванием к нулю частных производных, определяется приемлемая величина установленного параметра методом неопределенных множителей Лагранжа и методом оптимизации. Выполнение этих методов достаточно затруднительно и в действительности исключено в случае дискретного изменения параметров и наличия ограничений вида.

Следующая группа методов состоит из метода слепого и направленного поиска. К методам слепого поиска относятся:

- метод сплошного перебора вариантов (метод упорядочения вариантов по критерию эффективности);
- метод статических испытаний (метод Монте-Карло).

Главная ценность метода заключается в очевидности, альтернативе поиска абсолютного оптимума, примитивности алгоритма и шанс оптимизировать дискретно изменяющиеся параметры. Минус этого метода – значительный размер расчетов по вычислению и соотношению вариантов, который, тем не менее, как указано выше, скорее всего, ослаблен в меру модернизации характеристик электронно-вычислительной машины.

Моделирование термодинамических параметров воды и пара. Модель ЭУ состоит из подмоделей определения термодинамических параметров воды и пара. Масштаб их применения, потребность выполнения частых расчетов приводит к надобности реализации простых и сложных подпрограмм.

Таким образом, важно отметить, что, проектируя или конструируя различные тепловые схемы и составные предметы оборудования ТЭС и АЭС нужно понимать и иметь представление о численных и качественных законах, соответствующих изучаемым системам. Эти данные можно получить, изучив способы математического моделирования, представленные выше.

Список использованной литературы

1. Казаров С.А. и др. Тепловые схемы ТЭС и АЭС. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1995. – 392 с..
2. Злобин В.Г. Паротурбинные установки тепловых и атомных электростанций. Часть 1. Тепловые схемы. Конструкция: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2020. – 136 с. – ISBN 978-5-91646-203-6.

© Н.А. Кучерова, В.Г. Злобин, 2020

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИСАДКИ В ВИДЕ ШЛАМА В МАЗУТЕ НА СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

студент гр. ПТЭРМ-1-19 **Назаров Алексей Игоревич**,
Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент **Зверева Эльвира Рафиковна**
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья об эффективности использования присадки к мазуту, которая позволит улучшить эффективность его сгорания в топочной камере котла при растопке или применения мазута как основного топлива. В качестве материала присадки целесообразно использовать обезвоженный карбонатный шлам, накопления которого являются неограниченным ресурсом, что позволяет начать их массовое применение.

Ключевые слова. Мазут, шлам, карбонатный, ХВО, присадка, водоподготовка, сила поверхностного натяжения, сжигание топлива.

THE INFLUENCE OF THE USE OF THE ADDITIVE IN THE FORM OF SLUDGE IN OIL ON SURFACE TENSION FORCES

Nazarov Aleksei Igorevich,
Zvereva Elvira Rafikovna

Abstract. This article presents the effectiveness of using an additive to fuel oil, which will improve the efficiency of its combustion in the combustion chamber of a boiler when firing up or using fuel oil as the main fuel. As an additive material, it is advisable to use dehydrated carbonate sludge, the accumulation of which is an unlimited resource, which allows them to start mass application.

Keywords. Fuel oil, sludge, carbonate, chemical cleaning, additive, water preparation, surface tension forces, fuel combustion.

На данный момент топочный мазут используется в основном в котельных и тепловых электростанциях как растопочное или основное топливо. Его качество изменяется от условий его хранения и транспортировки, а также на количестве вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при сжигании, и на работу котельного оборудования. Следует отметить, что использование высокосернистого мазута приводит к тому, что происходит заметное выделение определенного количества токсичных оксидов серы и азота, а также канцерогенных полициклоаренов (бензапирена и пентаоксида ванадия). В результате образуются оксиды серы, повышается точка росы отходящих дымовых газов, приводящая к образованию достаточного количества серной

кислоты, и, как следствие, к замене хвостовых частей котельных, к ремонту отработавших агрегатов из-за их коррозии.

Главной тенденцией развития российской нефтеперерабатывающей отрасли сегодня является увеличение глубины переработки нефти и повышение объема выпуска высококачественного нефтепродукта для потребителя. Однако сейчас наблюдаем то, что по мере углубления переработки нефти доля прямогонного мазута в топливе для котельных снижается, доля же гудрона и остатков крекинг-процессов растет. Поэтому, качество топочного мазута резко снижается.

Одной из важнейших проблем энергетики является переработка, хранение, утилизация отходов и шламов. Сегодня золошлаковые отвалы требуют огромных площадей, более того, организация таких площадок, их содержание требуют значительных эксплуатационных ресурсов, что, как следствие, скажется на увеличении себестоимости производства энергии. Они являются основным источником загрязнения окружающей биосферы. По мере увеличения количества золошлаковых материалов увеличивается и площадь земель, которые необходимо отводить под золоотвалы, что приводит к их изъятию из промышленного и сельскохозяйственного производства. Эта проблема еще не решена.

Достаточно большое количество карбонатного шлама образуется при эксплуатации систем химической очистки воды (ХВО) на электростанциях. Карбонатный шлам, продукт, полученный в результате химического осаждения, обладает целым рядом комплексов физико-химических свойств: специфическим ионизационным потенциалом, поверхностной активностью и высокой дисперсностью. Карбонатный шлам в настоящее время уже используется в качестве модифицирующей добавки к каучуковому сырью для производства различных вяжущих в строительной промышленности, реагента для очистки нефтеэмульсионных сточных вод, известковой муки в сельском хозяйстве, наполнителя для асфальтобетона и др.

В настоящее время, шламы ХВО складировются, постепенно скапливаются в шламоотвалах. Учитывая значительное количество накапливаемых шламов, безопасность, доступность и низкую стоимость, они имеют неплохие перспективы для широкого применения в целях ресурсосбережения в энергетике, в частности, в качестве добавки к высокосернистому мазуту. Утилизация шламов ХВО является важной экологической проблемой на всей территории России. Объем накопленного шлама водоочистки на шламохранилищах Республики Татарстан уже превысил триста тысяч тонн, при этом наблюдается достаточно устойчивая тенденция непрерывного роста шламонакопления. С ростом общего объема промышленных отходов, их негативного воздействия на окружающую среду и увеличением затрат, связанных со сбором шламов, их захоронением на полигонах, а также необходимостью их хранения или утилизации, задача выбора оптимальной технологии утилизации шламов водоподготовки становится все более актуальной.

Анализ современной литературы показал, что осадок водоочистных сооружений может быть широко использован в качестве вторичного сырья при условии, что товарный вид продукта и условия транспортировки обеспечиваются его обезвоживанием (табл. 1). В реальное время карбонатный шлам водоочистки используется для регенерации извести из него, в строительной промышленности для приготовления цементных растворов и производства гипса, а также возможно использование шлама осветлителей в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых почв. В области энергетики осадок, образующийся при умягчении природных вод тепловых электростанций, пока масштабно полезно не используется. Карбонатный шлам возможно использовать только после того, как пройдет обезвоживание или сушка при постоянной температуре 120-130 °С. Высушенный шлам представляет собой порошок, довольно рассыпчатый, колеблющийся от светло-серого до темно-бурого цвета с влажностью 15%, массовой долей карбонатов магния и кальция (80-88 %). Состав же шламов, образующихся при коагуляции и известковании природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, но ведущим компонентом всё же является карбонат кальция (75-85 %), а также гидроксиды железа и магния (по 4-8 % каждого компонента) и органические и кремнекислые соединения.

Таблица 1. Показатели качества топочного мазута марки М100 при использовании в качестве присадки карбонатного шлама

Определяемый показатель	Концентрация присадки в мазуте, % (масс)						
	0	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Вязкость условная при 80 °С, °ВУ	13,4	13,3	13,2	13	12,9	12,8	12,5
Температура застывания, °С	7,3	4,8	3,6	3,8	3,5	1,7	1,7
Содержание влаги, %	1,7	2	2,1	2,2	2	1,8	2
Содержание серы, %	2,9	2,64	2,51	2,51	2,48	2,45	2,37
Теплота сгорания рабочая низшая, кДж/кг	39375	39467	39259	38984	38876	38133	38644
Зольность, %	0,127	0,377	1,144	1,74	2,21	2,73	3,25
Содержание механических примесей, %	0,217	0,395	0,56	0,67	0,87	1,203	1,44
Плотность при 20 °С, кг/м ³	990	1014	1007	996	993	995	1000
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие						Слабо-кислая
Кислотное число, мг КОН/г	0						

Из полученных опытных результатов физико-химических свойств мазута можно проанализировать влияние присадки на изменение сил поверхностного натяжения мазута.

Поверхностным натяжением называется термодинамическая характеристика площади этой поверхности раздела фаз, определенная как работа обратимого изотермического образования единицы поверхности. Для жидкости поверхностное натяжение рассматривается как сила, действующая на единицу длины контура поверхности и стремящаяся сократить поверхность до минимума при заданных объемах фаз.

