

ICES-2022
BELGOROD

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова»

Энергетические Системы

VI Международная
научно–техническая
конференция

Секция молодых ученых

Материалы конференции

(Белгород, 22 декабря 2022 г.)

Белгород
2022

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**VI Международная
научно-техническая
конференция**

Секция молодых ученых

Материалы конференции

(Белгород, 22 декабря 2022 г.)

Белгород
2022

УДК 620.9(082)

ББК 3

Э 65

Э65 **Энергетические** системы [Электронный ресурс]: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., 22 декабря 2022 г. Секция молодых ученых / Белгор. гос. техн. ун-т; отв. ред. П.А. Трубаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. – 60 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: ПК; 512 Мб ОЗУ; свободное место на HDD 12 Мб; Microsoft Windows XP и выше; дисковод CD-ROM; программа для чтения файлов формата pdf.

ISBN 978-5-361-01133-9

В сборнике опубликованы доклады студентов, магистрантов и аспирантов, представленные в секции молодых ученых VI Международной научно-технической конференции «Энергетические системы (ICES -2022)».

Сборник предназначен для широкого круга научных и инженерных работников, а также аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Статьи прошли процедуру рецензирования и публикуются в авторской редакции. Авторы статей, включенных в сборник, сохраняют исключительные права на размещенные в сборнике материалы и вправе использовать свои произведения независимо от сборника.

УДК 620.9(082)

ББК 3

ISBN 978-5-361-01133-9

© БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Гусаков Е.Е. Современные угольные теплоэлектростанции: обзор.....	6
Зырянов В. В. Компенсация реактивной мощности с использованием STATCOM/SVC Light	18
Королев И.В., Кулешова А.О. Активная молниезащита как способ безопасности населения и окружающей среды.....	22
Матухнов Т.А., Матухнова О.Д., Щепалов С.Р. Обзор применения цифровых двойников в системах теплоснабжения	26
Нестеренко А.М., Бабешко В.С., Кондратьев М.В., Бурденкова Е.Ю. Экология атомной энергетики: проблемы и перспективы.....	31
Реев В.Г., Васильев П.Ф. Энергоснабжение арктических районов Республики Саха (Якутия).....	40
Ульбрехт Д.А., Фролова М.А., Ахмедова О.О. Перспективы комбинированной системы электроснабжения.....	45
Шатило И.А. Перспективы использования ПАТЭС в регионах с нестабильным энергоснабжением ...	49
Шибяев С.С. Использование древесных отходов в теплоэнергетике	55



ПРЕДИСЛОВИЕ

VI-я международная научно-техническая конференция «Энергетические системы (ICES-2022)» состоялась 22 декабря 2022 г. на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова).

Рабочие языки конференции – русский и английский. На конференцию после прохождения процедуры рецензирования был отобран 41 доклад, в том числе девять – в секцию молодых ученых. Всего в конференции приняли участие 96 человек из 22 организаций (в том числе из 19 вузов, одного научного учреждения и двух предприятий), расположенных в 15 российских регионах.

Количественный состав авторов докладов следующий: д-ра техн. наук, профессора – 13 чел.; канд. наук, доценты – 24 чел.; инженеры, ассистенты, старшие преподаватели, мл. научн. сотруд. и др. не остепенённые – 4 чел.; аспиранты – 20 чел.; магистранты и студенты – 25 чел.; представители производства – 4 чел.

УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ

- Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул;
- Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова;
- Воронежский государственный технический университет;
- Вятский государственный университет, г. Киров;
- Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, г. Иваново;
- Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск;
- Казанский государственный энергетический университет;
- Камышинский технологический институт (филиал ВолгГТУ);
- Комсомольский-на-Амуре государственный университет;
- МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва;
- Научно-исследовательский университет «МЭИ», г. Москва;
- Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва, г. Саранск;
- Национальный исследовательский Томский политехнический университет;
- Новотроицкий филиал НИТУ МИСиС;
- ООО «Кинемак», г. Москва ;
- ООО «ЭПБСпринт», ВятГУ, г. Киров;
- Оренбургский государственный университет;
- Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I;
- Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва;
- Саратовский Государственный Технический университет им. Ю.А.Гагарина, г. Саратов;
- Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск;
- Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург.

В сборнике публикуются материалы секции молодых ученых конференции.



ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ



Трубаев Павел Алексеевич

Председатель программного комитета
Председатель секции «Энергосбережение и энергоэффективность»

Д-р техн. наук, доц., профессор кафедры энергетики теплотехнологии БГТУ им В.Г. Шухова (г. Белгород)



Белоусов Александр Владимирович

Председатель секции «Электроэнергетика и электротехника»

Канд. техн. наук, доцент, директор института энергетики, информационных технологий и управляющих систем, зав. каф. электроэнергетики и автоматики БГТУ им В.Г. Шухова (г. Белгород)



Бирюков Алексей Борисович

Председатель секции «Теплоэнергетика и теплотехника»

Д-р техн. наук, проф., зав. каф. промышленной теплофизики ДонНТУ (г. Донецк)



Гашо Евгений Геннадиевич

Председатель секции «Энергетические системы и комплексы»

Д-р техн. наук, доц., проф. кафедры Промышленных теплоэнергетических систем Национального исследовательского университета «МЭИ», эксперт аналитического центра при Правительстве РФ (г. Москва)



Мозговой Николай Васильевич

Председатель секции «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение в технологиях»

Д-р техн. наук, проф., зав. каф. Промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ВГТУ (г. Воронеж)



Радченко Вадим Витальевич

Канд. экон. наук, Председатель Совета депутатов города Белгорода (г. Белгород)



Удовиченко Злата Викторовна

Канд. техн. наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской архитектурно-строительной академии (г. Макеевка Донецкой обл.)



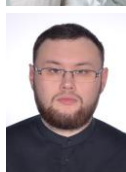
Abdouloihabi Mohamed Valid Abdouloihabi

PhD, Lecturer, University of Diyala (Baqubah, Diyala)



Marina Kozhukhova

PhD, COLLEGE OF Engineering & Applied Science, University of Wisconsin–Milwaukee (Milwaukee)



Леонов Евгений Сергеевич

технический секретарь

Инженер кафедры энергетики теплотехнологии БГТУ им В.Г. Шухова (г. Белгород)



СОВРЕМЕННЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ОБЗОР

Гусаков Е.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Тихомирова Т.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация

Рассмотрены энергоэффективные технологии сжигания угля, обеспечивающие снижение выбросов вредных веществ в атмосферу. Выделены три направления, используемые для повышения эффективности выработки электроэнергии на угольных электростанциях: предварительная подготовка топлива к процессу его сжигания; чистые угольные энергетические технологии сжигания и газификации; экологическая обработка отходящих газов. В работе основное внимание уделено вопросам сжигания и газификации каменного угля. Обладая высокими технологическими и экологическими показателями, энергообъекты, созданные на их основе, позволяют эффективно использовать энергетические запасы угля и вырабатывать электрическую энергию на тепловом потреблении. Представлены основные методы снижения образования оксидов азота в выбросах электростанций.

Ключевые слова: угольное топливо, сжигание, газификация, ТЭЦ, ТЭС, выбросы, эффективность, чистые технологии

MODERN COAL POWER PLANTS: A REVIEW

Evgeniy Gusakov, Tamara Tikhomirova

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Annotation

Energy-efficient coal combustion technologies that reduce emissions of harmful substances into the atmosphere are considered. There are three directions used to improve the efficiency of electricity generation at coal-fired power plants: preliminary preparation of fuel for the process of its combustion; clean coal energy combustion and gasification technologies; environmental treatment of waste gases. The paper focuses on the issues of combustion and gasification of hard coal. Possessing high technological and environmental performance, the energy facilities created on their basis make it possible to efficiently use the energy reserves of coal and generate electricity from heat consumption. The main methods for reducing the formation of nitrogen oxides in emissions from power plants are presented.

Keywords: coal fuel, combustion, gasification, CHP, TPP, emissions, efficiency, clean technologies

Введение

В настоящее время преобладающим топливом, которое в России используется в качестве первичного источника теплоты, является природный газ. Его удобно использовать для транспортировки и сжигания в различных энергетических установках, однако природные запасы газа уменьшаются, и наблюдается тенденция к росту цен на газообразное топливо.

В связи с этим необходимо искать для энергетического использования другие виды топлива, например, твердое топливо. По этой причине для выработки электрической энергии в настоящее время применяют твердотопливные электростанции, в которых в качестве топлива используются различные марки угля [1]. Причем тенденция



наращивания электрических мощностей с использованием энергетического угля распространяется в мировой энергетической системе, ежегодное потребление угля в которой составляет около четырех миллиардов тонн, при этом в энергетике используются около 2/3 добываемых углей [2].

В России доля ТЭЦ в структуре угольной генерации более чем вдвое ниже среднемировой (рис. 1), но все равно значительна, поэтому важным являются требования по увеличению эффективности энергетических циклов производства и обеспечению экологических показателей работы энерготехнологического оборудования. Данный комплекс требований диктует на сегодня разработку экологически чистых ТЭС и ТЭЦ.

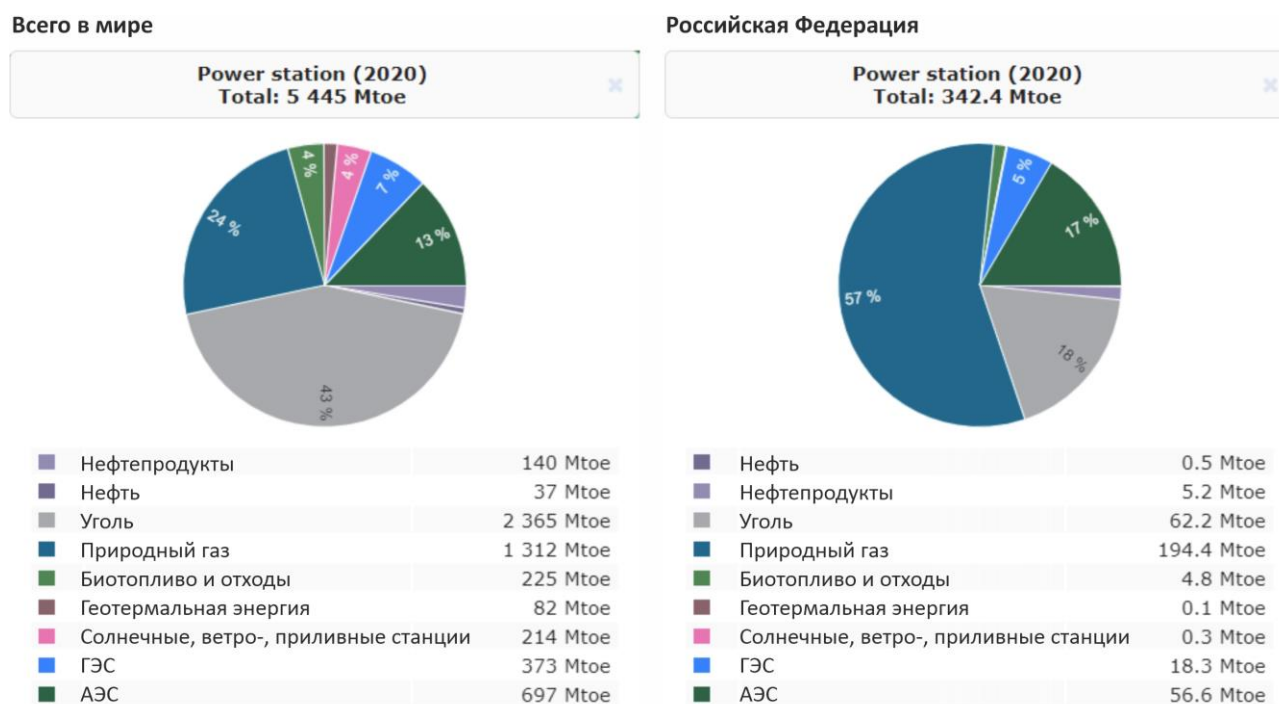


Рис. 1. Структура потребления топлива на электростанциях

Источник: Мировое энергетическое агентство (<https://www.iea.org/sankey/>)

В настоящее время при выработке электроэнергии с использованием твердого топлива применяют различные технологии: с предварительной подготовкой топлива к процессу его сжигания, совершенные энергоэффективные технологии сжигания, очистка продуктов горения топлива [3]. Для предварительной подготовки угля к сжиганию применяют различные методы обогащения с целью снижения его зольности и содержания серы.

Энергоэффективными технологиями сжигания угля считаются способы сжигания топлива в кипящем слое, газификация топлива, ступенчатое сжигание. Такие способы сжигания угля обеспечивают снижение выбросов вредных веществ в атмосферу.

1. Обзор твердотопливных ТЭС

В настоящее время на долю выработанной электрической энергии на тепловых электрических станциях в общем объеме приходится около 18%, КПД которых в среднем не превышает 40%.

ТЭС с использованием твердого топлива в виде угля по ряду объективных причин приобретают все большее значение. Одной из причин является возрастающие цены на газообразное топливо, что приводит к мировой тенденции увеличения использования твердого топлива для выработки электроэнергии на электростанциях.



Использование твердого топлива в планируемом энергетическом балансе будет зависеть от решения экологических проблем, которые создают твердотопливные ТЭС. Особую категорию загрязнений атмосферы относят ТЭС, работающие на низкосортных видах твердого топлива [5]. Современные технологии газификации твердых видов топлив позволяют применять непригодные низкосортные виды твердых топлив. Из них получают генераторный газ с дальнейшим его использованием в ГТУ ТЭЦ и газопоршневых ТЭЦ для выработки электрической и тепловой энергии одновременно.

Твердотопливные электростанции эксплуатируются в РФ с целью выработки электрической энергии в энергетическом секторе нашей экономики.

Так, на территории Центральной части России до сих пор вырабатывают электрическую энергию с использованием твердого топлива тепловые электростанции с советской аббревиатурой - ГРЭС: Новочеркасская, Рязанская, Череповецкая.

На сегодняшний день КПД ТЭС, работающих на твердом топливе, составляет 30 - 40% [1, 6], что является главным недостатком и сдерживающим фактором развития твердотопливных электростанций.

Более того общество зеленых во всем мире признает твердотопливные электростанции не достаточно экологически чистыми, так как в результате сжигания углей в атмосферу выбрасываются зола и оксиды NO_x и SO_y в составе отходящих газов. В России угольные ТЭС производят менее 20% энергии, но на их долю приходится 70% вредных выбросов энергетики [7].

В соответствии с экологическими требованиями к твердотопливным ТЭС в настоящее время применяются чистые угольные технологии [6, 8], обеспечивающие необходимые экологические показатели по использованию твердого топлива.

Из всех разнообразных технологий по подготовке твердых топлив к сжиганию основными широко применяемыми являются: предварительная подготовка твердого топлива в виде его переработки, экологически чистые теплотехнологии сжигания твердых топлив, газификация низкосортных углей с получением генераторного газа, технологии очистки продуктов сгорания твердых топлив. Так же важным является глубокая утилизация теплоты дымовых газов [9] и утилизация золы-уноса [10]. В работе рассмотрены вторая группа технологий — экологически чистые технологии сжигания и газификации твердого топлива. Энергоблоки в составе ТЭС, созданные на основе экологически чистых технологий сжигания и газификации твердого топлива, позволят эффективно использовать энергетические угли [11].

2. Твердотопливные экологически чистые ТЭС: перспективы их применения

В настоящее время еще на стадии проектирования ТЭС необходимо соблюдать экологические требования по нормам допустимых выбросов в окружающую среду с целью снижения на нее негативного влияния. Для экологической безопасности при организации твердотопливных ТЭС, прежде всего, необходимо предусмотреть наиболее эффективные методы по снижению выбросов в атмосферу [1].

При разработке твердотопливных ТЭС с паровыми турбинами для выполнения экологических требований эффективным считается применение различных методов очистки отходящих дымовых газов. Так, положительно в этом направлении для снижения выбросов оксидов NO_x и SO_y в отходящих газах до требуемых значений зарекомендовала себя установка селективного каталитического восстановления [1].