Действие поверхностного натяжения можно наглядно представить в виде совокупности сил, стягивающих края поверхности к центру (рис. 1).

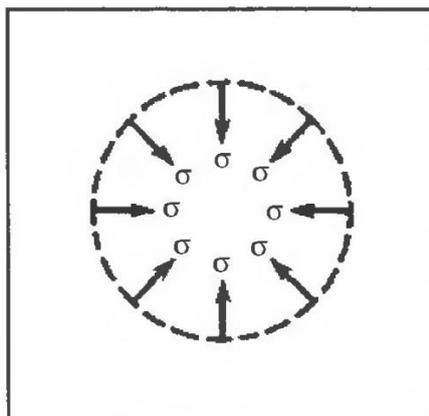


Рисунок 1. Схема действия сил поверхностного натяжения на жидкость

Длина каждой стрелочки вектора отражает величину поверхностного натяжения, а расстояние между ними соответствует принятой единице длины контура поверхности. В качестве размерности величины в равной мере используются как $[\text{Дж}/\text{м}^2] = 10^3 [\text{эрг}/\text{см}^2]$, так и $[\text{Н}/\text{м}] = 10^3 [\text{дин}/\text{см}]$.

В результате действия сил поверхностного натяжения жидкость стремится сократить свою поверхность, и, если влияние силы земного притяжения незначительно, жидкость принимает форму шара, имеющего минимальную поверхность на единицу объема.

Общее повышение плотности мазута при добавлении в него разных концентраций привязки. Используя формулу расчетную формулу поверхностного натяжения нефтепродуктов, можно сделать вывод о увеличении или уменьшении сил поверхностного натяжения мазута.

$$\sigma = 10^{-5} \cdot (5 \cdot \rho_4^{20} - 1,5),$$

где ρ_4^{20} – относительная плотность нефтепродукта.

Или
$$\sigma = 0,0515 \cdot \rho_t - 0,0166,$$

где ρ_t – плотность при температуре, при которой рассчитывается величина коэффициента поверхностного натяжения $\text{кг}/\text{м}^3$.

Исходя из данной формулы при увеличении плотности мазута путем добавления в него присадок в виде карбонатного шлама, при условии одинаковой температуры, из расчетов следует, что поверхностное натяжение увеличивается, что приводит к уменьшению капли мазута.

Сила поверхностного натяжения мазута без присадки при 20 °С:

$$\sigma = 0,0515 \cdot 990 - 0,0166 = 50,97 \frac{\text{дин}}{\text{см}} = 0,05097 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Сила поверхностного натяжения с концентрацией присадки в мазуте 0,5 %:

$$\sigma = 0,0515 \cdot 1007 - 0,0166 = 51,84 \frac{\text{дин}}{\text{см}} = 0,05184 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Сила поверхностного натяжения мазута без присадки при 80 °С

$$\sigma = 0,0515 \cdot 951 - 0,0166 = 48,96 \frac{\text{дин}}{\text{см}} = 0,05896 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Сила поверхностного натяжения с концентрацией присадки в мазуте 0,5 % при 80 °С

$$\sigma = 0,0515 \cdot 967 - 0,0166 = 49,78 \frac{\text{дин}}{\text{см}} = 0,04978 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Из данных расчётов следует, что при добавлении в мазут присадки в виде карбонатного шлама с концентрацией 0,5 % увеличивается сила поверхностного натяжения мазута как при нормальных условиях, так и при 80 °С. Из полученных данных следует, что размер капли мазута уменьшается за счет увеличения сил поверхностного натяжения, что приводит к интенсификации процесса горения подаваемого в топку мазута за счет уменьшения размера капель, подаваемых через форсунки.

Список использованной литературы

1. Пат. 2363722 Российская Федерация. Присадка к мазуту/ Э.Р. Зверева, Л.В. Ганина. Опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
2. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андрюшина И.А. Влияние присадки на эксплуатационные свойства топочных мазутов //Химия и технология топлив и масел. 2009. № 5. С. 31-33.
3. Зверева Э.Р. Присадки к топочным мазутам//Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 1-2. С. 7-17.
4. Зверева Э.Р. Использование карбонатного шлама в качестве присадки к котельным топливам // Сб. трудов VI Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2010. С. 11-116.
5. Зверева Э.Р. Повышение качества топочных мазутов // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 25. № 4. С. 99-104.
6. Гуревич И.Л. Физико-химические свойства нефтей и нефтепродуктов// Технология переработки нефти и газа. 1972. С. 91.

© А.И. Назаров, Э.Р. Зверева, 2020

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СКЛАДИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ

канд. техн. наук **Ремизова Ирина Викторовна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. При помощи анализа накопленной статистики в систему управления контейнерным терминалом была разработана и добавлена дополнительная схема размещения импортных контейнеров. Произведен учет фактора продолжительности хранения с целью снижения количества непродуктивных перемещений контейнеров. Создана стратегия для автоматического планирования импорта в предусмотренные схемой зоны.

Ключевые слова. Контейнерный терминал, размещение на складе, оптимизация грузопереработки, продолжительность хранения, складирование контейнеров.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR STORING CONTAINERS TAKING INTO ACCOUNT THE EXPECTED STORAGE PERIODS

Remizova Irina Viktorovna

Abstract. Using the analysis of accumulated statistics, an additional scheme for placing imported containers was developed and added to the container terminal management system. The factor of storage duration was taken into account in order to reduce the number of unproductive container movements. A strategy has been created for automatically scheduling imports to the zones specified in the scheme.

Keywords. The container terminal, the location of the warehouse, optimization of materials handling, storage time, storage containers.

Транспортно-логистическая сфера – одна из отраслей материального производства, где сосредоточены огромные материальные и трудовые ресурсы. Улучшение их использования вносит значительный вклад в дело интенсификации производства.

Рассматриваемый контейнерный терминал – комплекс по перевалке контейнеров на территории Большого порта Санкт-Петербурга. Основной функцией морского терминала является перемещение контейнеров между судном и наземным транспортным средством.

С целью усовершенствования организационных и управленческих работ на терминале применяются средства вычислительной техники и телекоммуникации. Установлены системы для слежения процесса осуществления портовых операций, компьютерная сеть для оперативной передачи информации, а также специальное программное обеспечение «Solvo» для обработки информации и разработки управленческих решений. Все это позволяет порту существенно увеличить производительность работы и повысить качество обслуживания грузопотоков.

Комплексная автоматизированная система управления «Solvo», позволяет оптимально использовать производственные возможности и осуществлять электронный обмен данными с клиентами. Основной задачей системы является автоматизация оперативного управления всеми операциями с контейнерами, позволяющая снизить стоимость и сроки их обработки на территории контейнерного терминала и предоставляющая возможность получения точной информации о текущей обстановке в целях оперативного планирования работы контейнерного терминала.

Ввиду быстрого развития контейнерного терминала важно стремиться к оптимизации грузопереработки, ведь это главный фактор на пути к увеличению производственных мощностей.

Увеличение объема переработки влечет за собой существенные рост процента наполненности складских площадей. Это, в свою очередь, вызывает увеличение числа дополнительных перемещений контейнеров, в процессе обработки судозаходов. В случае с экспортными контейнерами известны дата и порядок отгрузки на судно. Это даёт возможность подготовить стеки хранения и спланировать отгрузку таким образом, чтобы дополнительные перемещения были сведены к минимуму.

При приемке импортных контейнеров с судна невозможно точно предсказать очередность вывоза груза экспедитором. Поэтому на контейнерном терминале существует практика складирования контейнеров во все свободные импортные штабели, подходящие по ряду параметров (размерность, необходимость подключения, класс опасности и т.д.). Зачастую контейнеры с меньшими сроками хранения оказываются заставлены контейнерами с большими сроками хранения. Это приводит к дополнительным перемещениям контейнеров, увеличению времени отгрузки и как следствие уменьшению пропускной способности терминала.

На терминале не выработана методически обоснованная стратегия размещения импорта на складе, а в системе оперативного управления «Solvo» не заданы правила размещения, учитывающие аспект длительности хранения.

Из статистических данных выявлено, что среднее время хранения одного контейнера у разных экспедиторов отличается в несколько раз. Эта разница обусловлена различными факторами: отношением величины автопарка к количеству контейнеров, отдалённостью грузополучателя либо площадки транзитного хранения, технического состояния автомобилей, оперативности работы с документами и так далее. Анализ сроков хранения импорта на складе показал, что существенных различий в распределении по времени нахождения на складе контейнеров между партиями контейнеров за месяц судозаходов различных судовых линий не наблюдается.

Проанализировав сроки пребывания контейнеров на складе в процентном и количественном выражении от месячного поступления было выявлено, что количество вывозов резко возрастает на третьи сутки и постепенно уменьшается к десятым суткам хранения. Почти 80% контейнеров вывозятся экспедиторами в течение восьми суток со дня поступления. Так как новые суда швартуются к причалам каждые один-два дня, часть груза из заполненных штабелей уже вывезена и новая партия складировается поверх старой.

Это приводит к увеличению количества перемещений, которых возможно было избежать при складировании контейнеров с учетом их планируемого срока хранения и применении стратегий компоновки, учитывающих эти сроки.

Возможно разделить экспедиторов на три основные группы по среднему времени хранения и присвоить каждому «рейтинг»: до трёх суток – «быстрый»; от трёх до семи суток – «средний»; более семи суток – «медленный».

Применение этого несложного деления по данному критерию, приведет к уменьшению количества дополнительных перемещений за счет исключения из основной зоны хранения контейнеров: - с длительными сроками хранения, наличие которых в штабелях со среднесрочными контейнерами неизбежно приводит к лишним перестановкам их с места на место; - с минимальными сроками хранения, складирование которых целесообразнее производить в отдельные штабели, так как их быстрое убытие с терминала приведет к уменьшению наполненности краткосрочного штабеля, а следовательно снижению количества перемещений в нём.

В атрибутивной информации каждого контейнера имеется графа «Маркер», в которой может стоять пометка «Приоритет выгрузки». Это означает высокую срочность доставки груза. Количество таких контейнеров составляет 2-3 %, а сроки вывоза обычно не превышают двух суток. Следовательно, имеет смысл отправлять приоритетные контейнеры в зону с минимальными сроками хранения вне зависимости от того, каков рейтинг экспедитора.

Также присутствуют ситуации, когда, для получения разрешения от таможенных органов партии контейнеров одного коносамента требуется только выборочный таможенный досмотр. После его завершения все контейнеры из этой партии, даже находящиеся на судне, в графе «Таможенный статус» получают пометку «Да». Выгруженный контейнер с положительным таможенным статусом целесообразно планировать в краткосрочную зону, так как практика показывает, что контейнеры, прошедшие таможенные процедуры, с высокой долей вероятности вывозятся в течении трёх суток.

Для проверки эффективности новой системы размещения импорта была проделана работа по моделированию складирования импортных грузеных сухих контейнеров, прошедших через терминал в течении одного месяца. Их количество составило около 7 тысяч штук.

Было произведено два экспериментальных моделирования. В первом случае партия контейнеров складировалась по факту поступления на терминал в незанятые штабели. Последующие партии складировались поверх предыдущих. Во втором случае контейнеры распределялись на три группы, по предполагаемой продолжительности хранения. И в первом и во втором случае изъятие контейнеров происходило по фактическому времени убытия их с терминала. Целью моделирования было выяснить, изменится ли, и в какую сторону количество дополнительных перемещений контейнеров в процессе их убытия с терминала.

По результатам моделирования было установлено, что положительный эффект от новой системы складирования составил 11,2 %. Следовательно, при внедрении возможно рассчитывать на ощутимое снижение количества переместительных операций, а как следствие уменьшение: загруженности перегрузочной техники, очередей в моменты пиковых нагрузок и времени отгрузки контейнеров на транспорт.

© И.В. Ремизова, 2020

РЕАЛИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ УПРАВЛЕНИЯ ПЛК WAGO В СРЕДЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

доцент **Романцова Наталия Владимировна**,
ассистент **Царёва Анна Вячеславовна**
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Лабораторная работа нацелена на изучение принципов построения программ верхнего уровня в информационно-измерительных и управляющих системах. Одно из заданий работы включает в себя осуществление визуализации процесса наполнения узла загрузки, установки инсинерации.

Ключевые слова. Информационно-измерительные системы, программируемые логические контроллеры, визуализация, лабораторные работы.

IMPLEMENTATION OF LABORATORY WORK ON WAGO PLC CONTROL IN THE LABVIEW GRAPHICAL PROGRAMMING ENVIRONMENT

Romantsova Natalia Vladimirovna,
Tsareva Anna Vyacheslavovna

Abstract. The laboratory work is aimed at studying the principles of building top-level programs in information-measuring and control systems. One of the tasks of the work involves visualizing the process of filling the loading node of the incineration installation.

Keywords. Information and measurement systems, programmable logic controllers, visualization, laboratory work.

Создание многоканальной ИИС (информационно-измерительной системы) контроля и управления элементами технологического процесса осуществляется на примере макета, использующего в качестве программы верхнего уровня программу, написанную в среде графического программирования LabVIEW и в качестве средств управления измерительными каналами два ПЛК Wago 750-881 [1, 2]. Одним из макетов, используемых в лабораторных работах, являются модуль лазера и фоторезистора.

Загрузка отходов по транспортеру осуществляется в камеру узла загрузки. Из камеры узла загрузки необходимо порционно подавать отходы в камеру сжигания. Размер порции контролируется парой модулей: лазерным (рис. 1) и фоторезисторным (рис. 2). Модули расположены по высоте на одном уровне на противоположных стенках камеры, луч лазера направлен на фоторезистор. При перекрытии лазерного луча уничтожаемыми материалами достигается необходимый размер порции для дальнейшей переработки.



Рисунок 1. Лазерный модуль KY-008

На рис.1 *S* – управляющий сигнал имеющий уровни в соответствии с нормами цифровой логики 5 В; "-" – подключение к общему проводу; средний контакт – питание KY-008 (+5 V).

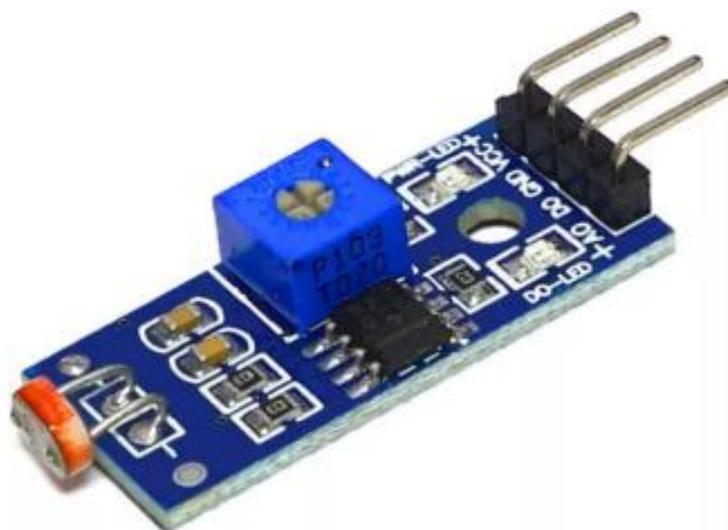


Рисунок 2. Датчик освещенности (фоторезистор)

На рис.2 VCC напряжение питания 3.3-5 В, GND – общий, DO – цифровой выход, AO – аналоговый выход.

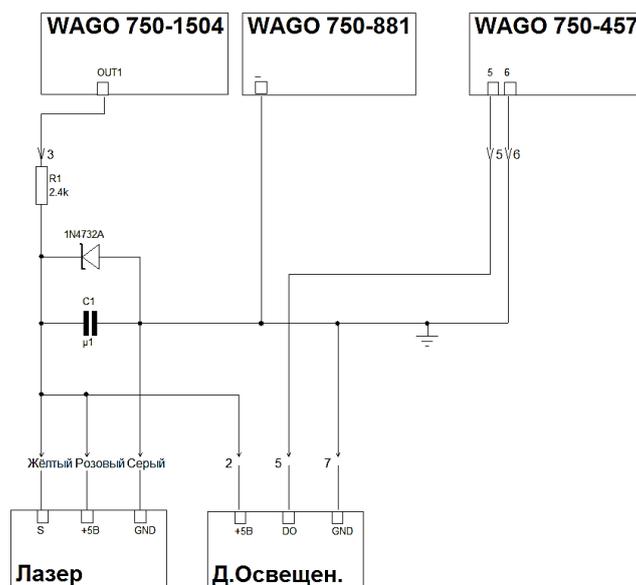


Рисунок 3. Схема подключения макета с лазерным модулем и датчиком освещения

На рис. 4 представлен вариант визуализации программы для стенда с лазерным модулем и фоторезистором. Лицевая панель оператора имитирует процесс наполнения камеры узла загрузки инсинератора. По нажатию кнопки RUN происходит запуск загрузки уничтожаемых материалов. Загрузка материалов имитируется индикаторами синего цвета (рис. 4). Уровень заполнения бака представлен размером элемента зеленого цвета, при этом изменение уровня рассчитывается программно, а сигнал о превышении уровня поступает с физического канала (фоторезистор) модуля ПЛК.