Другим вариантом для осуществления решения той же задачи является применение ТЭС с котлами циркулирующего кипящего слоя. В котле с топкой кипящего слоя наблюдается максимальная температура в зоне горения меньше, чем 900°C . При таких условиях концентрация оксидов NO_x соответствует нормативным требованиям. Кроме того, в котлоагрегатах с топками ЦКС можно сжигать низкосортные угли [12, 13].

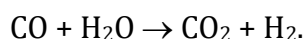


При проектировании твердотопливных ТЭС с ПГУ зачастую применяют газификацию угля, то есть твердое топливо частично подвергают окислению в газификаторе горелочного устройства. Концентрация NO_x при применении такой теплотехнологии составляет до 150 мг/м^3 [13].

Разновидностью технологий сжигания твердого топлива в котлах с топками ЦКС, является сжигание твердого топлива в топках кипящего слоя под давлением (КСД), избыточное давление при этом составляет $1,2 - 1,6 \text{ МПа}$ [14]. Высота кипящего слоя при организации КСД должна быть не меньше 3 метров. Преимущество такого метода сжигания твердого топлива заключается в меньшей потери энергии, чем методе газификации твердого топлива. Концентрация NO_x составляет 200 мг/м^3 , КПД - 43%.

Кроме вредных для окружающей среды газов NO_x , является углекислый газ, создающий парниковый эффект. По этой причине необходимо осуществлять его утилизацию. С этой целью применяют технологию «Carbon Capture and Storage -CCS».

При организации предтопочного удаления CO_2 первоначально твердое топливо подвергают газификации. При этом получается газ с содержанием угарного газа - CO и H_2O в парообразном состоянии. Они при взаимодействии образуют H_2 . Данный термический процесс можно описать химической реакцией:



При организации топочного удаление углекислого газа применяют химические реагенты для выделения углекислого газа.

При проектировании экологически чистых твердотопливных ТЭС необходимо предусмотреть применение котельных агрегатов с ЦКС и с эффективными системами очистки отходящих газов в атмосферу. Так же являются перспективными миги-ТЭЦ на твердом топливе [15, 16]. Но так как в стоимости топлива для удаленных районов значительную часть занимают транспортные расходы, а на выработку единицы тепловой энергии потребуется в 2 раза больше угля, чем дизельного топлива, более низкая стоимость угля может нивелирована высокими расходами на его перевозку.

3. Способы сжигания угля в топках котлоагрегатов

Основными способами сжигания твердого топлива в теплотехнических установках являются: сжигание в слое, сжигание в кипящем слое, сжигание в факеле, вихревое сжигание [5].

Сжигание топлива в слое, как правило, применяется для кускового топлива для сжигания его на колосниковой решетке с подачей через нее атмосферного воздуха для окисления (рис. 5). Рассмотренный тип сжигания твердого топлива можно осуществить в различных конструкциях топок: с неподвижной колосниковой решеткой, с движущейся колосниковой решеткой. Этот способ сжигания часто применим, так как прост для его реализации, не требует больших затрат.

Однако, сжигания твердого топлива в слое недопустимо в случае спекающихся углей и углей с легкоплавкой золой, то есть его применяют для сжигания углей соответствующего качества.

Особенностью слоевых топок является присутствие неполного сгорания угля, что снижает теплоту сгорания топлива, следовательно, это ведет к повышенному расходу топлива [3].

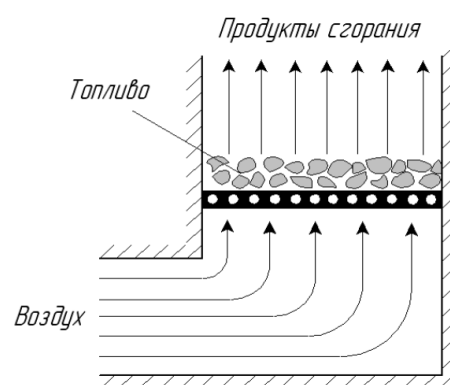


Рис. 5. Схема слоевого сжигания твердого топлива [17]

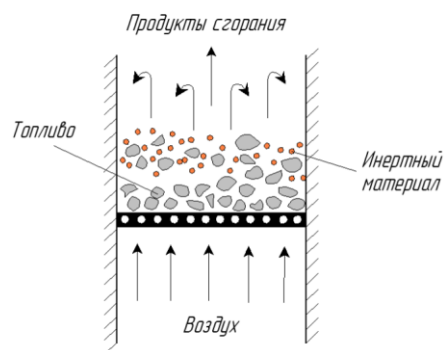


Рис. 6. Схема сжигания угля в топке КС [17]

Указанный недостаток слоевых топков ликвидируется в топках с кипящим слоем (КС, рис. 6). В них можно осуществлять низкотемпературное сжигание топлива в кипящем слое (НТКС) и высокотемпературное сжигание топлива в кипящем слое (ВКТС). Для организации необходимой скорости подачи воздуха, его подают под давлением через форсунки. Сжигание твердого топлива осуществляют в слое инертного материала. Для сжигания угля в КС необходимо соблюдать требование по соразмерному фракционному составу [1]. Сжигание угля в КС обеспечивает пониженное содержание термических оксидов NO_x [18].

Для сжигания топлива в факеле уголь должен поступать в топку в пылеобразном состоянии. Для факельного сжигания угля используют пылеугольные горелки (рис. 7).

С целью снижения образования оксидов NO_x применяют двухступенчатое факельное сжигание угля (рис. 8). При таком методе образуется безопасный газ для окружающей среды молекулярный N_2 , а не NO_x [17]. Факельное сжигание угля дает возможность сжигания различных видов углей, в том числе и низкосортных.

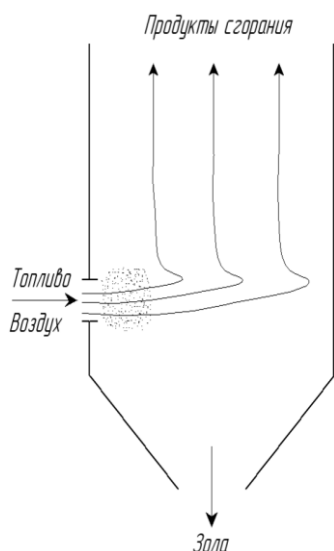


Рис. 7. Схема сжигание угля в факеле [17]

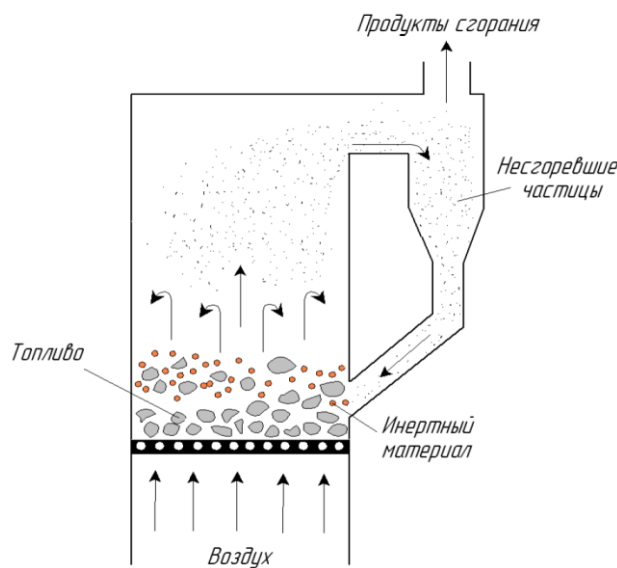


Рис. 8. Схема двухступенчатого сжигания угля в факеле [17]

Наиболее эффективным сжиганием угля является вихревое в циклоне. Его применяется для сжигания топлив мелкофракционного или пылевидного угля. Для организации вихревого сжигания угля в циклоне подача воздуха в циклон должна быть тангенциальной.

Эффективность такого сжигания угля объясняется тем, что фракции топлива пребывают больше времени в циклоне (рис. 9).

К недостаткам сжигания угля в циклоне является то, что его невозможно применить для угля, характеристикой которого является низкая температура плавления его золы.

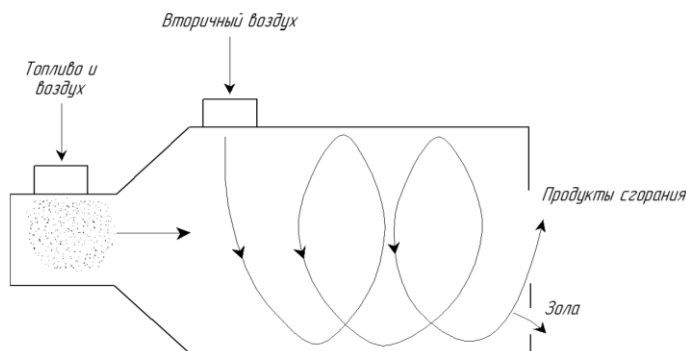


Рис. 9. Схема сжигания угля в циклоне [17]



Как показывает практика [5], коэффициент полезного действия работающих ТЭС прежде всего низкий из-за неэффективного использования тепловой энергии сжигания угля. На современном этапе проектирования ТЭС нецелесообразным является применение морально устаревших топок котлоагрегатов с пылеугольным и слоевым сжиганием топлива, механический недожог которых составляет до 30%. К тому же такие технологии сжигания угля не соответствуют экологическим требованиям [19].

В настоящее время разработаны и рекомендуются к реализации новые технологии сжигания угля для обеспечения повышения эффективности работы ТЭС и для соблюдения экологических требований. Одной из таких разработок является метод, называемый как чистое сжигание угля (Clean Coal), схема представлена на рис. 10.

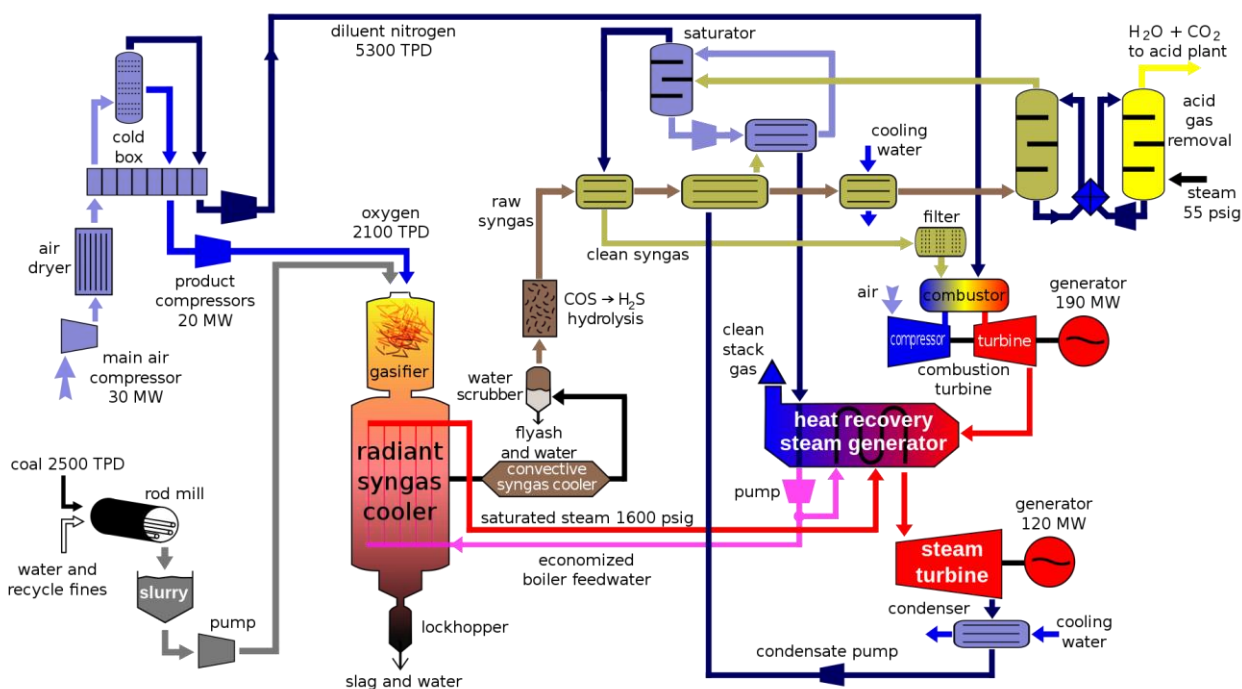


Рис.10. Схема технологии сжигания угля Clean Coal [20]

Отличие этого метода сжигания угля заключается в том, что в качестве окислителя для процесса горения используется чистый кислород, который выделяют из атмосферного воздуха. При такой организации сжигания угля в отходящих газах не содержатся оксиды – NO_x.

Другие вредные газообразные вещества в составе дымовых газах удаляются методами очистки в несколько ступеней.

Другим методом, который можно взять для реализации в наших условиях, является метод «oxyfuel capture» [20], схема которого представлена на рис. 11. В соответствии с этим методом

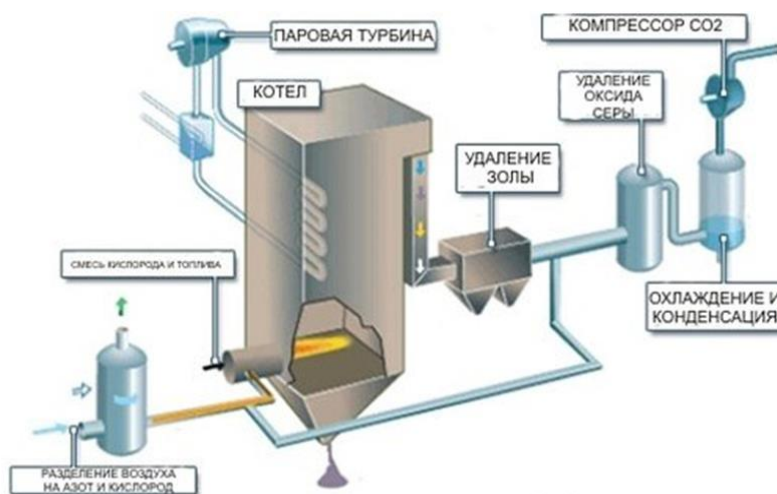


Рис. 11. Схема сжигания угля по методу «oxyfuel capture» [21]



при сжигании угля в качестве окислителя также используется чистый кислород, однако отличие заключается в том, что при окислении горючего водорода в составе топлива образуется вода в виде пара. Образовавшийся пар применяется как рабочая сила для вращения турбины. Отходящие дымовые газы подвергаются очистке от минеральной массы - золы и оксидов SO_x , осуществляют их охлаждение до температуры конденсации. CO_2 переводят в жидкое состояние для захоронения [1].

4. Основные методы снижения образования оксидов азота

Для того, чтобы добиться соответствия нормативным требованиям по выбросам в атмосферу вредных составляющих в составе отходящих газов после теплотехнического оборудования, необходимо применять совершенные способы сжигания топлива с низким содержанием оксидов NO_x в дымовых газах.

Основными методами сжигания угля с низким образованием NO_x в дымовых газах являются следующие методы: сжигание твердого топлива с низким коэффициентом избытка воздуха, рециркуляция продуктов сгорания, сжигание в КС, применение присадок для процесса горения, применение более эффективных горелочных устройств.

При сжигании угля с низким образованием NO_x в дымовых газах применяют способ сжигания с малыми избытками воздуха [12], соответствующего значениям $\alpha = 1,03-1,05$. При таком способе сжигания снижение NO_x сокращается на 25-30%.

Данный метод сжигания является более эффективным - КПД топки котла повышается до 2% с меньшим загрязнением поверхностей нагрева топки золой.

Необходимо соблюдать важное теплотехническое условие - при снижении избытка воздуха $\alpha < 1,03$ увеличивается образование бензапирена, золы CO . Результаты исследований влияния значения коэффициента избытка воздуха на образование вредных веществ в составе дымовых газов представлены на рис. 12.

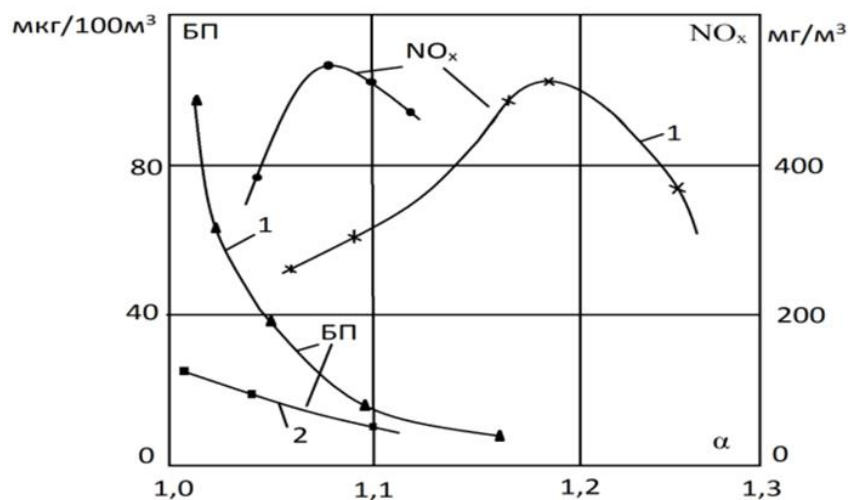


Рис.12. Зависимость влияния значения коэффициента избытка воздуха на концентрацию NO_x и бензапирена в дымовых газах [12]:

- 1 – с применение горелочного устройства без регулировки;
- 2 – с применение горелочного устройства с регулировкой

В соответствии с предоставленными результатами можно сделать вывод, что образования бензапирена можно снизить с помощью регулирования расходов воздуха.

Метод рециркуляции продуктов сгорания заключается в возврате отходящих продуктов сгорания обратно в топку котельного агрегата [22]. При этом методе снижение NO_x в дымовых газах объясняется снижением температуры горения в зоне реакций. Исследования показали [22], что наибольший эффект по снижению концентрации



оксидов азота наблюдается при подаче всего объема продуктов сгорания в смеси с воздухом в зону активного горения угля [22].

Исследования влияния доли рециркуляции продуктов сгорания на концентрацию NO_x в дымовых газах представлены на рис. 13.

Однако при таком методе сжигания угля снижается эффективность работы котлоагрегата, то есть коэффициент полезного действия понижается.

При методе двухступенчатого угля необходимо в горелочные устройства подавать топливоздушную смесь с меньшим количеством первичного воздуха, чем требуется по уравнениям реакций горения. Значение расхода первичного воздуха должно соответствовать 80–90% от требуемого объема.

Вторичный воздух для процесса горения угля подается в горелочное устройство по всей длине факела горения. Такой способ подачи воздуха обеспечивает процесс горения при более низких температурах горения. Результаты исследований двухступенчатого сжигания угля представлены на рис. 14.

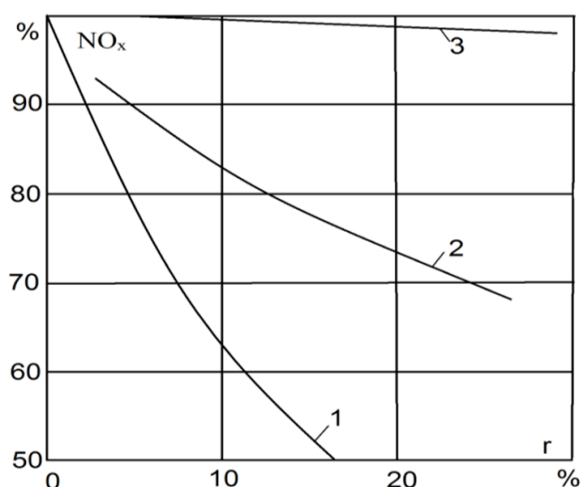


Рис.13. Зависимость значения рециркуляции продуктов сгорания угля на концентрацию NO_x в дымовых газах [23].

Способ ввода газов рециркуляции:
1 – в топливо; 2 – во вторичный воздух;
3 – через щлицы в поду топки

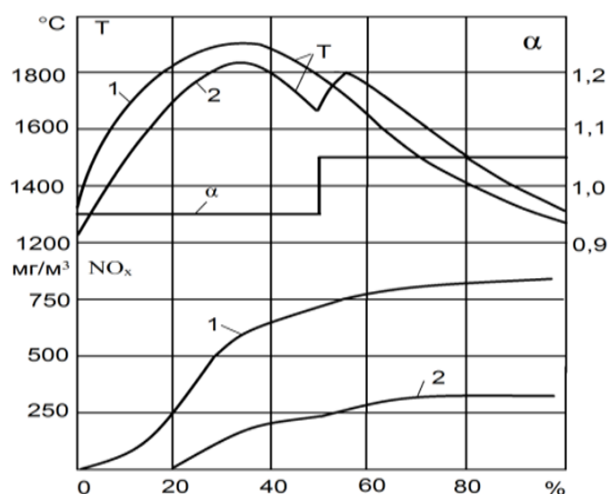


Рис.14. Результаты анализа способов сжигания при различных расходах воздуха [24]:

1 – одноступенчатое; 2 – двухступенчатое

В результате применения такого метода сжигания образование оксидов азота снижается по причине: на первой стадии - из-за пониженного объема окислителя, на второй стадии - из-за снижения температуры горения угля. При соблюдении технических рекомендаций двухступенчатое сжигание угля снижает до 40% выбросы в атмосферу оксидов азота NO_x и до 15% выбросы бензапирена [25].

Для повышения эффективности сжигания с меньшим содержанием NO_x в отходящих газах рекомендуется совместное использование двух методов сжигания: с малым избытком воздуха и с рециркуляцией топочных дымовых газов. Результаты исследования при совмещении двух методов сжигания угля представлены на рис. 15.

Таким образом, двухступенчатое сжигание угля с регулировкой соотношения "топливо-воздух" является наиболее эффективным способом сжигания угля в горелочных устройствах топок котлоагрегатов в рамках проектирования ТЭС.

Сжигание угля в КС следует выполнять с учетом рекомендаций: при температурном режиме 750–950°C. Такой температурный режим предусматривает, что зола не размягчается и не спекается, что способствует более легкому ее удалению. Метод КС рекомендован для сжигания угля любых марок и даже с высоким содержанием серы,



так как при низких температурах не образуются термические оксиды NO_x и SO_y , что приводит к сокращению выбросов в атмосферу.

В практике организации сжигания угля применяют разнообразные присадки. Они могут подаваться в топку котла совместно с углем или отдельно [25]. В качестве присадок обычно используются соли слабых кислот: муравьиной и щавелевой. Их применение позволяет снизить содержание оксидов NO_x до 30%. Более дешевым является ввод воды в зону горения угля в виде эмульсии [24]. При таком способе сжигания твердые частицы сажи взаимодействуют с водяным паром. При этом образуется H_2 и CO , которые являются восстановителями оксиды NO_x . Причем, на основании исследований (рис. 16), уменьшение концентраций NO_x в дымовых газах пропорционально расходу пара в процессе горения угля.

Вместо водяного пара рекомендуют использовать водомазутные эмульсии [23, 25]. Горение таких эмульсий происходит при температурах, ниже 1600°C . Организация процесса сжигания угля таким способом позволяет снизить образования NO_x до 40% (рис. 16). При организации такого метода сжигания угля следует учесть снижение КПД котельного агрегата за счет потерь тепловой энергии с уходящими газами.

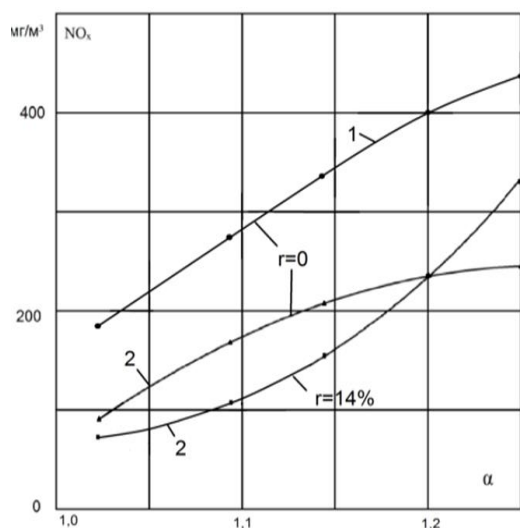


Рис. 15. Концентрации NO_x в продуктах сгорания угля при:
1-одноступенчатом сжигании; 2 – двухступенчатом сжигании [26]

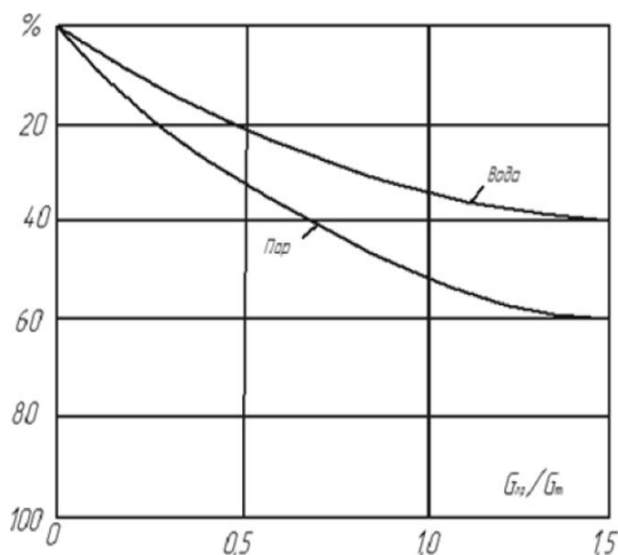


Рис. 16. Влияние количества пара в процессе горения угля на образование NO_x [25]

Для организации всех перечисленных способов сжигания угля с низкой концентрацией NO_x в продуктах горения необходимо применять эффективные горелочные устройства: эффективного смешения, с рециркуляцией продуктов сгорания, со ступенчатым сжиганием топлива, многофакельного типа.

В горелочных устройствах со ступенчатым сжиганием топлива подача вторичного воздуха в горелочное устройство представлена на рис. 17.

Горелочные устройства с рециркуляцией продуктов сгорания применяют двух типов: с естественной рециркуляцией топочных газов, с вынужденной подачей в горелочное устройство. В горелку первого типа (рис. 18) воздух для горения и угольная пыль вводятся в топку отдельными потоками. В результате рециркуляции продуктов сгорания в зоне экзотермических реакций находится меньшее количество кислорода и угольной пыли. Это приводит к снижению скорости реакции горения топлива и, как результат, к снижению температуры горения. Этот способ приводит к снижению концентрации NO_x в продуктах горения.



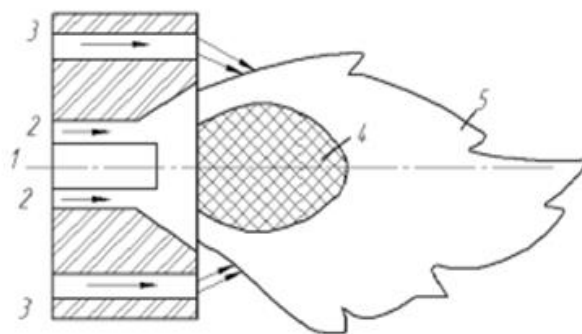


Рис.17. Схема подачи потоков в горелку для ступенчатого сжигания угля [25]:

1 – подача топливовоздушной смеси; 2 – подача вторичного воздуха;
3 – подача третичного воздуха; 4, 5 – зоны экзотермических реакций

В горелках с принудительной рециркуляцией в горелочное устройство возвращается не весь объем образовавшихся продуктов горения. На рис. 18 представлена схема сжигания топлива с принудительной рециркуляцией в горелочном устройстве с рециркуляцией через специальные каналы горелки.

Для повышения эффективности сжигания угля применяют горелочные устройства с использованием одновременно нескольких способов сжигания. При этом достигается снижения выбросов оксидов NO_x в продуктах горения в атмосферу. На рис. 19 представлена схема горелочного устройства с применением комбинирования двухступенчатого сжигания угля и рециркуляции продуктов горения топлива в горелку.

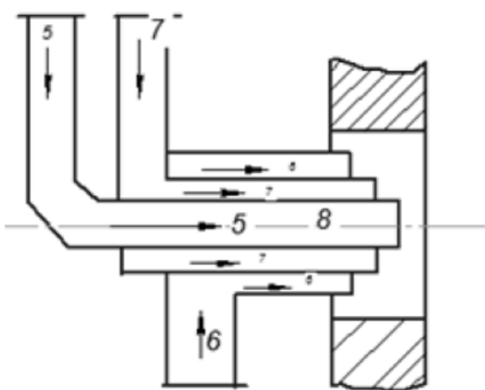


Рис.18. Горелочное устройство для сжигания угля с принудительной рециркуляцией [25]:

5-аэросмесь;6-вторичный воздух; 7-газы рециркуляции (нумерация согласно источнику)

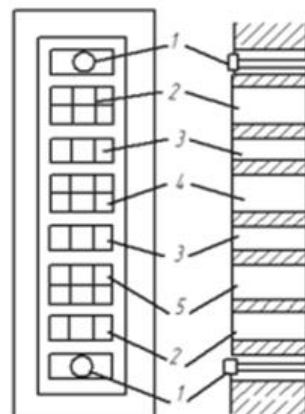


Рис.19. Горелочное устройство с комбинированным методом сжигания угля [25]:

1 – поток топлива; 2 – поток вторичного воздуха; 3 – поток рециркулируемых продуктов горения; 4 – поток пылевоздушного концентрата

Применение эффективных комбинированных горелочных устройств позволит снизить концентрацию оксидов NO_x в продуктах горения угля до 50% [11, 25, 26].

Выводы

Разработанные новые технологии сжигания твердого топлива способствуют на различных стадиях технологического процесса осуществлять экологические мероприятия: по подготовке топлива к сжиганию, организации процесса сжигания топлива, обработки полученных продуктов горения топлива.



В связи с чем в настоящее время при комбинированной выработке энергии выделяются указанные технологии:

- предварительная подготовка топлива к процессу его сжигания;
- чистые угольные энергетические технологии сжигания и газификации;
- экологическая обработка отходящих газов.

Для предварительной подготовки топлива к сжиганию реализуются на практике методы обогащения твердого топлива с целью снижения его зольности, серы и других примесей.

При разработке чистых угольных технологий реализуются различные технологии сжигания твердых топлив: сжигание в кипящем слое, вихревое сжигание, ступенчатое сжигание.

Снижения удельных выбросов вредных веществ на единицу вырабатываемой энергии наряду также достигаются в процессе эксплуатации пылеугольных котлов.

Экологическая обработка отходящих газов базируется на методах очистки дымовых газов от оксидов серы и азота, золы, частиц, методах утилизации образующихся твердых продуктов, очистки сточных вод.

В работе основное внимание уделяется рассмотрению и внедрению экологически чистых энергетических технологий сжигания и газификации каменного угля. Обладая высокими технологическими и экологическими показателями, энергообъекты, созданные на их основе, позволяют эффективно использовать энергетические запасы угля и вырабатывать электрическую энергию на тепловом потреблении.