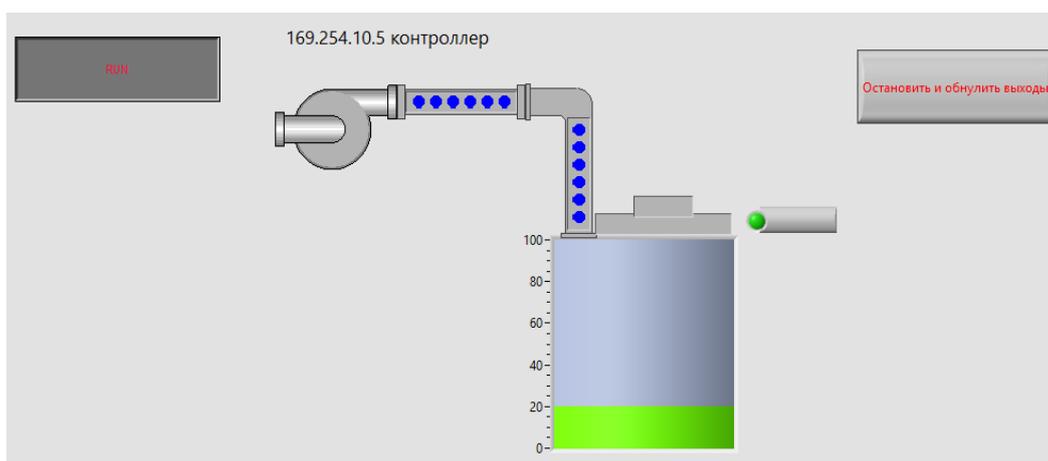


Рисунок 4. Пример лицевой панели для стенда с лазерным модулем и фоторезистором

При получении сигнала с физического канала ПЛК от фоторезистора программно имитируется переполнение бака (рис. 5).

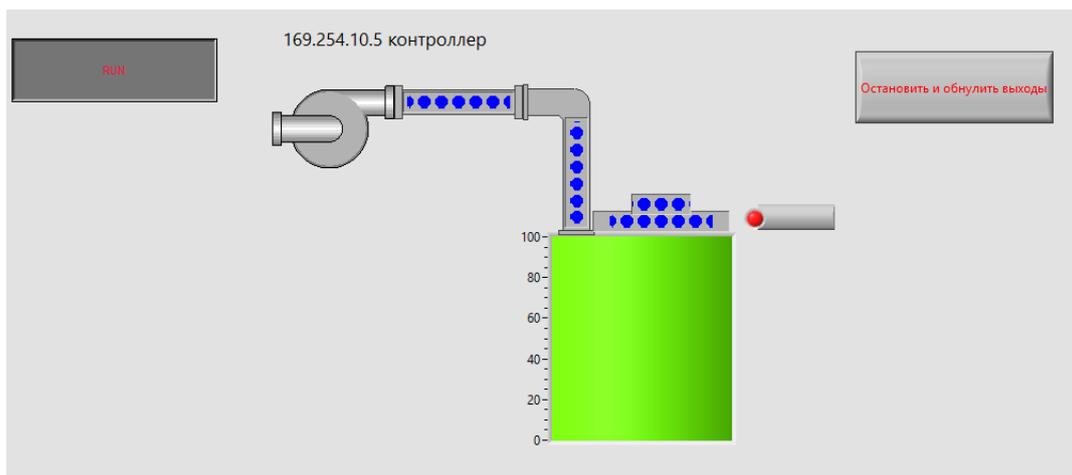


Рисунок 5. Пример лицевой панели при переполнении узла загрузки

Физическая реализация станда представляет собой модель процесса контроля уровня загрузки перерабатываемых материалов. Лазерный модуль направлен на фотоприемник, что обеспечивает непрерывную подачу света на фоторезистор. При перекрытии лазерного луча, происходит прерывание подачи света на фоторезистор и изменяется значение на входе канала ПЛК. На рис. 5 лазерный модуль представлен окружностью красного цвета (при превышении порогового уровня цвет окружности – красный, при базовом режиме работы цвет – зеленый).

На рис. 6 представлен пример вывода экстренного сообщения о превышении порогового уровня (переполнении резервуара).

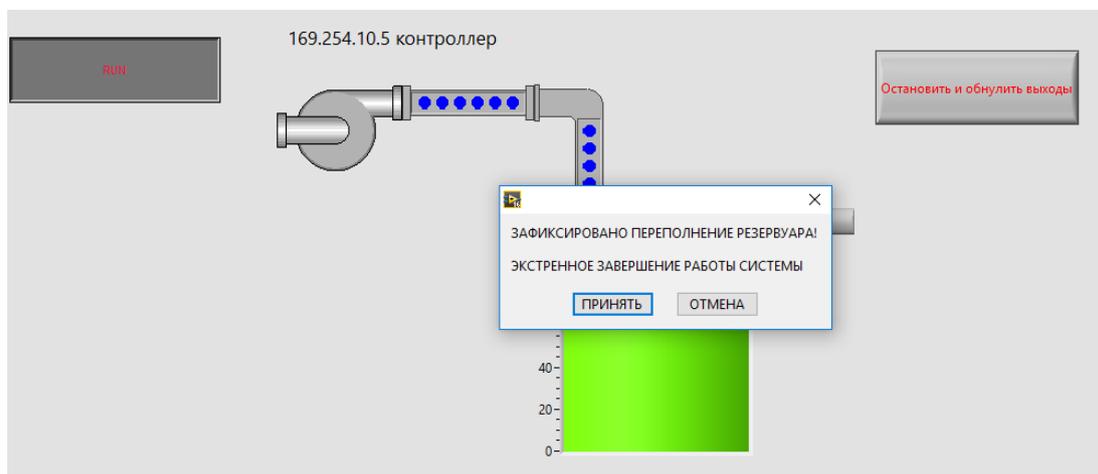


Рисунок 6. Вывод сообщения о превышении порогового уровня оператору

При принятии данного сообщения работа узла останавливается (останавливается работа ПЛК, обнуляются все выходные данные). При отмене данного сообщения работа продолжается, при этом у оператора есть возможность остановить работу узла не в экстренном режиме нажатием кнопки «Остановить и обнулить выходы».

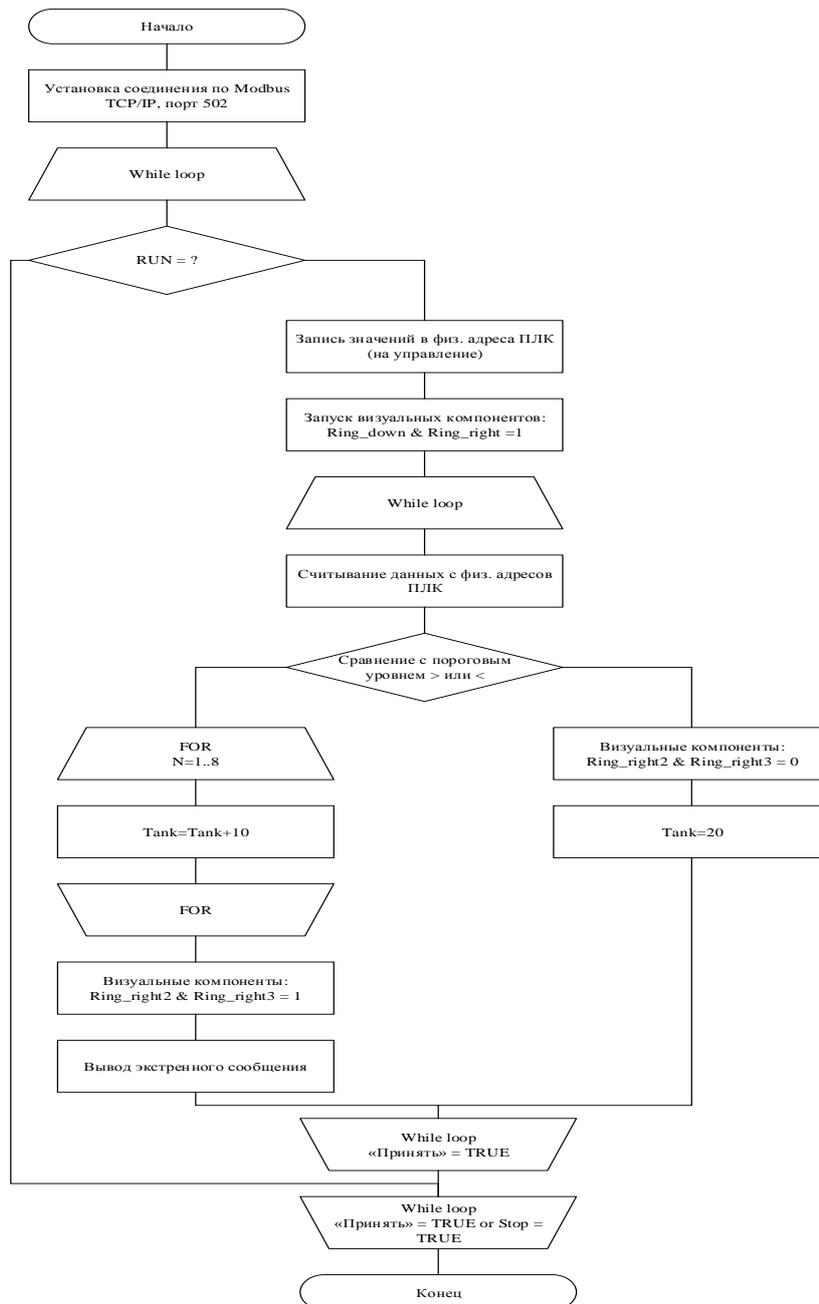


Рисунок 7. Алгоритм работы программы визуализации при получении данных с ПЛК Wago 750-881

В ходе выполнения работы студенты изучили принципы построения программ верхнего уровня в информационно-измерительных и управляющих системах.