Библиографический список

1. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под ред. В.М. Лавигина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. М.: Изд. МЭИ, 2009. 466 с.
2. Бирюков А.Б., Семергей В.А. Варианты реконструкции котлов типа ТП-100 энергоблоков 200 МВт // Энергетические системы. 2018. № 1. С. 18-22.
3. Экология энергетики: учебное пособие под общей редакцией В.Я. Путилова. М.: Изд. МЭИ, 2003. 576 с.
4. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под ред. А.С. Седлова. М.: Изд. МЭИ, 2001. - 378 с.
5. Корчевой Ю. П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. Киев: Наука думка, 2004. – 186 с.
6. Технологии эффективного и экологически чистого использования угля: сборник докладов международной научно-технической конференции. М.:ОАО "ВТИ", 2009. - 392с.
7. Изыгзон Н.Б. Реализуема ли программа 2030? // Уголь. 2013. №1. С. 44–47.
8. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: информационный сборник / под общей ред. В.Я. Путилова. М.: Издательство МЭИ, 2007. -406 с.
9. Выборнов Д.В., Кляус Б.В. Повышение экологической эффективности теплогенерирующих установок путем глубокой утилизации теплоты дымовых газов // Энергетические системы. 2017. № 1. С. 402-408.
10. Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О. Изучение свойств золы-уноса Новочеркасской ГРЭС и поиск области ее применения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 7. С. 12-17.
11. Саломатов В. В. Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС. Ч. II. Концептуальные основы экологически чистых ТЭЦ на кузнецких углях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
12. Рябов Г.Б., Надыров И.И. Сжигание угля в кипящем слое. // Развитие технологии подготовки и сжигания топлив на электростанциях: Сб. науч. ст. М.: ОАО "ВТИ", 1996.
13. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под ред. А.С. Седлова. М.: Издательство МЭИ, 2001. 378 с, ил.



14. Дубровский В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: Теплотехник; Красноярск: СФУ, 2011. 366 с.
15. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Возможности использования различных видов твердого топлива в малой энергетике // Малая энергетика. 2011. № 3-4. С. 81-86.
16. Слободчиков Е.Г. Исследование работы твердотопливных теплогенераторов малой мощности в климатических условиях Севера // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 49-58.
17. Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках / М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянцев и др. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 2(8). С. 24-32.
18. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: информационный сборник / В.В. Абрамов, В.С. Агабабов, С.Н. Аничков и др.; под общей ред. В.Я. Путилова. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. 388 с.
19. Технологии эффективного и экологически чистого использования угля: Сб. докл. междунаучно-техн. конф. М.:ОАО "ВТИ", 2009. 392 с.
20. Crook J. Back to the future // Power Engineer. 2006. Vol. 20(3). P. 26-29.
21. Liémans I., Thomas D. Simultaneous NOx and SOx Reduction from Oxyfuel Exhaust Gases using Acidic Solutions Containing Hydrogen Peroxide // Energy Procedia. 2013. Vol. 37. P. 1348-1356.
22. Угольная теплоэнергетика - проблемы реабилитации и развития. М.:ОАО "ВТИ", 2005. 198 с.
23. Дубровский В.А. Природоохранные технологии на ТЭС. Красноярск : СФУ, 2010. 279 с.
24. Жуйков А. В. Снижение оксидов азота в топках котлов // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2011. №6. С. 620-628.
25. Жуйков А.В. Совершенствование процесса низкотемпературного ступенчатого вихревого сжигания Канско-Ачинских углей: дисс канд. техн. наук 04.14.04. Красноярск: СФУ, 2014. 137 с.
26. Цирульников Л.М., Коюхов В.Г., Кадыров Р.А. Охрана воздушного бассейна и пути уменьшения токсичности выбросов газомазутных котлов. М.: ВНИИГазпром, 1975. 51 с.

Сведения об авторах

Гусаков Евгений Евгеньевич, магистрант второго курса направления «Теплоэнергетика и Теплотехника» БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Тихомирова Тамара Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры Энергетики теплотехнологии БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород. E-library AuthorID: [451521](#).

Authors about

Evgeniy Gusakov, second-year master student of the profile "Heat power engineering and Heat engineering" BSTU named after V. G. Shukhov (Belgorod).

Tamara Tikhomirova, Cand. of tech. Sciences (PhDS), Associate Professor of the Department of Energy engineering of heat technology.



УДК 621.316.727

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ STATCOM/SVC LIGHT

Зырянов В. В.

ВятГУ, г. Киров

Аннотация

Установка STATCOM в одной или нескольких подходящих точках сети повысит пропускную способность сети за счет повышения стабильности напряжения при сохранении плавного профиля напряжения в различных условиях сети. STATCOM также обеспечивает дополнительную гибкость с точки зрения возможностей улучшения качества электроэнергии. Статический компенсатор реактивной мощности (Static Var Compensator, SVC) способен давать высокий реактивный ввод в сеть пониженного напряжения и ослабленными условиями сети, при этом обеспечивая высокую степень динамического отклика. Это полезно, например, для поддержки слабых сетей и повышения доступности крупных ветряных электростанций при меняющихся условиях сети, а также сетей, загруженных большим процентом кондиционеров в жарком и влажном климате. Если это продиктовано требованиями приложения, SVC Light отлично подходит для гибридных решений за счет параллельного соединения дросселей и/или конденсаторов с тиристорным управлением.

Ключевые слова: Статическая компенсация, реактивная мощность, напряжение, генерация, передача, гармоника.

REACTIVE POWER COMPENSATION USING STATCOM/SVC LIGHT

Vladimir Zyryanov

Vyatka State University, Kirov

Abstract

Installing a STATCOM at one or more suitable points in the network will increase the grid transfer capability through enhanced voltage stability while maintaining a smooth voltage profile under varying network conditions. The STATCOM also provides additional versatility in terms of power quality improvement capabilities. SVC (Static Var Compensator) Light can yield a high reactive input to the grid unimpeded by possible low grid voltages and weakened network conditions while still providing a high degree of dynamic response. This is useful, for instance, for support of weak grids and to improve the availability of large wind farms under varying network conditions, as well as of grids loaded by a large percentage of air conditioners in hot and humid climates. If dictated by application requirements, SVC Light is excellent for hybrid solutions by connecting thyristor-switched reactors and/or capacitors in parallel.

Keywords: Static compensation, reactive power, voltage, generation, transmission, harmonic.

Введение

Электрические нагрузки могут генерировать и поглощать реактивную мощность [1]. Поскольку нагрузка изменяется непрерывно, то изменяется и баланс реактивной мощности в сети [2]. В результате в сети могут быть неприемлемые колебания напряжения, понижение напряжения или даже падение напряжения [3]. STATCOM (static reactive power compensator) (статический компенсатор реактивной мощности) может



обеспечивать мгновенную и плавно регулируемую реактивную мощность в ответ на колебания напряжения в сети, повышая стабильность напряжения в сети [4].

Из-за высокой скорости отклика его также можно использовать для активной фильтрации гармоник и подавления мерцания напряжения. Системы STATCOM могут быть сравнительно компактными; его площадь обычно меньше по сравнению со стандартными устройствами компенсации из-за отсутствия фильтров гармоник. Компания ABB (Asea Brown Boveri) назвала эту высокопроизводительную концепцию STATCOM SVC Light®.

Простота топологии и минимальное количество компонентов обеспечивают высокую степень предварительной сборки и заводских испытаний, что приводит к общему сокращению сроков выполнения проекта и повышению качества продукции.

Материалы и методы

STATCOM работает в соответствии с принципом преобразователя источника напряжения (voltage source converter, VSC), который вместе с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией) переключением IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors, биполярный транзистор с изолированным затвором) обеспечивает высокую производительность с точки зрения эффективного номинального значения и скорости отклика.

SVC light можно рассматривать как источник напряжения за реактивным сопротивлением. Физически он состоит из модульных блоков многоуровневого преобразователя (MMC) (modular, multilevel converter), каждый из которых работает на постоянном распределенном напряжении. Он обеспечивает выработку реактивной мощности, а также ее поглощение исключительно посредством электронной обработки сигналов напряжения и тока в преобразователе источника напряжения (сеть будет воспринимать его как синхронную машину без инерции). Это означает, что шунтирующие конденсаторные батареи и шунтирующие реакторы не нужны для выработки и поглощения реактивной мощности от VSC, что способствует компактной конструкции и малой занимаемой площади. На рис. 1 показано, как VSC работает в емкостном и индуктивном режимах относительно напряжения сети.

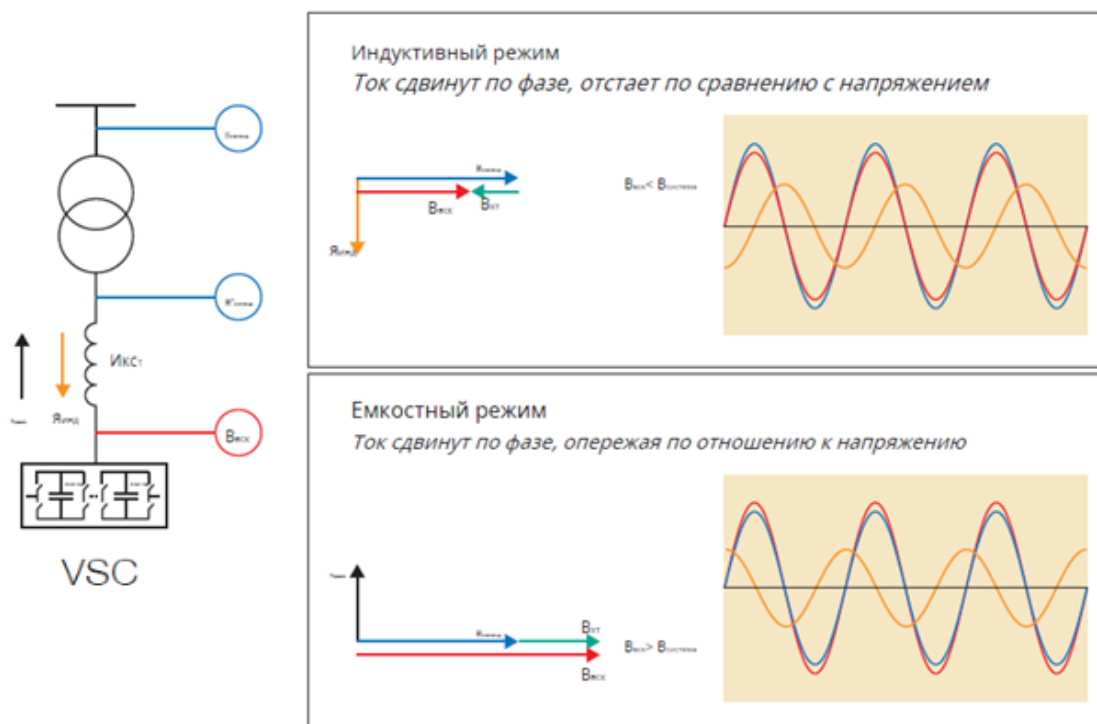


Рис. 1. Работа VSC в индуктивном и емкостном режимах

Когда напряжение VSC (красный) меньше напряжения системы (синий), как на верхнем графике, тогда VSC будет поглощать реактивную мощность (т. е. работать индуктивно). Когда напряжение VSC выше напряжения системы, как показано на нижнем графике, VSC будет подавать реактивную мощность (т. е. работать емкостно). В обоих случаях напряжение VSC находится в фазе с напряжением сети. Это гарантирует отсутствие передачи активной мощности между сетью и STATCOM. В действительности для поддержания постоянного напряжения VSC должно передаваться небольшое количество активной мощности, но этим можно пренебречь в широких пояснительных целях.

Технология MMC

Многоуровневое цепное решение строится путем последовательного соединения модулей H-моста друг с другом, чтобы сформировать одно фазовое звено ветви VSC. На рис. 2а показан один H-мост с 4 IGBT, а на рис. 2б показана конфигурация, в которой четыре модуля H-моста составляют каждую из трех фазных ветвей.

На рисунке 2(а) возможны три возможных уровня напряжения в зависимости от схемы переключения IGBT:

- +U_{dc};
- -U_{dc};
- нулевое напряжение.

Для случая с 4 модулями, соединенными последовательно, как на рис. 2б, имеется 9 возможных уровней напряжения: 4 в положительном направлении, 4 в отрицательном направлении и нулевое напряжение, в зависимости от того, как переключаются IGBT.

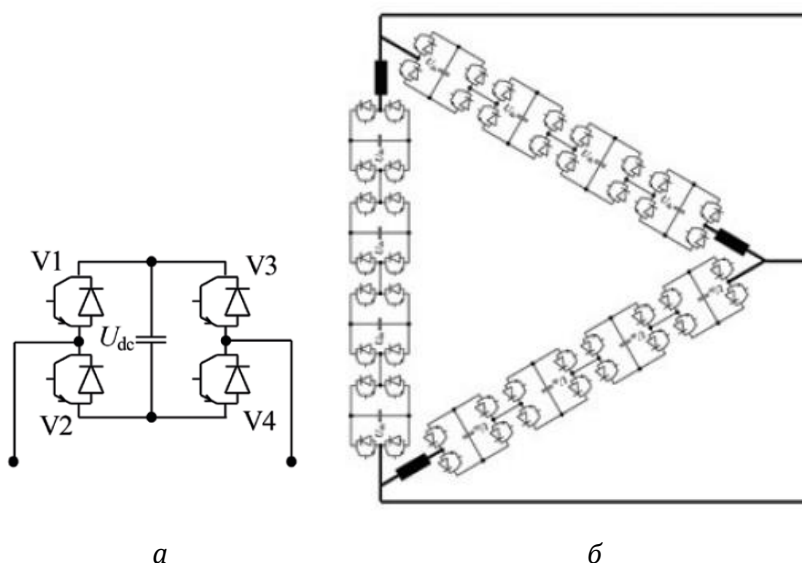


Рис. 2. Многоуровневая настройка преобразователя цепи [5]:
 а – H-мост с IGBT (однофазный); б – трехфазная цепочка H-мостов

Чем больше модулей включено в конструкцию, тем плавнее будет форма сигнала. Количество последовательно соединенных модулей в первую очередь определяется номинальной мощностью STATCOM – чем больше модулей, тем больше МВАр. В зависимости от требований к устойчивости к перенапряжению и гармоническим искажениям могут потребоваться дополнительные модули. Форма сигнала может быть дополнительно синтезирована с использованием (ШИМ) для уменьшения присутствующих гармоник более низкого уровня [6].



Выводы

Из-за уменьшения гармоник низших порядков в большинстве случаев можно исключить фильтры низших порядков из конструкции многоуровневого преобразователя на основе технологии VSC. Это большое преимущество, поскольку конструкция фильтра гармоник может быть громоздкой и сильно зависит от импеданса сети. Это обычно требует выполнения сложных исследований для оценки гармонического импеданса в сети и применимо только для изучаемых случаев, а это означает, что, если в сети произойдут серьезные изменения, импеданс изменится и, таким образом, повлияет на работу фильтров. Системы STATCOM на базе технологии MMC. Уменьшенный след. В дополнение к снижению сложности конструкции из-за отсутствия фильтров младших разрядов очевидным преимуществом является уменьшение требуемой площади (или занимаемой площади) для установки STATCOM с использованием технологии MMC. Еще одним преимуществом отсутствия фильтров низкого порядка является возможность стандартизации компонентов в системе STATCOM из-за меньшей необходимости оценивать гармонические токи и напряжения. Клапаны, здания и топологии могут быть модульными для конкретных потребностей рынка. В целом, это снизит затраты в долгосрочной перспективе для рынков, на которых сохраняется спрос на STATCOM.

Библиографический список

1. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 234 с.
2. Мясоедов Ю.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения с распределённой генерацией. Изд-во АмГУ, 2013. 117 с.
3. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.
4. Геворкян М.В. Современные компоненты компенсации реактивной мощности (для низковольтных сетей). Справочное издание. М.: Изд. дом «Додэка- XXI», 2003. 64 с.
5. Static compensator (STATCOM) [Сайт]: Hitachi. URL: <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/facts/statcom> (дата обращения 1.12.2022).
6. Компенсация реактивной мощности [Сайт]: Хомов Электро: URL: <https://khomovelectro.ru/articles/kompensatsiya-reaktivnoy-moshchnosti.html> (дата обращения 1.12.2022).

Сведения об авторах

Зырянов Владимир Вадимович, студент гр. ЭиЭм-2805-05-00, ВятГУ, г. Киров.
E-mail: stud142756@vyatsu.ru



АКТИВНАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА КАК СПОСОБ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Королев И.В., Кулешова А.О.

ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», г. Москва

Аннотация

Молния представляет собой явление, сопровождающееся раскатами грома. Молния также представляет собой мощный электрический разряд, возникающий в атмосфере. Как правило, молния возникает во время грозы и сопровождается громом. Защитой от ударов молнии являются технические решения, которые обеспечивают защиту сооружений и безопасность людей. Данные решения называются молниезащитой (пассивной или активной). Стоит отметить, что в мире, ежегодно, происходит до 16 миллионов гроз, проведённые наблюдения показали, что молния изменяет химический состав атмосферы — свободные радикалы повышают способность воздуха очищаться от загрязняющих веществ, однако озон наносит вред окружающей среде. В данной статье рассматривается активная молниезащита, будут выявлены преимущества перед традиционными способами и будет выявлена эффективность от применения данной технологии.

Ключевые слова: молния, экология, окружающая среда, воздух, гром, активная защита.

ACTIVE LIGHTNING PROTECTION AS A WAY OF PROTECTING THE POPULATION AND THE ENVIRONMENT

Ilya Korolev, Anna Kuleshova

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

Abstract

Lightning is a phenomenon accompanied by thunderclaps. Lightning is also a powerful electrical discharge that occurs in the atmosphere. As a rule, lightning occurs during a thunderstorm and is accompanied by thunder. Protection against lightning strikes are technical solutions that ensure the protection of structures and the safety of people. These solutions are called lightning protection (passive or active). It is worth noting that up to 16 million thunderstorms occur annually in the world, observations have shown that lightning changes the chemical composition of the atmosphere — free radicals increase the ability of the air to be cleaned of pollutants, but ozone harms the environment. In this article, active lightning protection is considered, advantages over traditional methods will be revealed and the effectiveness of the use of this technology will be revealed.

Keywords: lightning, ecology, environment, air, lightning protection, thunder, active protection.

Введение

Актуальность исследования заключается в том, что молниезащита является необходимым условием, так как удары молнии несут угрозу для жизни людей и наносят весомый урон окружающей среде. И, в качестве эффективного средства по решению данной проблемы, предусмотрена активная молниезащита, которая на сегодняшний день является наиболее «надёжной» по сравнению с традиционными методами защиты. Целью данной статьи является исследование активной молниезащиты как эффективного способа безопасности населения и окружающей среды.



Материалы и методы

При написании данной статьи использовались следующие методы: диалектический метод, метод научного познания и метод сравнения.

Результаты

Молния представляет собой явление, сопровождающееся раскатами грома. Молния также представляет собой мощный электрический разряд, возникающий в атмосфере. Как правило, молния возникает во время грозы и сопровождается громом. Стоит отметить, что наблюдать за молнией люди могли еще с древних времён, но длительное время данному явлению не придавали особого значения [1]. Первоначально люди полагали, что вспышки в небе — это результат деятельности «всевышних сил». Однако, данный миф был рассеян, когда мореплаватели исследовали молнию с научной точки зрения — связь между молнией и электричеством стала очевидной и доказана в 18 веке. В 20-м веке исследователями были открыты виды молнии, такие как спрайты, дже-ты, эльфы. На сегодняшний день исследования молнии проводятся при помощи спутников.

Как показали исследования учёных, молния может наносить как вред, так и пользу для окружающей среды. Пользу от ударов молнии можно по праву считать выработку оксидантов, которые помогают очищать атмосферу. Электрические разряды очищают воздух от частиц пыли, азот, который попадает на землю, благотворно воздействует на рост растений.

Вред от удара молнии представляет выделяемый озон, который наносит вред окружающей среде [2]. По токсичности озон относится к первому классу опасности. ПДК озона в воздухе должна составлять от 0,1 мг/м³ до 0,16 мг/м³ [3]. Необходимо подчеркнуть, что при вдыхании озона выше нормы может появиться кашель, головная боль, головокружение и проблемы со зрением. Удар молнии может также нанести ущерб окружающей среде, выражающийся в разрушении промышленных и жилых сооружений, а также может привести к взрыву токсичных веществ [4].

Наибольшее количество разрядов молнии происходят между облаками, тем не менее, угрозы для жизни людей и животных — существенны. Ежегодно от удара молнии погибают более ста человек. В связи с чем, на протяжении нескольких столетий учёные пытаются защитить людей от воздействия ударов молнии. Так, изобретатель первого электрического конденсатора Мушенбрук защищал традиционные способы предотвращения молнии — колокольный звон и стрельбу из пушек [5].

Идея о громоотводе быстро нашла своё применение, однако, некоторыми странами население встретило данное изобретение с недоумением – люди попросту ломали громоотводы. На сегодняшний день молниезащита представляет собой комплекс мер направленных на предотвращение негативных последствий от ударов молнии. Одной из последних разработок в области молниезащиты зданий является активная защита, которая представляет собой инженерно-техническую систему, задачей которой является защита при возникновении опасной грозовой деятельности. То есть, отвести ток молнии в грунт, обеспечивая тем самым защиту территории.

В отличие от классических, пассивных вариантов, реагирующих на появление грозового разряда в зоне их действия, новый вид защиты сам захватывает молнию и отводит ее в землю (рис. 1).

Активный молниеприёмник является основным элементом конструкции активной молниезащиты зданий и представляет собой устройство с электронным блоком, формирующим коронный разряд [6]. Принцип действия молниеприёмника заключается в формировании разряда за микросекунды до разряда молнии методом генерации высокочастотных импульсов.





Рис. 1. Система активной молниезащиты

Разряд формирует обратный разряд на молниеприёмнике вдоль, которого разряд молнии переходит на молниеотвод. Использование ионизированного канала увеличивает эффективность молниепремника, что позволяет расширить площадь молниезащиты. Принцип действия приемника основан на генерации высоковольтных импульсов с помощью встроенного электронного устройства, что формирует «искусственный» лидер, который, распространяясь, захватывает молнию на большем расстоянии и направляет её на землю.

Со стороны безопасности окружающей среды, активная молниезащита имеет следующие преимущества перед пассивными методами защиты: при создании электрической напряженности возникает ионизация воздуха, а также радиус защиты образует зону безопасности в четыре раза больше, нежели радиус пассивной защиты. Также, в активных системах используется минимальное количество токоотводов, и данная система не требует труднодоступных технологий [7]. Особым преимуществом выступает и полная автономность системы – молниеприемник не требует подключения к электросети.

Также активная молниезащита имеет ряд особенностей:

- большая зона охвата. Монтаж молниезащиты позволяет защитить большую территорию по сравнению с традиционным способом. Несмотря на присутствие на крыше пассивного молниеприемника, молния может ударить в столб линии электропередач — такое исключено в случае применения активного молниеприемника, так как элемент самостоятельно провоцирует разряд;
- компактность. Несмотря на усложненное устройство размеры приёмника достаточно компактные, что снижает нагрузку на конструкции;
- эффективность. Молниеотвод активной молниезащиты обеспечивает высокий уровень защиты не только сооружения, но и территорий.

Выводы

Показано, что удары молнии могут нанести весомый урон окружающей среде и понести за собой гибель людей и животных. В таком контексте вполне естественно, что громоотвод – обязательный элемент защиты современных зданий. По мнению производителей ESE активный молниеотвод отличается от «обычных» молниеотводов большей эффективностью и экологической безопасностью.

В отличие от традиционных вариантов (штыревого, тросового, сетчатого), реагирующих на появление разряда в зоне их действия, новый вид защиты сам захватывает молнию и отводит ее в землю, тем самым осуществляет опережающее действие.

Библиографический список

1. Карякин Р.Н. Справочник по молниезащите. М.: Энергосервис, 2005. 880 с.
2. Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. М.: Колос, 2003. 432 с.
3. Сидоров В.В. Расчет молниезащитных зон зданий и сооружений. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 28 с.
4. Верёвкин В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. М.: МИЭЭ. 2006. 170 с.
5. Молния: что это такое, как и почему возникает [Сайт]: Свет&Электричество. URL: <https://apsvet.ru/raboty/napryazhenie-molnii.html> (дата обращения 01.12.2022).
6. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций / Э.М. Базелян, Н.С. Берлина, Р.К. Борисов и др. М.: Изд. МЭИ, 2004. 57 с.
7. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 / Разр. ГНИИ Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского. М: Энергоиздат, 1989. 56 с.

Сведения об авторах

Королев Илья Викторович, кандидат техн. наук, доцент кафедры Инженерной экологии и охраны труда.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

SPIN-код: [1210-8709](https://www.spin-код.рф/1210-8709)

E-mail: KorolevIV@mpei.ru

Кулешова Анна Олеговна, магистрант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

E-mail: kuleshova-a-o@yandex.ru

Authors about

Ilya Korolev, Cand. of Tech. Sciences

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

E-mail: KorolevIV@mpei.ru

Anna Kuleshova, undergraduate

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

E-mail: kuleshova-a-o@yandex.ru



ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Матухнов Т.А., Матухнова О.Д., Щепалов С.Р.

Научный руководитель: к-т техн. наук Юркина М.Ю.

НИУ «МЭИ», г. Москва

Аннотация

Современные объекты электроэнергетики и теплоэнергетики, такие как ТЭЦ, котельные, электросети, подстанции, тепловые сети и тепловые пункты в рамках реализации стратегии цифровой трансформации нуждаются во внедрении архитектуры цифрового двойника для достижения высокой надежности, эффективности, ремонтпригодности при меньших затратах. В статье рассмотрено одно из самых актуальных направлений развития - использование цифровых двойников в задачах энергетики. При исследовании были проведены обзоры применения цифровых двойников на электросетевых и теплоснабжающих объектах. Также в настоящем исследовании уделено внимание требованиям к архитектуре цифрового двойника и представлено понятие цифрового двойника. В рамках проведенной работы были проанализированы современные публикации и исследования, касающиеся данной тематики, рассмотрены типы моделей цифровых двойников. Одного подхода, основанного на данных, недостаточно и модель, основанная на физических процессах, должна работать в тандеме с обновленными последними системными параметрами, чтобы обеспечить интерпретацию и улучшение результатов процесса, управляемого данными. В результате данной работы сделан вывод о преимуществах использования цифровых двойников в энергетике и о задачах, которые можно решить с помощью таких систем.

Ключевые слова: цифровой двойник, симуляция, цифровизация, теплоэнергетические системы, энергосбережение.

ANALYSIS OF THE USE OF DIGITAL DOUBLES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS

Timur Matukhnov, Olga Matukhnova, Semyon Shchepalov, Maria Yurkina

MPEI, Moscow

Abstract

Modern electric power and thermal power facilities, such as CHPPs, boiler houses, power grids, substations, heating networks and heating points, as part of the implementation of the digital transformation strategy, need to implement a digital twin architecture to achieve high reliability, efficiency, maintainability at lower costs. The article considers one of the most relevant areas of development - the use of digital twins in energy problems. The study included reviews of the use of digital twins at power grid and heat supply facilities. Also in this study, attention is paid to the requirements for the architecture of the digital twin and the concept of the digital twin is presented. As part of the work carried out, modern publications and studies related to this topic were analyzed, types of digital twin models were considered. A data-driven approach alone is not enough, and a physics-driven model must work in tandem with up-to-date system parameters to interpret and improve the results of a data-driven process. As a result of this work, a conclusion was made about



the advantages of using digital twins in the energy sector and about the tasks that can be solved using such systems.

Keywords: *digital twin, simulation, digitalization, thermal power systems, energy saving.*

Введение

Наиболее характерной чертой развития мировой экономики являются достижения в области исследования техники и технологий, а также высокие темпы и масштабы их внедрения в производство. В условиях динамичного развития рынка и усложнения его инфраструктуры информация становится стратегическим ресурсом. Особый интерес в настоящее время для объектов энергетики представляет система цифрового двойника, с помощью которой можно осуществлять мониторинг параметров системы, а также имитировать обычные процессы для прогнозирования параметров работы системы, аварийных ситуаций и т.д. Цифровые двойники все чаще используются в различных отраслях производства, как в энергетических объектах, так и в других сферах производства.

Сбои в работе систем теплоснабжения оставляют потребителей без тепла и горячей воды, а также приводят к убыткам теплоснабжающих компаний. Важно оптимизировать работу с помощью цифровизации, что поможет свести риск сбоев к минимуму.

Системы цифрового двойника используются в России относительно недавно, в связи с этим общепринятые формулировки или определения подобных систем отсутствуют. В литературе есть следующие определения цифрового двойника:

- 1) виртуальная копия реального объекта, которая ведёт себя так же, как реальный объект. В нем в режиме реального времени отражаются все процессы, происходящие с физическим объектом [1];
- 2) виртуальный прототип реальных объектов, групп объектов или процессов [2];
- 3) реальное отображение всех компонентов в жизненном цикле объекта с использованием физических данных, виртуальных данных и данных взаимодействия между ними [3].

Обобщая вышесказанное, цифровые двойники представляют собой виртуализацию физических процессов системы или объекта и представляют структуру системы и поведение в реальной жизни. Цифровой двойник, основанный на высокоточных динамических моделях в реальном времени, может использоваться на протяжении всего жизненного цикла системы для объединения процессов проектирования, эксплуатации, обслуживания и оптимизации. Состояние цифрового двойника в режиме реального времени может постоянно обновляться с использованием реальных данных с установленных датчиков. Данные работы системы за прошедшие периоды также могут быть интегрированы в цифровой двойник в целях профилактического обслуживания.

Цифровой двойник может служить ценным инструментом для изучения стратегий управления для создания и контроля уставок для оптимизации производительности.

Моделирование системы цифрового двойника

Наиболее важным шагом для создания системы цифрового двойника является создание высокоточных виртуальных моделей для воспроизведения геометрии, физических свойств и поведения описываемой системы. Чтобы создать цифрового двойника, необходимо смоделировать физическую реальность, используя абстракцию. Основные подходы включают:

- поведенческие модели;
- структурные модели.



Поведенческие модели – данные модели представляют собой спецификацию поведения системы, основанную на физическом процессе, которым управляет физический компонент. В результате эти модели относятся к математическому или вычислительному описанию того, как переменные соотносятся в физическом процессе.

Поведенческие модели включают следующие типы:

- 1) модели управления – основываются на физических законах и сравнении результата моделирования с результатами известных математических моделей [4, 5];
- 2) модели, зависящие от данных – используют искусственный интеллект на основе структурных данных, описывающих объект на выбранном уровне абстракции;
- 3) гибридные модели управления и модели, зависящие от данных – сочетание двух моделей в целях получения всех преимуществ их обеих;
- 4) другие модели, использующие взаимосвязь элементов, таких как связи, онтологию или модели, основанные на знаниях.

Структурная модель – модель определяющая структурированное описание отношений соединения и сборки между структурами, которые выполняют функции и поведение. Взаимосвязь структуры является основой для переноса и преобразования вещественного, энергетического, информационного и двигательного поведения системы. Структурная модель обычно включает в себя определение топологии, планирование компоновки и проектирование буфера [6].

Структурные модели делятся на следующие типы:

- 1) физические модели – представляют физические свойства и явления;
- 2) геометрические модели – отражают геометрию, форму, размер, положение, объекта и интерфейсы реальной системы;

Приведём унифицированный процесс построения и поддержания в актуальном состоянии двойников реальных объектов или систем [7]:

1. Декомпозиция объекта на элементы, поведение которых может быть описано достаточно простыми физическими моделями или наборами таких моделей. Предполагается, что основная часть таких моделей может быть формализована в виде дифференциальных, интегро-дифференциальных или дифференциально-алгебраических уравнений и систем.

2. Характеристика качества модели в виде функционала или набора функционалов. Этап основан на формализации всей имеющейся информации о изучаемых объектах и проходящих в них процессах.

3. Выбор функционального базиса/базисов.

4. Выбор и реализация методов подбора параметров и структуры модели. При этом имеющаяся приближительная информация о поведении объекта, для которого строится цифровой двойник, может быть легко учтена при построении модели.