Список использованной литературы

1. Построение измерительных каналов на базе программируемых средств: метод. указания к лаб. работам. – 28 с.: ил., табл. – СПб., 2009.
2. Wago // Wago 2020. URL: <https://www.wago.com/ru/>(дата обращения: 30.10.2020).

© Н.В. Романцова, А.В. Царёва, 2020

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ УСЛОВИЙ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

магистрант гр. 429.1 **Червинский Владимир Николаевич**,
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Гладышев Николай Николаевич**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Существующая система теплоснабжения имеет большой потенциал экономии топлива. Одним из способов реализовать этот потенциал является применение как электрической, так и тепловой энергии для покрытия нагрузок отопления, вентиляции, ГВС. В статье описывается эксергетический анализ системы с применением теплового насоса.

Ключевые слова. Эксергия, тепловой насос, паротурбинная установка, КПД, энтальпия.

EXERGETIC ANALYSIS OF A SINGLE-STAGE HEAT PUMP FOR THE CONDITIONS OF THE CITY OF SAINT-PETERSBURG

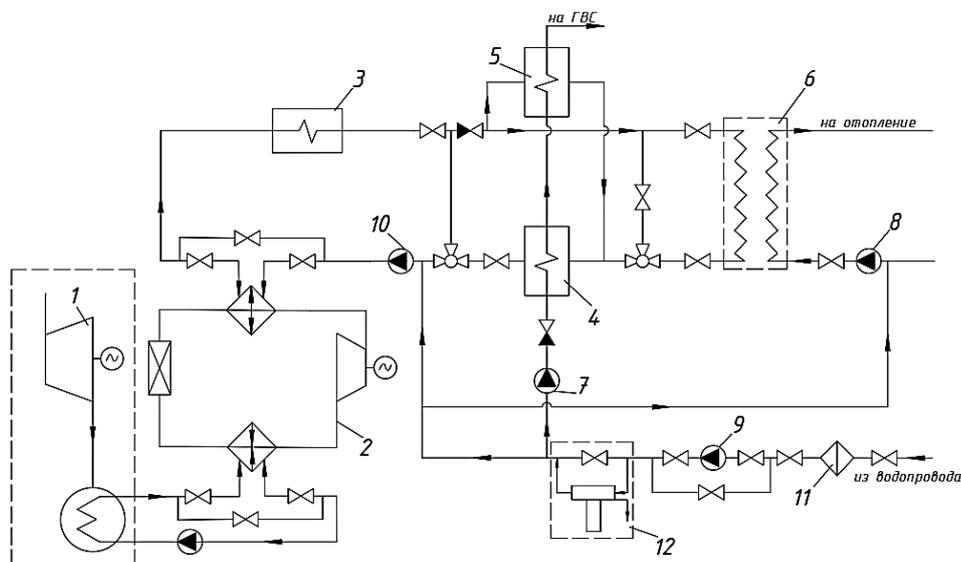
Chervinsky Vladimir Nikolaevich,
Gladyshev Nikolay Nikolaevich

Abstract. The existing heat supply system has a great potential for fuel economy. One of the ways to realize this potential is to use both electrical and thermal energy to cover the loads of heating, ventilation, and DHW. The article describes the exergetic analysis of the system using a heat pump.

Keywords. Exergy, heat pump, steam turbine unit, efficiency, enthalpy.

Любая система теплоснабжения состоит из трех основных элементов: источника тепловой энергии, потребителя и связи между ними. В централизованных системах теплоснабжения формирование потока теплоносителя происходит непосредственно на источнике. Для передачи этой энергии к потребителю используются огромные, разветвленные сети трубопроводов, поэтому потери при транспортировке неизбежны. Кроме того, некачественное регулирование распределения теплового потока по потребителям, зачастую, является причиной переотапливания и, как следствие, регулирование потребителем температуры внутри помещения путем открытия форточек. С учетом этих потерь расход топлива на источнике увеличивается на 20-30 %.

Для исключения потерь при транспортировке и распределении тепла предлагается формировать тепловой поток непосредственно у потребителя. Такую возможность дают теплонасосные установки (ТНУ), схема включения которых в систему теплоснабжения представлена на рис.1. Для их работы необходима электроэнергия и низкопотенциальный теплоноситель, в качестве которого может быть использован конденсат паровых турбин. При транспортировке данных видов энергии к потребителю существенно снижаются потери по сравнению с вариантом, когда отпуск теплоносителя осуществляется от водогрейной котельной. Так же ТНУ дает возможность более качественно осуществлять регулирование теплоотпуска в сравнении с традиционной системой [1].



*Рисунок 1. Схема включения ТНУ в систему теплоснабжения:
 1-паротурбинная установка, 2-теплонасосная установка, 3-пиковый электрический подогреватель, 4-водо-водяной подогреватель I ступени системы ГВС, 5-водо-водяной подогреватель II ступени системы ГВС, 6-водо-водяной подогреватель системы отопления, 7-насос контура ГВС, 8-насос контура отопления, 9-подпиточный насос, 10-циркуляционный насос, 11-фильтр, 12-узел водоподготовки.*

Конденсат паротурбинной установки с температурой 25-35 °С прокачивается через испаритель теплового насоса, где фреон кипит, насыщенные пары политропно сжимаются в компрессоре, перегретые пары поступают в конденсатор, где конденсируясь, отдают свое тепло воде циркулирующей по замкнутому контуру в системе отопления и ГВС. Жидкий фреон через дроссельное устройство поступает в испаритель, и цикл замыкается. Нагретая до 65 °С циркуляционным насосом 10 прокачивается через подогреватели системы отопления и ГВС. Система отопления присоединена по независимой схеме через поверхностный подогреватель 6. Система ГВС присоединена по двухступенчатой смешанной схеме через поверхностные

подогреватели 4 и 5. Для покрытия пиковых нагрузок служит электрический подогреватель 3. Для подачи воды на ГВС и восполнения утечек служит узел подпитки. Водопроводная вода, пройдя фильтр 11, подпиточным насосом подается в узел водоподготовки 12 и уже оттуда раздается в отопительный контур, контур ГВС, циркуляционный контур.

Под эксергией понимается максимальная работа при изоэнтропном переходе из данного состояния в состояние температурного равновесия с окружающей средой. Эксергетическим называется метод термодинамического анализа, учитывающий при анализе технологических систем как первый, так и второй закон термодинамики.

Метод тепловых балансов основан на применении первого закона термодинамики. Однако, являясь частным случаем закона сохранения массы и энергии, первый закон термодинамики не может дать ответа о степени термодинамического совершенства как отдельного элемента, так и энерготехнологической системы в целом.

Эксергетический метод позволяет выполнить как относительную, так и абсолютную оценку степени термодинамического совершенства системы. При анализе учитывают затраченную эксергию и получаемый при этом эксергетический КПД. Задача состоит в том, чтобы подведенная эксергия в анализируемую систему была минимальной и реализовывалась с максимально возможным эксергетическим КПД [2].

Для расчета была взята квартира с суммарной тепловой нагрузкой 9,5 кВт. При работе ТНУ данная теплота является нагрузкой конденсатора. В качестве хладагента выступает фреон R134a. Цикл работы представлен на рис.2. Расчет ТНУ проводился при следующих исходных данных: температура охлаждающей воды на входе в испаритель – 26 °С, на выходе – 23 °С; температура конденсации фреона – 65 °С. В качестве температуры окружающей среды взята температура наиболее холодной пятидневки для города Санкт-Петербург -24 °С [3].