5. Реализация методов уточнения цифровых двойников объектов в процессе их функционирования и соответствующей подстройки алгоритмов управления ими.

6. Пополнение базы данных моделей, алгоритмов и программ создания цифровых двойников.

Требования к архитектуре системы цифрового двойника

В настоящее время отсутствует точно определенная архитектура системы цифрового двойника, определяющая необходимые составляющие для реализации различных вариантов использования в интеллектуальной системе автоматизации.

В соответствии с определением цифрового двойника данным выше архитектура системы цифрового двойника должна учитывать следующие требования [8]:

– иметь актуальные физические размеры и модель физического двойника. Процесс старения должен быть отражен в системе цифрового двойника;



- принимать и обрабатывать непрерывный поток данных от множества датчиков;
 - включать основанную на физических процессах модель, которая может работать в режиме реального времени;
 - обнаруживать в режиме реального времени аномалии на основе данных, полученных с датчиков и применять принципы машинного обучения для анализа и выявления серьезных неисправностей;
 - запускать аварийные сигналы и предупреждения в режиме реального времени, для своевременного проведения технического обслуживания;
 - прогнозировать сценарии «что, если» для переходной работы или изменений.
- Приведенные выше требования необходимо дополнить рядом важных свойств:
- непрерывное обучение в течение всего жизненного цикла системы / объекта;
 - основываясь на наблюдениях, автоматически изменять структуру модели, изменять и подстраивать сетки, элементы и параметры.

Применение цифровых двойников на объектах энергетики

Лидеры энергетики во всем мире постоянно ищут возможности для улучшения производительности, сокращения сбоев и повышения прибыли. Цифровые двойники применяются в разных областях энергетики, поэтому Международной электротехнической комиссией (IEC) подготовлены соответствующие стандарт [9, 10], которые являются основополагающими для интеллектуальных сетей.

Оператор магистральных электрических сетей в Финляндии Fingrid внедрила цифрового двойника магистральных электрических сетей в рамках реализации проекта ELVIS (ELectricity Verkko Information System). В рамках проекта были объединены существующие информационные системы компании в единую базу данных, а также цифровой двойник был настроен так, что данные из систем сбора данных и оперативного контроля, геоинформационной системы и системы управления активами поступают в единую базу и компания использует данную информацию для обслуживания сети и проведения необходимых расчетов. В результате применение цифрового двойника удалось решить следующие задачи: планирование работы энергосистемы, повышение производительности и надежности, снижение расходов, передачи электроэнергии и улучшил эффективность бизнес-процессов [11].

Другим примером реализации цифрового двойника является внедрение компанией VSE Group на распределительных электрических сетях, что позволило создать более точную модель и значительно ускорило работу с ней, при этом затраты времени сократились с 500 часов до двух-трех [11].

В России группа «Россети» в рамках реализации концепции «Цифровая трансформация 2030» реализует программу по внедрению цифровых двойников в дочерних предприятиях, которая позволит снизить операционные и инвестиционные затраты, уменьшить потери электроэнергии, а также повысить надежность электроснабжения.

В теплоснабжении первый в России цифровой двойник системы теплоснабжения введен ПАО «Т Плюс» в Екатеринбурге. Цифровой двойник включает сетевую инфраструктуру, генерирующие объекты, бытовую и административную деятельность. Система позволяет собирать и обрабатывать данные о потреблении, потерях и балансе тепловой энергии и корректирует параметры работы системы при изменении погоды. Внедрение автоматизированной системы управления теплоснабжением позволило проводить гидравлические испытания без отключения горячего водоснабжения.

Выводы

Реализация управления энергетическими системами на основе технологии цифрового двойника позволяет осуществить:



- проведение технико-экономического анализа и моделирования существующей системы;
- анализ экономически эффективных решений с увеличением эффективности работы системы, эксплуатационных и экономических характеристик этих систем или отдельных установок;
- прогнозирование и выявление сбоев и отклонений работы системы;
- мониторинг состояния и диагностику неисправностей.

Целью внедрения может послужить необходимость повышения эффективности, надежности и прибыльности предприятия при одновременном сокращении времени простоя оборудования и затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Библиографический список

1. Бедняк С.Г., Бауман А.А. Цифровые двойники и области их применения // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 26. С. 1539-1544. EDN: [NGTELX](#)
2. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев и др. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7, № 5. P. 105–115. EDN: [YLCQWI](#)
3. Digital twin-driven product design framework / F. Tao, F. Sui, A. Liu et al. // International Journal of Production Research. 2018. Vol. 57(12). P. 1-19. DOI: [10.1080/00207543.2018.1443229](#)
4. VanDerHorn E., Mahadevan S. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation // Decision Support Systems. 2021. Vol. 145. P. 113524. DOI: [10.1016/j.dss.2021.113524](#)
5. Digital twin modeling for temperature field during friction stir welding / G. Chen, J. Zhu, Y. Zhao et al. // Journal of Manufacturing Processes. 2021. Vol. 64. P. 898–906. DOI: [10.1016/j.jmapro.2021.01.042](#)
6. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0 / J. Leng, D. Wang, W. Shen et al. // Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 60. P.119-137. DOI: [10.1016/j.jmsy.2021.05.011](#)
7. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования / А.Н. Васильев, Д.А. Тархов, Г.Ф. Малыхина // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. № 3. С. 521-532. EDN: [YYHQMX](#). DOI: [10.25559/SITITO.14.201803.521-532](#)
8. Sleiti A., Kapat J., Vesely L. Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems // Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 3704-3726. DOI: [10.1016/j.egy.2022.02.305](#)
9. IEC 61850 [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6028>
10. IEC 61970 [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/61167>
11. Моравель В.И., Борисов В.А. Возможности использования цифровых двойников в задачах электроэнергетики [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 6. P. 98404. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98404>

Сведения об авторах

Юркина Мария Юрьевна, кандидат технических наук, НИУ «МЭИ», кафедра ТМПУ ИЭВТ.

Матухнов Тимур Алексеевич, аспирант, НИУ «МЭИ», кафедра ТМПУ ИЭВТ.

Матухнова Ольга Дмитриевна, аспирант, НИУ «МЭИ», кафедра ТМПУ ИЭВТ.

Щепалов Семен Романович, студент, НИУ «МЭИ», кафедра ТМПУ ИЭВТ.

Authors about

Maria Y. Yurkina, Candidate of Technical Sciences, MPEI, Department of TМPU IEVT.

Timur A. Matukhnov, postgraduate student, MPEI, Department of TМPU IEVT.

Olga D. Matukhnova, postgraduate student, MPEI, Department of TМPU IEVT.

Semyon R. Shchepalov, student, MPEI, Department of TМPU IEVT.



ЭКОЛОГИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Нестеренко А.М., Бабешко В.С., Кондратьев М.В., Бурденкова Е.Ю.

СГТУ им. Ю.А.Гагарина, г.Саратов

Аннотация

Одна из наиболее острых проблем современности – повсеместное ухудшение экологической обстановки. Деятельность человека из года в год продолжает свое негативное влияние на окружающую среду. Значительный вклад в это пагубное влияние вносит энергетическая отрасль. Именно это во многом сподвигло ученых искать новые альтернативные источники получения энергии, среди которых перспективной является атомная отрасль. Об атомной энергетике часто говорят, как о наиболее экологически чистой, в силу ее отличительных особенностей, при нормальной эксплуатации. Любая АЭС влияет на окружающую среду начиная с момента ее постройки, продолжая свое негативное воздействие даже после завершения срока эксплуатации. Полностью устранить влияние АЭС на окружающую среду невозможно, однако необходимо приложить все силы для его снижения. Цель данной работы – рассмотрение атомных электростанций с точки зрения экологии, их плюсы и минусы, а также возможные пути преодоления имеющихся проблем. В том числе рассматривается влияние деятельности атомной энергетике на атмосферу, гидросферу, литосферу, флору и фауну окружающей среды, тепловое загрязнение и возможные пути снижения уровня этого негативного влияния.

Ключевые слова: радиоактивные выбросы, радиоактивные отходы, тепловые отходы, тепловое загрязнение, радиационные аварии, отработавшее ядерное топливо, излучение.

NUCLEAR ENERGY ECOLOGY: PROBLEMS AND PROSPECTS

Alexandra Nesterenko, Vyacheslav Babeshko, Maxim Kondratiev, Elena Burdenkova

Saratov State Technological University named after Y.A. Gagarin, Saratov

Abstract

One of the most acute problems of our time is the widespread deterioration of the environmental situation. Human activity from year to year continues its negative impact on the environment. The energy industry is a significant contributor to this detrimental effect. This is what prompted scientists to look for new alternative sources of energy, among which the nuclear industry is promising. Nuclear power is often spoken of as the most environmentally friendly, due to its distinctive features, during normal operation. Any nuclear power plant affects the environment from the moment of its construction, continuing its negative impact even after the end of its service life. It is impossible to completely eliminate the impact of nuclear power plants on the environment, but it is necessary to make every effort to reduce it. The purpose of this work is to consider nuclear power plants from the point of view of ecology, their pros and cons, as well as possible ways to overcome the existing problems. Among other things, the impact of nuclear energy activities on the atmosphere, hydrosphere, lithosphere, flora and fauna of the environment, thermal pollution and possible ways to reduce the level of this negative impact are considered.

Keywords: radioactive emissions, radioactive waste, thermal waste, thermal pollution, radiation accidents, spent nuclear fuel, radiation.



Введение

На 1 января 2021 года общая установленная мощность электростанций ЕЭС России составила 245 313,25 МВт, из них наибольшая часть в 58,27% приходится на ТЭС и лишь 20,6% - на АЭС (рис.1).

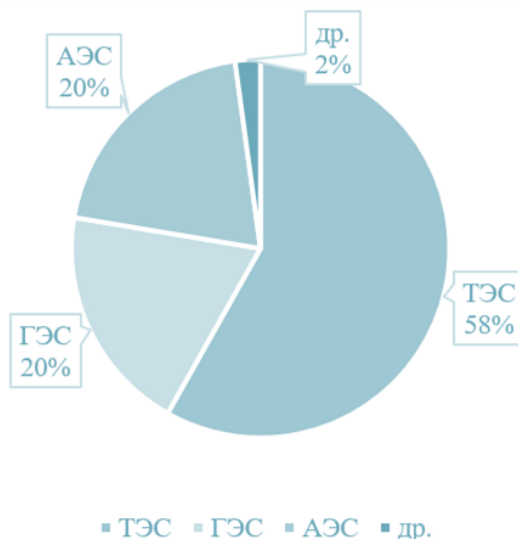


Рис. 1. Установленная мощность электростанций в России

Об атомной энергетике часто говорят, как о наиболее экологически чистой, в силу ее отличительных особенностей. При этом стоит понимать, что стопроцентно безвредной энергетики не существует.

Преимущества и недостатки эксплуатации АЭС

Первое наглядное преимущество АЭС перед ТЭС – компактность топлива. Объемы топлива, необходимого для работы АЭС, намного меньше, чем для выработки того же объема энергии на ТЭС. 1 килограмм урана с обогащением до 4%, используемого в ядерном топливе, при полном выгорании выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 тонн высококачественного каменного угля (1,5 железнодорожных вагона) или 60 тонн нефти (примерно 1 железнодорожная цистерна). Несмотря на то, что запасов урана в мире намного меньше, чем того же угля (6,1 млн тонн урана против 1074 млрд тонн угля), хватит его на гораздо более долгое время [1].

Отсутствие потребности в больших количествах топлива приводит к еще одному существенному плюсу – снижению объема транспортировки топлива. Это не только экономически, но и экологически выгодно, так как нельзя недооценивать роль транспортных выбросов в вопросе ухудшения экологической обстановки, ведь подавляющее большинство транспортных средств работают на ДВС. Это важно для регионов, куда доставка топлива затруднена или занимает большое количество времени.

Следующее преимущество АЭС – практически полное отсутствие влияния на атмосферу. Образование газообразных отходов происходит на всех стадиях ядерно-топливного цикла, но для непосредственной работы атомным электростанциям кислород совершенно не нужен, в то время как одна ТЭС мощностью 1000МВт сжигает почти 8 млн тонн кислорода в год и при этом выбрасывает в атмосферу золую пыль, углекислый газ и другие оксиды. Газоаэрозольные выбросы АЭС в атмосферу в основном состоят из короткоживущих нуклидов и радиоактивных продукты коррозии, пе-

риод полураспада которых несколько больше. Для обеспечения безопасности при обращении с газообразными радиоактивными отходами на предприятиях ядерного комплекса используют системы вентиляции и газоочистки [2].

Гидросфера также получает минимальный вред от работы атомных электростанций. Хотя АЭС и не загрязняют окружающие водоемы нефтепродуктами, некоторые из них все же используют в качестве охладителя открытые водоемы. Отвод тепла из конденсатора приводит к повышению температуры воды в них на несколько градусов, что негативно влияет на биосферу в водоеме, если он имеет естественное происхождение. Рост температуры в водоеме также приводит к увеличению интенсивности испарения и, как следствие, к увеличению количества осадков. Состав воды, сбрасываемой в водоемы, всегда проверяется на уровень загрязнения радиацией, но несмотря на жесткие нормы, влияние на гидросферу невозможно свести к нулю.

Примерно 30% сточных вод АЭС составляют воды спецпрачечных и душевых, в составе которых содержатся поверхностно-активные и моющие вещества. Их суммарные объем и активность могут превышать санитарные нормы в десятки раз и достигать больших величин. Для сокращения объема низкоактивных жидких отходов используют метод испарения [3].

Повышение температуры в водоемах также приводит к повышению температуры на расстоянии нескольких сот метров на 1-2°, что приводит к появлению тумана. В теплое время года туман может привести к ухудшению инсоляции на 5%, а в холодное время года усилить гололедные явления.

Использование градирных башен для охлаждения несет свои экологические проблемы. Часть воды в них испаряется, что уменьшает солнечное освещение на прилегающей территории. Эта доля испаряемой воды может достигать 10-13% в теплое время года.

Главным минусом атомных станций несправедливо считают большой выброс радиоактивных веществ. Однако угольные станции в данном вопросе во много раз проигрывают АЭС. Уголь всегда содержит в себе некоторое количество природных примесей, которые в свою очередь нередко оказываются радиоактивными. Эти примеси, сгорая вместе с углем, выбрасываются в окружающую среду в полном объеме.

Проблемы атомной энергетики

Пожалуй, главный и самый большой недостаток работы АЭС – тепловое загрязнение окружающей среды. Для охлаждения конденсатора требуется большое количество охлаждающей воды. Причиной этому – низкий КПД электростанций. Лишь 30-35% полученной энергии преобразуется в электрическую, а остальные 65-70% выбрасываются в окружающую среду в виде тепловой энергии.

При этом атомная энергетика имеет свои проблемы вне области непосредственной эксплуатации электростанций.

Несмотря на высокую эффективность использования топлива, его все же нужно добывать. Разработка месторождений, бурение шахт, выщелачивание, нарушение рельефа и целостности земной коры – все это оказывает непосредственное влияние на биосферу прилегающих территорий. К тому же большинство оборудования и транспорта, используемых во время добычи и транспортировки урановой руды в свою очередь работают на сжигаемом топливе.

Само строительство атомных электростанций тоже несет вред окружающей среде. Выделение места под строительство АЭС обычно сопровождается изменением рельефа местности, нередко вырубкой лесов и созданием искусственных водоемов. Любые из этих изменений несут соответствующие изменения в жизни флоры и фауны на прилегающих территориях, и изменения эти чаще всего негативные.



Существуют две наибольшие проблемы в атомной энергетике – ядерные отходы и возможные аварии на АЭС.

Работа с ядерными отходами – сложный и дорогостоящий процесс. К радиоактивным отходам относят материалы и вещества, непригодные для дальнейшего использования, с повышенным уровнем содержания радионуклидов. При этом радиоактивные отходы образуются на всех этапах работы с ядерным топливом, начиная с добычи урановой руды. В самом ОЯТ кроме отработавшего урана-235 на каждую тонну приходится до 10 кг плутония и 30 кг осколков деления. Эта смесь крайне опасна для человека и окружающей природы из-за своего сильнейшего радиоактивного излучения. Наибольшее количество РАО образуется при переработке отработавшего ядерного топлива и снятия с эксплуатации радиационно-опасных объектов, в том числе при прекращении работы АЭС. В России классифицируют несколько видов РАО:

- 1 класс: материалы, оборудование, изделия, отвержденные жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), высокоактивные отходы (ВАО). Требует глубинного захоронения с предварительной выдержкой;
- 2 класс: материалы, оборудование, изделия, отвержденные ЖРО, грунт, отработавшие источники ионизирующего излучения (ОИИИ), ВАО с низким тепловыделением, среднерadioактивные отходы (САО). Требует глубинного захоронения;
- 3 класс: материалы, оборудование, изделия, отвержденные ЖРО, грунт, ОИИИ, короткоживущие САО, долгоживущие низкорadioактивные отходы (НАО). Требует приповерхностного захоронения до 100 м;
- 4 класс: материалы, оборудование, изделия, отвержденные ЖРО, грунт, отработавшие источники ионизирующего излучения ОИИИ, биологические объекты, короткоживущие НАО и очень низкорadioактивные долгоживущие отходы. Требует приповерхностного захоронения на уровне земли;
- 5 класс: органические и неорганические жидкости, пульпы, шламы, короткоживущие САО, долгоживущие НАО. Требует глубинного захоронения;
- 6 класс: отходы, образованные при добыче и переработки урановых руд, минерального или органического сырья с повышенным содержанием радионуклидов. Требуют приповерхностного захоронения.

Стоит так же учитывать, что при захоронении ядерных отходов, их объем увеличивается. Причина заключается в том, что все оборудование, использующееся при работе с РАО, так же становятся радиоактивными.

В настоящее время уже построены или начаты пункты захоронения радиоактивных отходов в прилежащих к крупным атомным предприятиям городах (Северск, Озёрск и др.). Эти ПЗРО рассчитаны на захоронение РАО 3 и 4 классов, для которых достаточно приповерхностного слоя земли. Срок распада таких отходов составляет 400-500 лет. Для захоронения отходов 1 и 2-го класса нужны глубинные ПЗРО (ПГЗРО). В России в настоящее время таких объектов нет, но работы по его созданию ведутся давно. Построена подземная исследовательская лаборатория (ПИЛ) на месте предполагаемого хранилища. А именно в 6 км от города Железногорск, так как наиболее оптимальное место с экологической точки зрения, полегания нужных пород и относительная близость основных предприятий: «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», и АО «СХК».

Захоронение ВАО планируется в вертикальных скважинах глубиной 75-100 метров в толстостенных пеналах из бетона и стали и в горизонтальных выработках штабелями контейнерами РАО 2-го класса [4].

Изоляция ядерных отходов от биосферы должна быть обеспечена на весь период, в течении которого они могут предоставлять опасность. Для высокоактивных отходов этот период может составлять сотни и тысячи лет, на протяжении которых необходи-



мо максимально возможное снижение риска повреждения контейнеров и нарушения целостности хранилищ.

Возможные нарушение условий хранения РАО и аварии на действующих АЭС – главный аргумент противников использования атомной энергии. Катастрофы на Чернобыльской АЭС, Фукусима-1, Три-Майл-Айленд и ряд других продемонстрировали человечеству масштабы возможных последствий аварий на АЭС. Начиная с 80-ых годов новые атомные станции стали оборудовать дополнительными методами предотвращения и минимизирования последствий внештатных ситуаций. Новейшие системы безопасности включают в себя несколько уровней защиты, рассчитанных на случаи максимальной проектной аварии. Однако в мире продолжают эксплуатироваться АЭС, построенные в 70-ых годах. Модернизация их систем защит до современного уровня невозможна, т.к. для этого необходима полная перекомпоновка реакторного зала, а с ним и большей части прилегающих отделений.

Как следствие всего вышесказанного следует понимать, что совершенно безопасной энергетики не существует. Любая АЭС влияет на окружающую среду начиная с момента ее постройки, продолжая свое негативное воздействие даже после завершения срока эксплуатации.

Пути решения проблем

Полностью устранить влияние АЭС на окружающую среду невозможно, однако необходимо приложить все силы для его снижения.

Для снижения влияние на атмосферу и гидросферу необходимо стремиться к улучшению методов радиоконтроля, качества фильтров, пересмотру нормирования показателей и их точнейшему соблюдению. Выделяют два направления в работах по снижению загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами: активный, заключающийся в максимально снижении возможных выбросов, и пассивный, основанный на рассеивании радиоактивных примесей.

Для очистки газов на АЭС применяют три метода:

1) «сухие методы», основанные на адсорбции и химическом взаимодействии с твердыми поглотителями;

2) «жидкостные методы», основанные на абсорбции жидким сорбентом;

3) очистка, основанная на диффузионных процессах.

В настоящее время наиболее распространенным способом очистки воздуха на АЭС является применение волокнистых фильтров, за счет их надежности и экономичности. Самыми эффективными долгое время считались фильтры Петрянова (ФП), альтернативой которым могут стать перспективные фильтры на основе стекловолокон. Они огне- и термостойки, могут работать при высоком уровне влажности и при наличии в фильтруемой среде паров кислот и щелочей [2].

Например, для решения проблемы обращения с жидкими низкоактивными отходами в настоящее время разрабатываются новые методы повышения эффективности сорбентов. Одним из наиболее перспективных решений является использование композиционных материалов на основе вспученного перлита, модифицированного нанесением химических сорбентов на его внутреннюю поверхность. Такие композиты обладают высокими показателями радиационно-химической устойчивости и возможностью необратимо поглощать радионуклиды, что позволяет рассматривать их использование в том числе и в местах захоронения радиоактивных отходов.

Сбросную теплоту АЭС уже сейчас пытаются превратить из недостатка в преимущество. Тепловую энергию с атомных электростанций можно направить на нужды других отраслей, не давая ей бесцельно рассеиваться в окружающей среде. Одним из наиболее многообещающих методов утилизации сбросной теплоты является ее ис-



пользование для обогрева гидротеплиц. (Рис. 2) Такие теплично-овощные комплексы помогают удовлетворить спрос на овощные культуры в холодное время года, предоставить доступ к более дешевой овощной продукции в труднодоступных и малопригодных для сельского хозяйства регионах. При этом теплоснабжение от АЭС устраняет потребность теплиц в сжигании топлива для обогрева, что увеличивает положительное влияние на окружающую среду [5].

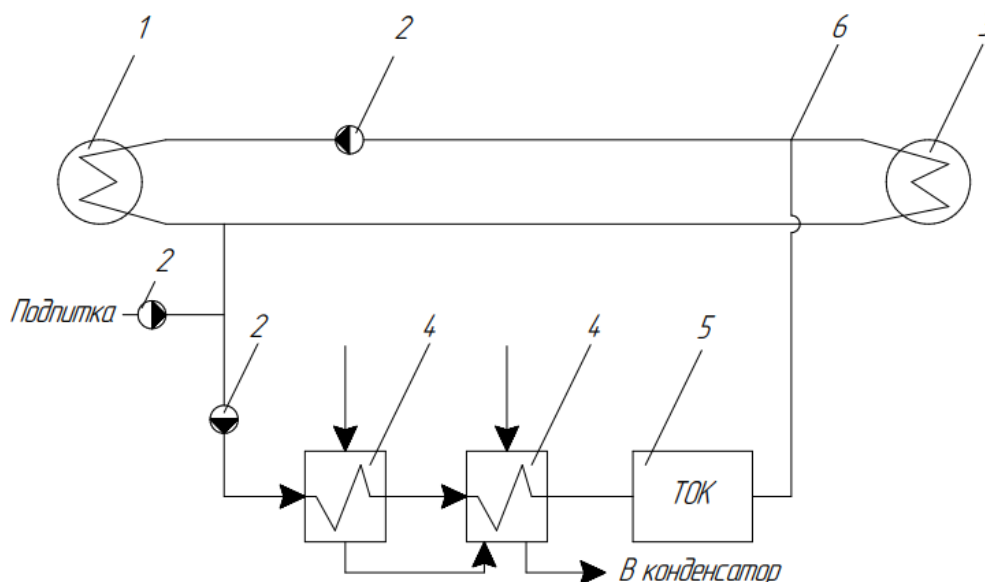


Рис. 2. Упрощённая схема отвода теплоты для обогрева теплично-овощного комплекса (ТОК):

1 – конденсатор; 2 – насос; 3 – пруд-охладитель или градирня; 4 – сетевой подогреватель, 5 – ТОК, 6 – точка смешения

Как искусственно созданные, так и естественные пруды-охладители могут быть использованы для рыболовных угодий при соблюдении повышенных норм к показателям сбрасываемой воды и регулярному мониторингу температуры водоема. При этом положительное влияние оказывается не только на окружающую среду, но и на саму АЭС. Пока сбросное тепло АЭС поддерживает в водоеме температуру, необходимую для разведения конкретного вида рыб, сами рыбы сдерживают рост фитопланктона на поверхности водоема, не позволяют пруду-охладителю зарастать камышовой растительностью и обеспечивают благоприятные условия эксплуатации теплообменного и насосного оборудования [6].

Перспективными так же являются проекты по созданию смешанного типа установок, где АЭС совмещается с ГТУ (Рис.3). Это позволяет не только утилизировать сбросное тепло, но и эффективно использовать его, повышая КПД станции. При этом надстройка ГТУ возможна и уже на существующих атомных станциях без необходимости полной их перекомпоновки. ГТУ являются наиболее маневренными и, как следствие, наиболее экономически выгодными для использования в пики потребности энергии. При этом выходная мощность ГТУ зависит от температуры наружного воздуха. Это позволяет удовлетворить пиковую потребность в энергии в течение холодного времени года в средних и северных широтах России. При температуре наружного воздуха 0°C газовая турбина вырабатывает на 20% больше электроэнергии, чем при температуре наружного воздуха +30°C. При этом суммарный КПД такой установки может достигать 41% [7].

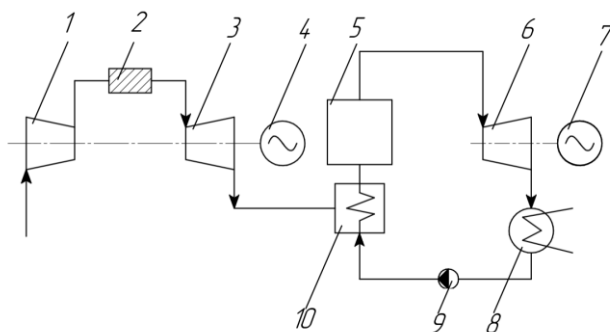


Рис. 3. Схема парогазотурбинной установки:

- 1 – компрессор; 2- камера сгорания топлива; 3 – газовая турбина; 4, 7 – электрогенераторы;
5 – парогенератор; 6 – паровая турбина; 8 – конденсатор; 9 – питательный насос;
10 – подогреватель питательной воды

Вопрос ядерных отходов решается поиском новых способов переработки отработавшего ядерного топлива и вообще всех радиоактивных отходов. Примером может послужить уже эксплуатируемый в России реактор БН-800 или строящиеся БН-1200 и перспективный БРЕСТ-ОД-300, в котором должен осуществляться замкнутый топливный цикл. ОЯТ из тепловых реакторов с большим количеством непрореагировавшего урана-238 (около 94% - уран-238, 1% - плутоний-239, 1% - уран-235 и 1% - продукты деления), используется в качестве топлива на быстрых реакторах, где нарабатывается плутоний-239, который, в свою очередь, может служить топливом для тех же тепловых реакторов. Но для реализации цикла, нужно дорогостоящее и сложное оборудование быстрых реакторов. Главная проблема в таких реакторах связана с выбором, поддержанием работоспособности и безопасности теплоносителя. Обычная или тяжелая вода здесь не подходят, так как значительно замедляют быстрые нейтроны, не давая возможности прореагировать с ядрами урана в должном количестве. Поэтому используют специальные теплоносители: натрий, свинец или жидкий гомогенный сплав свинца и висмута. Особенность заключается в том, что это металлы, хоть и с низкой температурой плавления, и их нужно разогревать перед началом работы, особые требования к контуру, необходимость применять 3-х контурные схемы АЭС, что снижает КПД реактора, дополнительные требования к безопасности из-за воспламеняемости и взрывоопасности веществ. Так же, проект успешного и полного замыкания топливного цикла делается впервые и не может обойтись без неучтенных нюансов, непредвиденных трудностей и ошибок. Должное развитие проекта реакторов, работающих в замкнутом цикле, позволит максимально уменьшить количество ОЯТ и сократить период полураспада радиоактивных отходов на несколько сотен лет.

Вывод

При нормальной эксплуатации АЭС нагрузка на атмосферу и гидросферу во много раз меньше, чем при использовании ТЭС. При должной разработке газоздушных и водных фильтров эту нагрузку можно снизить еще больше. Разработка новых систем аварийных защит помогает добиться того, чтобы атомные электростанции работали в безаварийных режимах и несли минимальный вред окружающей среде в случае, если аварийная ситуация произошла. Уже сейчас ведутся работы по превращению тепловых отходов АЭС в преимущество. Это тепло используют в тепличных комплексах и рыболовных угодьях. А проблема ядерных отходов и вопрос добычи топлива может быть решен в связи с интенсивными разработками в области организации замкнутого топливного цикла. Хотя атомная энергетика и обладает своими минусами, она все же является наиболее перспективным направлением с точки зрения экологии.