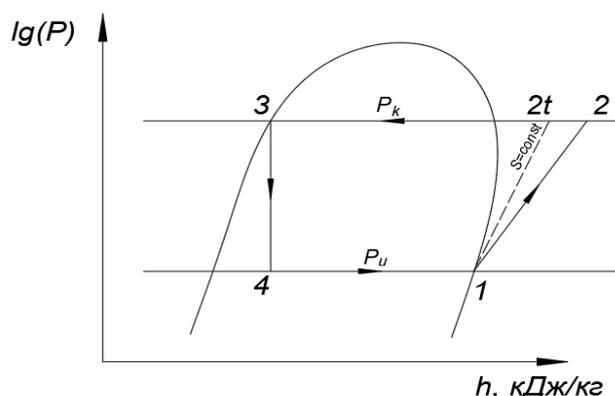


Рисунок 2. Цикл работы одноступенчатого теплового насоса

Требуемая точность расчета обеспечена применением программного обеспечения Cool Pack.

При принятых параметрах работы тепло насосной установки и электромеханическом КПД $\eta_{эм} = 0.9$, электрическая мощность компрессора составляет 3,1 кВт при тепловой нагрузке испарителя 7,3 кВт.

В табл. 1 представлены расчеты основных параметров в каждой точке цикла работы ТНУ.

Таблица 1. Параметры цикла

Точка на рис.2	Температура, °С	Давление, бар	Энтальпия, кДж/кг	Удельный объем, м ³ /кг	Энтропия, кДж/(кг·К)
1	16	5	406,2	0,0404	1,714
2t	73	18,9	439,4	0,0107	1,714
2	78	18,9	447,7	0,0111	1,752
3	65	18,9	295,9	0,0029	1,309
4	16	5	295,9	0,0193	1,334

Эксергетический КПД элемента определяется отношение полезно используемой эксергии к затраченной. Например, для испарителя этот КПД является отношением изменения эксергии хладагента в процессе 4-1 к эксергии воды, подведенной в испаритель из конденсатора паровой турбины, а для конденсатора теплового насоса КПД есть отношение эксергии, отведенной в помещение в процессе 3-2, к эксергии хладагента. В компрессоре КПД определяется отношением изменения эксергии фреона в процессе 2-1 к электрической мощности.

Для расчета изменения удельной эксергии в элементах схемы используется следующая зависимость:

$$\Delta e_{i+1-i} = h_{i+1} - h_i - T_{o.c.}(s_{i+1} - s_i), \text{ кДж/кг},$$

где: h_i -энтальпия на входе в элемент схемы, кДж/кг;

h_{i+1} -энтальпия на выходе из элемента схемы, кДж/кг;

s_i -энтропия на входе в элемент схемы, кДж/(кг·К);

s_{i+1} -энтропия на выходе из элемента схемы, кДж/(кг·К);

$T_{o.c.}$ -температура окружающей среды, К.

Эксергия потока теплоносителя определяется произведением его массового расхода на удельное изменение эксергии. Потери эксергии определяются разностью подведенного потока эксергии и полезно используемого. КПД установки есть отношение подведенной в помещение эксергии к затраченной, которая складывается из мощности компрессора и эксергии низкопотенциального теплоносителя. Результаты эксергетического анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты эксергетического анализа

Параметр	Значение			
	Испаритель	Компрессор	Конденсатор	Дроссельный вентиль
Массовый расход фреона, кг/с	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658
Удельное изменение эксергии хладагента, кДж/кг	15,681	32,038	-41,493	-6,225
Эксергия потока хладагента, кВт	1,031	2,108	-2,73	-0,409
Массовый расход воды, кг/с	0,58	-	0,0816	-
Удельное изменение эксергии воды, кДж/кг	-2,543	-	19,1	-
Эксергия потока воды, кВт	-1,475	-	1,559	-
КПД, %	70	68	57	-
Потеря эксергии, кВт	0,444	0,992	1,171	0,409
Относительные потери эксергии, %	14,7	32,9	38,8	13,6
	Общие показатели			
Эксергия, подведенная в помещение, кВт	1,559			
Эксергия, подведенная к ТНУ, кВт	4,575			
КПД ТНУ, %	34,1			

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что эксергетический КПД системы сравнительно не высок, что основные, наиболее значимые потери имеют место в конденсаторе и компрессоре.

Список использованной литературы

1. Гладышев Н. Н., Луканин П. В. Ресурсосберегающие системы энергосбережения потребителей ЖКХ // Вестник энергоэффективности Минобрнауки России. – 2015. – № 1 (01).
2. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок / СПбГТУРП. – СПб.,– 2013. – С.8.
3. Строительная климатология СНиП 23-02-99*. – 2015. – С. 10.

© В.Н. Червинский, Н.Н. Гладышев, 2020

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ БЛОКА В ВШТЭ

студент гр. 513 **Васюхно Никита Сергеевич**,

Науч. руководитель: ассистент **Кундюков Олег Анатольевич**

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. На сегодняшний день свежий, а главное чистый воздух является важным фактором для работы, учёбы и в целом для пребывания в закрытом пространстве. По этой причине нужно уделять должное внимание вентиляции в помещениях. В данной статье рассмотрены различные виды систем вентиляции. Описана система вентиляции блока «В» ВШТЭ. Показаны преимущества и недостатки этой вентиляции, с её дальнейшими перспективами развития.

Ключевые слова. Вентиляционные системы, вентиляция, экономия электроэнергии, преобразователь частоты.

ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE BLOCK VENTILATION SYSTEM IN HSTE

Vasyuchno Nikita Sergeyeovich,

Kundyukov Oleg Anatolyevich

Abstract. Today, fresh, and most importantly clean air is an important factor for work, study and in general for staying in a closed space. For this reason, proper attention should be paid to indoor ventilation. This article looks at different types of ventilation systems. The ventilation system of the "B" VSTE unit has been described. The advantages and disadvantages of this ventilation, with its further development prospects, are shown.

Keywords. Ventilation systems, ventilation, energy savings, frequency converter

Вентиляция - это совокупность технических средств, отвечающих за воздухообмен в помещениях и создающих благоприятный для состояния человека микроклимат. Вентиляционные системы поддерживают температурно-влажностные условия в допустимых значениях внутри помещений разного назначения.

В ВШТЭ система управления приточно-вытяжной вентиляцией учебного помещения частично автоматизирована с помощью контроллера типа RKN 8. Данный контроллер предназначен для регулирования температуры воздуха в

помещениях, оборудованных системой приточной вентиляции с водяным калорифером.

В результате технического и бытового процессов в воздушную среду поступают тепло и влага. Для поддержания заданных метеорологических условий в помещении, необходимо подавать в него приточный воздух с особыми параметрами. Параметры наружного воздуха меняются во времени. Поэтому, прежде чем подать наружный воздух в помещение, его необходимо специально обработать, придав ему определенные кондиции. Процесс создания и автоматического поддержания определенных параметров воздушной массы называют кондиционированием воздуха. В основном при кондиционировании воздуха его подвергают тепло-влажностной обработке.

Комплекс технических средств и устройств, для подготовки приточного воздуха с заданными параметрами и поддержания в местах пребывания людей заданного состояния воздушного пространства, называется системой кондиционирования воздуха. Система кондиционирования позволяет автоматически поддерживать заданную температуру, влажность и скорость движения воздуха, его чистоту, газовый состав, ароматические запахи, содержание легких и тяжелых ионов, в ряде случаев определенное барометрическое давление [1].

1. Современные системы вентиляции. Классификации вентиляционных систем. На сегодняшний день в мире есть множество различных систем кондиционирования воздуха. В таблице 1 показана классификация этих систем.

Таблица 1. Классификация вентиляционных систем

Классификация систем вентиляции			
По назначению	По способу перемещения воздуха	По способу подачи и удаления воздуха	По способу обеспечения метеорологических параметров
Рабочая Аварийная	Естественные Механические Смешанные	Вытяжные Приточные Приточно-вытяжные Приточно-вытяжные с рециркуляцией	Общеобменные Местные Смешанные Приточно-вытяжные с рециркуляцией

Естественная вентиляция. Вентиляция с естественным побуждением характеризуется отсутствием принудительно движущей силы. Воздухообмен в ней происходит естественно, за счет ветрового и теплового напоров.

Механическая вентиляция. Вентиляция с механическим побуждением может быть общеобменной и локальной. Общеобменная в свою очередь может быть бесканальной и канальной. Более распространенной из них является канальная вентиляция, она характеризуется осуществлением смены воздуха эжекторными установками, перемещающими воздух по специальным каналам, центробежными или принудительно осевыми вентиляторами[2].

2. Описание системы вентиляции ВШТЭ блок В

2.1. Общие сведения

Для получения оптимальных и комфортных параметров микроклимата в здании университета аудитории оснащены системами механической общеобменной вентиляции, включающей в себя фильтрацию и нагрев.

Поступление нового воздуха в служебные помещения, аудитории и сан узлы осуществляется тремя приточными системами П1, П2 и П3. Удаление, с помощью вытяжных установок В1, В2, В3 (рис. 1).



Рисунок 1. Схема приток-помещение-вытяжка

Каждая группа помещений обслуживается самостоятельными системами вентиляции, доводящими воздух до требуемых соответствующими нормам параметров:

1. аудитории, учебные классы, 2 категория:

а) холодный период - допустимые нормы - $t_{в} = 18 - 23^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 60\%$,

$Q = 0,3 \text{ м/с}$.

б) теплый период года – оптимальные нормы - $t_{в} = 19 - 21^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 30 - 45\%$,

$Q = 0,2 \text{ м/с}$ [3]

2. административные помещения, 1а категория

а) холодный период – допустимые нормы - $t_{в} = 20 - 22^{\circ}\text{C}$

б) теплый период года – оптимальные нормы - $t_{в,т} = 20 - 22^{\circ}$ [4].

Параметры воздуха перед попаданием в аудиторию, в аудитории и после аудитории изображены на рис. 2.

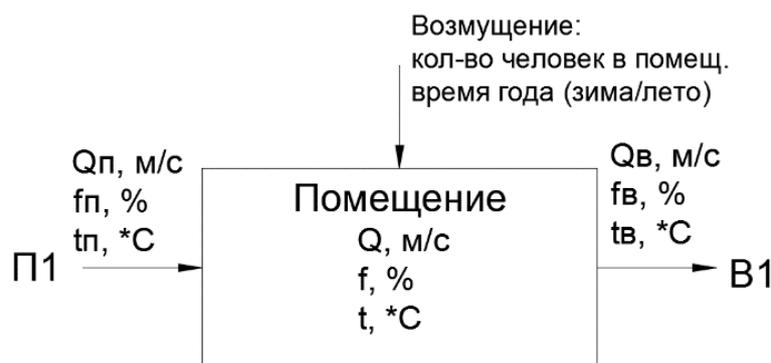


Рисунок 2. Параметры воздуха и возмущение

2.2. Технологический процесс

Технологический процесс подготовки воздуха на данном объекте включает в себя: Забор воздуха из атмосферы, фильтрацию атмосферного воздуха, глушение уличных шумов в воздуховодах, подогрев воздуха до заданной температуры, глушение шума работы установки, разнос подготовленного воздуха по воздуховодам в помещения, удаление отработанного воздуха из помещений в атмосферу

3. Перспективы развития системы вентиляции блока В ВШТЭ

Поддержание постоянной температуры приточного воздуха осуществляется с помощью электронного микропроцессорного контроллера. Температура контролируется по датчику, установленному, как правило, в воздуховоде на выходе приточной установки. Исполнительным механизмом является регулирующий клапан по теплоносителю.

Минусы данного способа регулирования:

- скорость двигателя днем постоянна (ночью он выключается при дистанционном режиме управления), так как регулирование температуры производится калорифером.

Целесообразно изменять расход воздуха регулированием числа оборотов двигателя.

Увеличение скорости двигателя приводит к увеличению расхода воздуха. При этом обеспечиваются необходимые условия для проведения занятий.

Уменьшение скорости двигателя приводит к уменьшению расхода воздуха. Следовательно, возрастает экономия электроэнергии.

Предлагается включить в данную систему вентиляции датчик обратной связи по CO_2 , который установится в воздуховоде вытяжной вентиляции аудиторий (В1). Когда в аудитории начинаются занятия, уровень углекислого газа в воздухе возрастает и это регистрирует датчик, который отправляет полученные данные в контроллер, который, в свою очередь, будет управлять числом оборотов двигателя через преобразователь частоты (ПЧ) в диапазоне от 900 до 1500 об/мин.

Минус данного способа: применение одного датчика CO₂ в вытяжном канале при наличии нескольких помещений нежелательно. Датчик CO₂ будет регистрировать суммарную концентрацию углекислого газа и в помещениях одинаково увеличится воздухообмен.

Также предлагается установить датчик по температуре, который установится в воздуховоде на выходе приточной вентиляции (П1). Данные с датчика температуры будут регистрироваться контроллером, который будет подавать сигнал на ПЧ, который, в свою очередь, будет подавать управляющее воздействие на двигатель. Температура калорифера установится на фиксированном уровне. Температура на выходе приточной установки будет меняться, благодаря изменению скорости воздушного потока.

Благодаря внедрению контроллера, станет возможным сделать систему полностью автоматизированной, а также применять различные алгоритмы управления системой автоматического поддержания микроклимата в корпусе «В» института. В настоящее время, тяжело представить себе двигатель без преобразователя частоты. Применение преобразователя частоты в системе вентиляции экономически целесообразно, так как позволит экономить электроэнергию, а также увеличит срок службы двигателя.

В настоящей работе был произведен обзор существующих вентиляционных установок. Была рассмотрена вентиляционная установка блока «В» ВШТЭ, а также выявлены её преимущества и недостатки, работая на которыми можно существенно снизить затраты на электроэнергию, повысить производительность труда, увеличить срок службы двигателей и установок, а также снизить нагрузку на обслуживающий персонал.

Список использованной литературы

1. Интернет ресурс: <https://smekni.com/a/192380/proekt-sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-pritochno-vytyazhnoy-ventilyatsionnoy-ustanovkoj/>
2. Интернет ресурс: <https://studfile.net/preview/3896548/page:3/>
3. ГОСТ 30.494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
4. СанПиН 2.2.4.548-96 «Физические факторы производственной среды».

© Н.С. Васюхно, О.А. Кундюков, 2020

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

д-р техн. наук, профессор **Барановский Владимир Владимирович**,
канд. техн. наук, доцент **Короткова Татьяна Юрьевна**
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В предлагаемой статье акцентируется внимание на то, что принятие проектно-технических решений при создании или модернизации промышленных ТЭС представляет собой сложную научную задачу, для решения которой целесообразно использование методологии системного подхода. Разработана и представлена стратифицированная модель промышленной ТЭС, приведено описание страт трех уровней. Сформулированы основные подходы к созданию математической модели свойств промышленных ТЭС.

Ключевые слова. Промышленные тепловые электростанции, стратификация, математическая модель, оборудование, оптимизация, целевая функция, критерии, надежность.

BASIC APPROACHES TO CREATING A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROPERTIES OF INDUSTRIAL THERMAL POWER PLANTS AT THE STAGE OF DESIGN AND SURVEY WORK

Baranovsky Vladimir Vladimirovich,
Korotkova Tatyana Yurievna

Abstract. The article focuses on the fact that making design and technical decisions when creating or modernizing industrial thermal power plants is a complex scientific task, for which it is advisable to use the methodology of the system approach. A stratified model of industrial thermal power plants is developed and presented, and strata of three levels are described. The main approaches to creating a mathematical model of the properties of industrial thermal power plants are formulated.

Keywords. Industrial thermal power plants, stratification, mathematical model, equipment, optimization, objective function, criteria, reliability.

Промышленные тепловые электрические станции (ТЭС) создаются с целью обеспечения тепловой и электрической энергией одного или нескольких промышленных предприятий и, возможно, прилегающих к ним объектов жилищно-коммунальной инфраструктуры.

Любая промышленная ТЭС представляет собой комплекс технического оборудования и устройств, предназначенных для преобразования химической энергии топлива в тепловую и электрическую энергию. Промышленные ТЭС входят в состав предприятий, которые они обслуживают, их мощность определяется потребностями предприятия в тепловой и электрической энергии и, как правило, она существенно меньше мощности районных ТЭС.

Обоснование наиболее предпочтительных вариантов перспективных промышленных ТЭС или вариантов модернизации существующих ТЭС неизбежно приводит нас к разработке математической модели, которая необходима для количественной оценки качества их функционирования. Математическая модель предназначена для исследования совокупности свойств ТЭС с целью отыскания наиболее предпочтительного их сочетания.

Поскольку промышленные ТЭС создаются с какой-то определенной целью для выполнения определенных задач, то для обоснования степени достижения поставленной цели необходимо выбрать критерий оптимальности, который и должен характеризовать степень достижения создаваемой ТЭС цели. Степень достижения цели обычно определяется как эффективность, количественной мерой которой является показатель эффективности. Принцип выбора показателя эффективности состоит в установлении строгого соответствия между целью, которая должна быть достигнута при разработке и создании ТЭС, и избираемым показателем эффективности [1].

Для того чтобы описать основные свойства (характеристики) ТЭС, выделить показатели и критерии эффективности функционирования, обеспечить рациональное сочетание свойств, необходимо разработать математическую модель ТЭС и, на ее основе, провести комплекс исследований.

Поскольку промышленные ТЭС являются структурно-сложными системами, т.е. создаются в удовлетворении интересов системы более высокого уровня (конкретного промышленного предприятия), состоят из огромной совокупности элементов и систем с множеством связей между ними (механическими, энергетическими, информационными и др.), то при разработке математической модели необходимо руководствоваться основными принципами системного подхода.

Системный подход является одним из методологических направлений науки, связанным с представлением и исследованием объектов в виде систем. Основные положения системного подхода изложены в работах [2-6]. Основные принципы системного подхода могут быть использованы при создании таких сложных технических систем, как промышленные ТЭС.

На начальном этапе разработки математической модели создаваемой ТЭС необходимо осуществить морфологическое описание (структурное представление) рассматриваемой системы. В нашем случае наиболее полно подходит, так называемое, стратифицированное описание системы.

Стратифицирование можно использовать для обеспечения возможности отдельного моделирования тех или иных свойств ТЭС как структурно-сложной системы.

Стратифицированное описание системы выгодно отличается тем, что между стратами может существовать только асимметричная зависимость, т.е. требования, предъявляемые к работе системы на вышестоящей страте, выступают как условия или ограничения деятельности на нижестоящей страте (см. рис. 1). Другими словами, оценить эффективность создаваемой ТЭС при стратифицированном описании мы можем на уровне 2-й страты, т.е. на уровне формирования целевого предназначения ТЭС, при этом не ухудшается критерий вышестоящего уровня (предприятия в целом), т.к. требования надсистемы, в данном случае, выступают в виде условий или ограничений функционирования ТЭС.

Возвращаясь к морфологическому описанию проектируемой ТЭС, следует отметить, что стратифицированная трехблочная модель ТЭС, может быть представлена в виде трех страт.

Страта верхнего уровня – промышленное предприятие в целом ради которого создается ТЭС, ее цель – минимизация затрат на выпускаемую продукцию. Страта на уровне ТЭС, ее цель - оптимизация свойств ТЭС. Страта нижнего уровня, представляющая собой экономический блок, предназначена для оценки затрат на создание и эксплуатацию ТЭС.



Рисунок 1. Стратифицированное описание ТЭС как структурно-сложной системы

На рисунке 1 γ_1 и γ_2 обозначены сигналы верхнего уровня, поступающие как управляющие сигналы, ω_1 и ω_2 обратная связь, т.е. сигналы поступающие в надсистему из системы нижнего уровня.

Сообразуясь со стратифицированным описанием, промышленная ТЭС может быть представлена в виде математической модели, включающей: технический блок, блок оценки эффективности ТЭС по назначению и экономический блок (рис. 2).



Рисунок 2. Схема математической модели ТЭС

Математические выражения для расчета зависимых переменных составляет содержание технического блока математической модели ТЭС и блока оценки эффективности ТЭС по назначению. Таковыми зависимостями, в частности, являются:

1. Уравнения для оценки рабочей и номинальной мощности станции;
2. Уравнения для оценки энергетической эффективности станции;
3. Уравнения для оценки экономичности станции;
4. Уравнения для оценки маневренности ТЭС;
5. Уравнения для оценки надежности ТЭС;
6. Уравнения для оценки технико-экономических показателей работы ТЭС;
7. Уравнения для оценки экологической безопасности ТЭС.

Исходя из целевого предназначения промышленной ТЭС (бесперебойный отпуск потребителю тепловой и электрической энергии заданных параметров), в качестве критериев эффективности параметров проектируемой ТЭС в первом приближении могут использоваться - минимум затрат на производство тепловой и электрической энергии и максимум надежности работы станции.

Таким образом, на основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Обоснование проектно-технических решений при проектировании или модернизации промышленных ТЭС является сложной научной задачей, для решения которой целесообразно использование методологии системного подхода.

2. Задача оптимизации характеристик промышленных ТЭС должна формулироваться в соответствии с их целевым предназначением при обеспечении наилучших показателей их функционирования.

3. Для решения задачи оптимизации характеристик промышленных ТЭС необходимо разработать математическую модель ТЭС и, на ее основе, провести комплекс исследований.

Список использованной литературы

1. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. - М.: Советское радио, 1964.
2. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М. Радио и связь, 1990.
3. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: Математические основы. М.: Мир, 1978.
4. Захаров И.Г. Обоснование выбора. Теория практики. – СПб.: Судостроение, 2006. – 528 с.
5. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системный подход в современной науке, в сб. "Проблемы методологии системного исследования", М.: Мысль, 1970, С.7-48.
6. Пирумов В.С., Леин Е.Б., Евтеева Л.В. Системный подход в современных исследованиях. Введение в теорию систем. ВМА, 1973.

© В.В. Барановский, Т.Ю. Короткова, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Тененик Н.С., руководитель Гладышев Н.Н.; Соболева Е.М. ПЛЁНОЧНЫЕ ПОЛЫ - СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ.	3
Сабзалыев С.А., Липатов М.С. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ . .	6
Кашеев К.О., руководитель Кундюков О.А. АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ОСВЕЩЕНИЕ КОРПУСОВ ЗДАНИЯ ВШТЭ.	11
Ковалёв Е.Н. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ ВХОД – ВЫХОД.	15
Желдыбаков А., руководитель Бондаренкова И.В. ИНТЕГРИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОШИБОК JIRA В РАБОТУ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	20
Казаков Э.Р., Липатов М.С. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ ТЕПЛОСЕТИ.	23
Кондрашкова Г.А., Дятлова Е.П., Бондаренкова И.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.	29
Бурганова Ф.И., Зверев Л.О., руководитель Зверева Э.Р. УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ	35
Крезуб А.И., руководитель Циовкин Ю.Ю. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ТОПЛИВО.	39
Воропанова М.А., руководитель Новиков А.И. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ	46
Гладышев Н.Н., Базулин И.С., Морозов Г.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	53
Воронкова Р.Ю., руководитель Горобченко С.Л. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ АРМАТУРЫ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И АВТОМАТИЧЕСКИХ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ.	59

Давыдова Е.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ С УМОМ.	71
Кондрашкова Г.А., Дятлова Е.П., Бондаренкова И.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ЦБП	77
Ерина А.И., руководитель Благодарный Н.С. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И COVID-19.	85
Благодарный Н.С., Ершов К.К. СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ С НЕЖЕСТКИМИ СВЯЗЯМИ	90
Зверев Л.О., руководитель Злобин В.Г. РАБОТА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С УДАЛЕННЫМИ РАБОЧИМИ ЛОПАТКАМИ.	96
Злобин В.Г. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПГУ	102
Ильина Я.А., руководитель Ковалёв Д.А. ВОЗДУХОЗАБОРНАЯ СИСТЕМА ГПА 16М-06 "УРАЛ".	108
Закиров З.А., руководитель Графова О.В. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ	113
Колосова М.В., Ремизова И.В. ОПТИМИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ MOODLE	118
Крылова Ю.И., руководитель Черникова А.В. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ.	122
Литвинова А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ СРЕДЫ.	129
Лукашенок Д., руководитель Рудакова И.В. ВИРТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР СОСТАВА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ГАЗА	135
Медведев В.А., руководитель Гладышев Н.Н. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ВОДЯНОГО И ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	140

Моисеев А.С., руководитель Рудакова И.В. СИСТЕМА ONLINE МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА.	145
Морозов Г.А., руководитель Злобин В.Г. К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ ТЭС	153
Москаленко П.А., Труханова И.А. МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОССИЙСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО РЫНКА УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ	158
Никешин В.Г., руководитель Бондаренкова И.В. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ	162
Носачев Г.П., руководитель Зверева Э.Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЗУТА С ПРИСАДКОЙ В ВИДЕ ШЛАМА.	167
Савенко А.В., Цимбал В.Д. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАБОРАТОРНОГО ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА ФИРМЫ «MEASLAB».	172
Савенко А.В., руководитель Кулапина А.В. ВНЕДРЕНИЕ ШОССЕЙНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КРЫМА.	178
Сидельников В.И., Бикташев Р.М. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ НА УСТАНОВКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ.	182
Кучерова Н.А., руководитель Злобин В.Г. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТЭС И АЭС.	186
Назаров А.И., руководитель Зверева Э.Р. ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИСАДКИ В ВИДЕ ШЛАМА В МАЗУТЕ НА СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ	191
Ремизова И.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СКЛАДИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ	196
Романцева Н.В., Царёва А.В. РЕАЛИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ УПРАВЛЕНИЯ ПЛК WAGO В СРЕДЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW	200

Червинский В.Н., руководитель Гладышев Н.Н. ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ТЕПЛОГО НАСОСА ДЛЯ УСЛОВИЙ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ.	205
Васюхно Н.С., руководитель Кундюков О.А. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ БЛОКА В ВШТЭ.	2196
Барановский В.В., Короткова Т.Ю. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	215

МАТЕРИАЛЫ
Всероссийской научно-практической конференции
обучающихся и преподавателей
«ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ:
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»

2021 • Часть 1

Редактор и корректор Л. Я. Титова
Технический редактор Л. Я. Титова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 25.02.2021 г. Рег. № 04/21

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.