Библиографический список

1. Региональная эффективность проектов АЭС / В.И. Басов, М.С. Доронин, П.Л. Ипатов и др. М.: Энергоатомиздат, 2005. 228 с.
2. Короткова В.Е., Кадомцев Г.М., Черняев С.И. К вопросу об очистке воздуха от радиоактивных аэрозолей // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 2. С. 28-35. EDN: [YHHZKV](#)
3. Павлик О., Фридрих В., Рети Д. Исследование обезвреживания жидких, твердых и газообразных радиоактивных отходов, и дезактивации загрязненных поверхностей// Материалы IV научн. тех. конф. СЭВ. Вып. 1. М: Атомиздат, 1978. С. 45.
4. Бейгул В.П., Абрамов А.А. Уйти на глубину // Атомный эксперт. 2018. №8. С. 38-42.
5. Бурденкова Е.Ю., Бакланов И.А., Ермолаев С.А. Перспективы использования сбросного низкопотенциального тепла АЭС для теплоснабжения теплично-овощных комбинатов // Вопросы образования и науки: Сб. науч. тр. по материалам Междун. науч.-практ. конф. 2017. С. 29-30. EDN: [YOXEIJ](#)
6. Нововоронежская АЭС выпустила в пруд-охладитель шесть тонн молоди толстолобика [Сайт]: Коммерсантъ [2022] URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5691756> (дата обращения: 17.12.2022).
7. Наумов А.С., Хрусталеv В.А. Комбинирование АЭС и ГТУ – один из путей повышения эффективности АЭС в энергосистемах // Проблемы энергетики. 2012. № 5-6. С. 86-94. EDN: [PCYGED](#)

References

1. Basov, V. I, Doronin, M. S, & Ipatov, P. L. (2005) *Regional'naya effektivnost' proyektov AES*. [Regional efficiency of NPP projects]. Energoatomizdat. [In Russian]
2. Korotkova, V. E., Kadomtsev, G. M., & Chernyayev, S. I. (2017) K voprosu ob ochildke vozdukha ot radioaktivnykh aerorozley [On the issue of air purification from radioactive aerosols]. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii*, 2, 28-35. [In Russian]
3. Pavlik, O. Fridrikh, V., & Reti, D. (1978) *Issledovaniye obezvrezhivaniya zhidkikh, tverdykh i gazoobraznykh radioaktivnykh otkhodov, i dezaktivatsii zagryaznennykh poverkhnostey* [Study of neutralization of liquid, solid and gaseous radioactive waste and decontamination of contaminated surfaces] (Vol. 1, pp. 45-48). Atomizdat. [In Russian]
4. Beigul, V. P., & Abramov, A. A. (2018) Uyti na glubinu [Go deep]. *Atomnyy ekspert*, 8, 38-42. [In Russian]
5. Burdenkova, E. Yu., Baklanov, I. A., & Yermolayev, S. A. (2017) Perspektivy ispol'zovaniya sbrosnogo nizkopotentsial'nogo tepla AES dlya teplosnabzheniya teplichno-ovoshchnykh kombinatov [Prospects for the use of waste low-grade heat from nuclear power plants for heat supply of greenhouse and vegetable plants]. In *Proc. from the "Voprosy obrazovaniya i nauki"* (pp. 29-30.) [In Russian]
6. Kommersant (2022, November 25). *Novovoronezhskaya AES vypustila v prud-okhladitel' shest' tonn molodi tolstolobika* [Novovoronezh NPP met in a cooling pond of six tons of silver carp juveniles]. Retrieved December 17, 2020, from <https://www.kommersant.ru/doc/5691756>. [In Russian]
7. Naumov, A. S., & Khrustalev V. A. (2012). Kombinirovaniye AES i GTU - odin iz putey povysheniya effektivnosti AES v energosistemakh [Combination of nuclear power plants and gas turbines - one of the ways to improve the efficiency of nuclear power plants in power systems]. *Problemy energetiki*, 5-6, 86-94. [In Russian]

Сведения об авторах

Нестеренко Александра Максимовна, студент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.", г. Саратов

E-mail: sashafilin18@gmail.com



Бабешко Вячеслав Сергеевич, студент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.", г. Саратов

E-mail: futuristicmin@gmail.com

Кондратьев Максим Владимирович, студент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.", г. Саратов

E-mail: maximkondratiew10@mail.ru

Бурденкова Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловая и атомная энергетика имени А.И. Андрющенко»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.", г. Саратов

SPIN-код: [3305-7885](#)

ORCID: [0000-0001-8135-2021](#)

E-mail: lena.burdenckova@yandex.ru

Authors about

Alexandra M. Nesterenko, student

Saratov State Technological University named after Y.A .Gagarin, Saratov, Russia

E-mail: sashafilin18@gmail.com

Vyacheslav S. Babeshko, student

Saratov State Technological University named after Y.A .Gagarin, Saratov, Russia

E-mail: futuristicmin@gmail.com

Maxim V. Kondratiev, student

Saratov State Technological University named after Y.A .Gagarin, Saratov, Russia

E-mail: maximkondratiew10@mail.ru

Elena Y. Burdenkova, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Thermal and Nuclear Energy

Saratov State Technological University named after Y.A .Gagarin, Saratov, Russia

ORCID: [0000-0001-8135-2021](#)

E-mail: lena.burdenckova@yandex.ru



ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Реев В.Г.^{1,2}, Васильев П.Ф.²

¹СВФУ им. М. К. Аммосова, ²ИФТПС СО РАН, г. Якутск

Аннотация

В данной статье рассмотрены системы энергоснабжения Арктических районов Республики Саха (Якутия). Выполнен обзорный и технико-экономический анализ существующих энергосберегающих технологий используемые в системах энергоснабжения. Рассчитана экономия дизельного топлива и снижение выбросов диоксида углерода (CO₂) за счет внедрения возобновляемых источников энергии в денежном эквиваленте. Рассмотрена перспектива внедрения теплового насоса в системы теплоснабжения изолированных энерго-систем.

Ключевые слова: энергоснабжение, изолированная энергосистема, дизельная электростанция, солнечная электростанция, ветровая электростанция, тепловой насос, атомная станция малой мощности, гибридная электростанция.

POWER SUPPLY OF THE ARCTIC REGIONS REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Vasiliy Reev^{1,2}, Pavel Vasilyev²

¹NEFU, ²Institute of Physical and Technical Problems of the North, Yakutsk

Abstract

This article discusses the power supply systems of the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia). A review and feasibility study of existing energy-saving technologies used in energy supply systems has been carried out. The saving of diesel fuel and the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions due to the introduction of renewable energy sources in monetary terms are calculated. The prospect of introducing a heat pump into the heat supply systems of isolated energy systems is considered.

Keywords: power supply, isolated power grid, diesel power plant, solar power plant, wind power plant, heat pump, small nuclear power plant, hybrid power plant.

Введение

По указу президента Российской Федерации от 26.10.2022 г. №645 «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» четко обозначены задачи по модернизации и обеспечении национальной безопасности населения, проживающего в арктических территориях.

В данное время на территории Республики Саха (Якутия) находятся 13 муниципальных районов включенных в Арктическую зону Российской Федерации: Абыйский район, Аллаиховский район, Булунский район, Анабарский национальный район, Верхнеколымский район, Жиганский национальный эвенкийский район, Верхоянский район, Момский район, Нижнеколымский район, Оленекский эвенкийский национальный район, Усть-Янский район, Эвено-Бытантайский национальный район и Среднеколым-



ский район. Общая площадь данных территорий более 1,6 млн. км², при этом плотность населения составляет 0,04 чел./км².

Ввиду малой населенности и удаленности территории имеют децентрализованную систему энергоснабжения. Основными источниками энергии являются дизельные электростанции, отопительные низкоэффективные котельные или индивидуальные источники тепловой энергии (дровяные печи). Однако 16 июня 2022 г. в рамках ПМЭФ между Минвостокразвития РФ и ГК Росатом было заключено концессионное соглашение о строительстве на территории республики атомной станции малой мощности (АСММ). В 2024 году планируется старт строительства, а в 2028 году ввод в эксплуатацию АСММ на базе реактора РИТМ-200, электрической мощностью не менее 55 МВт. Территории Арктики Якутии богаты месторождениями редкоземельных металлов иттриевой группы, золоторудными месторождениями, россыпи алмазов на реках Анабар, Оленек, Молодо и др., а также имеются запасы благородных, цветных и редких металлов на территориях Эге-Хайской и Бургавинской групп месторождений [2]. Местом дислокации объекта выбран п. Усть-Куйга Усть-янского района. Основным потребителем АСММ определено – золоторудное месторождения Кючус. [1]

Ввиду наличия сезонности, больших расстояний перевозок и сложности транспортной схемы существует проблема удорожания топлива, доходящий в среднем до 2,5 раз и более, что в свою очередь приводит к росту себестоимости производства электрической и тепловой энергии [3].

В связи с этим актуальным является вопрос внедрения энергосберегающих технологий для сокращения расхода дорогостоящего топлива. Цель работы – анализ существующих и перспективных энергосберегающих технологий в арктических районах Республики Саха (Якутия). Применяемый метод исследования: обзорный и технико-экономический.

Результаты и обсуждение

Согласно федеральному закону № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», генерирующие компании могут заключать энерго-сервисные договоры для модернизации и повышения энергосбережения объектов генерации [4]. Так на территории республики действуют 5 гибридных электростанций, представляющих собой комбинацию дизельной и солнечной генерации электрической энергии. Электростанции были построены в рамках энергосервисного договора заключенного между ООО «Комплексные энергетические решения» и АО «Сахаэнерго», входящим в группу РусГидро. В дальнейшем планируется постройка гибридных электростанций в 72 населенных пунктах Якутии.

Одним из известных методов снижения расходов дизельного топлива является внедрение возобновляемых источников энергии к существующим источникам электроэнергии. Так в Якутии действуют 26 солнечных электростанций (СЭС), 14 из них в арктической зоне. Самым крупным СЭС является в п. Хонуу Момского района, мощностью солнечной генерации 1,5 МВт и по праву названной самой крупной солнечной электростанцией в Арктической зоне.

В Арктической зоне республики с апреля по сентябрь наблюдается максимальная солнечная активность. В этот период в дневное время работу дизель-генераторов могут заместить солнечные электростанции.

За счет внедрения возобновляемых источников энергии достигается:

- снижение расхода дизельного топлива;
- повышение надежности энергоснабжения;
- увеличение ресурса дизель-генератора;
- снижение выбросов диоксида углерода (CO₂).



Суммарная мощность СЭС, находящихся в арктической зоне республики составляет 3,9 МВт, при суммарной мощности ДЭС 21,8 МВт. Ежегодная экономия дизельного топлива оценивается в 913,3 тонн.

Выше было упомянуто, что внедрение возобновляемых источников сказывается на снижении выбросов диоксида углерода. Экономия топлива подразумевает снижение выбросов диоксида углерода CO_2 в атмосферу:

$$U_{\text{CO}_2} = K \cdot M, \quad (1)$$

где K – переводной коэффициент для дизельного топлива равный 3,15 тонн CO_2 /тонн топлива; M – масса дизельного топлива, тонн.

Таким образом снижение выбросов диоксида углерода (CO_2) составит примерно на 2876,4 тонн в год, что благоприятно сказывается на экологии республики в целом.

Стоимость 1 тонны дизельного топлива с учетом доставки в арктические районы составляет в среднем 120 тыс. руб.

$$E = S_y \cdot M, \quad (2)$$

где S_y – стоимость 1 тонны дизельного топлива, руб.; M – масса дизельного топлива, тонн.

Исходя из этого экономия дизельного топлива за счет внедрения СЭС в денежном эквиваленте составляет 109,6 млн. руб. в год.

В северной части республики на берегу моря Лаптевых целесообразна установка ветровых электростанций (ВЭС). В данных районах скорость ветра в среднем равна 6–7 м/с, а при шквальных ветрах может достигать более 25 м/с [5].

На территории республики в Булунской районе действуют 2 ветровые электростанции в п. Тикси мощностью 900 кВт и в п. Быков Мыс 40 кВт, находящиеся на берегу моря Лаптевых. Перед внедрением в работу ветровые энергоустановки были модернизированы под климатические условия. Так в п. Тикси за счет работы ВЭС в среднем за год насчитывается экономия дизельного топлива равная 435 тонн [5, 6].

При этом снижение выбросов CO_2 составит 1370,2 тонн в год. Экономия топлива в денежном эквивалента равна 52,2 млн. руб. в год.

Источником тепловой энергии в населенных пунктах арктической зоны республики являются отопительные котельные с низкой эффективностью или индивидуальные источники тепла. Для повышения эффективности теплоснабжения необходимо проводить мероприятия по повышению теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций потребителей. В Якутии из-за высокой степени износа недвижимого фонда наблюдается повышенные тепловые потери. Основной причиной является факт того, что 56,8% недвижимого фонда построены из деревянных материалов и только больше трети 41,4% построены из каменного (кирпич, шлакоблок, панель и т.д.) [7].

Одним из известных и эффективных мероприятий повышения эффективности теплоснабжения является утилизация тепла выхлопных газов ДЭС. Таким образом на территории Республики Саха (Якутия) в п. Эльдикан Усть-Майского района эксплуатируется ДЭС с утилизацией тепла, теплопроизводительностью равной 1 Гкал/ч при установленной электрической мощности 14,4 МВт [8].

Также перспективным методом энергосбережения является внедрение тепловых насосных установок (ТНУ) в системы теплоснабжения в изолированные энергосистемы. В качестве источника низкопотенциального тепла можно использовать непромерзающие водоемы (реки, озера), находящиеся в непосредственной близости к населенным пунктам, грунт или воздух при условии, что температура находится в пределах температуры кипения хладагента. Для эксплуатации ТНУ требуется электрическая энергия для работы насосов, двигателей компрессоров. Данную энергию можно полу-



чить путем дозагрузки дизельной электростанции, что благоприятно сказывается на удельный расход топлива дизель-генераторной установки.

Выводы

Таким образом, актуальным остается вопрос рационального использования топлива в арктических районах Республики Саха (Якутия). В данное время 14 функционирующих ДЭС на арктической территории республики дают ежегодную экономию топлива порядка 913,3 тонн. В денежном эквиваленте экономия доходит до 109,6 млн. руб. в год. Что в свою очередь приводит к снижению выбросов диоксида углерода (CO₂) на 2876,4 тонн в год.

В районах, находящихся на берегу северных морей целесообразно использование ветровых электростанций. Так в п. Тикси экономия дизельного топлива в год составляет 435 тонн. В денежном эквиваленте экономия составляет примерно 52,2 млн. руб. в год. При этом достигается снижение выбросов диоксида углерода (CO₂) на 1370,2 тонн в год.

Одним из перспективных путей повышения эффективности дизельных электростанций является внедрение тепловых насосных станций на ДЭС. Путем внедрения ожидается снижение удельного расхода топлива, увеличение температуры теплоносителя в сети.

Библиографический список

1. Якутия становится площадкой для развертывания АЭС малой мощности [Сайт]: Нефтегаз.ру. URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/741025-yakutiya-stanovitsya-ploshchadkoy-dlya-razvertyvaniya-aes-maloy-moshchnosti/> (дата обращения 01.12.2022).
2. Нестеров А.С., Давыдов Г.И., Васильев П.Ф. Альтернативное решение развития электроснабжения потребителей арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Вестник СВФУ. 2013. № 4. С. 54-57. EDN: [RURDDJ](#)
3. Глотов А.В., Меркульева А.А. Проблемы и перспективы развития изолированных энергосистем дальнего востока: на примере энергосистемы Республики Саха (Якутия) // Вестник МФЮА. 2017. № 1. С. 55-64. EDN: [YNBPZV](#)
4. Ноговицын Р.Р., Кладкина С.Н. Особенности реализации энергосервисных контрактов в области энергосбережения отрасли ЖКХ (на примере Республики Саха (Якутия)) // Проблемы современной экономики. 2018. № 4. С. 196-199. EDN: [QYFATS](#)
5. Новикова А.С. Ветровой потенциал Арктики // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 1. С. 99-103. EDN: [NQIFVI](#)
6. Артюшевская Е.Ю. Анализ потенциала альтернативных источников энергии в Республике Саха (Якутия) // Вестник АмГУ. 2021. № 93. С. 72-75. EDN: [FXHJEM](#). DOI: [10.22250/jasu.93.15](https://doi.org/10.22250/jasu.93.15)
7. Эффективность и потенциал сбережения топлива и энергии в северо-восточном регионе России (на примере Республики Саха (Якутия)) / Ю.В. Бебихов, Е.И. Грачева, С.Н. Павлов и др. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 3. С. 14-27. EDN: [DOEDNJ](#)
8. Кузьмин А.Н., Михеева Е.Ю. Эффективность использования энергосберегающих технологий в муниципальных образованиях Республики Саха (Якутия) // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 2 (52). С. 8-11. EDN: [JUADRP](#)

References

1. Neftegaz (n. d.). *Yakutiya stanovitsya ploshchadkoy dlya razvertyvaniya AES maloy moshchnosti* [Yakutia is becoming a platform for the deployment of low-capacity nuclear power plants]. Retrieved December 15, 2022, from <https://neftegaz.ru/news/nuclear/741025-yakutiya-stanovitsya-ploshchadkoy-dlya-razvertyvaniya-aes-maloy-moshchnosti/>



2. Nesterov, A. S., Davydov, G. I., & Vasiliev, P. F. (2013). Al'ternativnoye resheniye razvitiya elektrosnabzheniya potrebiteley arkticheskoy zony Respubliki Sakha (Yakutiya) [An alternative solution for the development of power supply to consumers in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik SVFU*, 4, 54-57. [In Russian]
3. Glotov, A. V., & Merkulieva, A. A. (2017). Al'ternativnoye resheniye razvitiya elektrosnabzheniya potrebiteley arkticheskoy zony Respubliki Sakha (Yakutiya) [Problems and prospects for the development of isolated energy systems of the Far East: on the example of the energy system of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik MFUA*, 1, 55-64. [In Russian]
4. Nogovytsyn, R. R., & Kladkina, S. N. (2018). Osobennosti realizatsii energoservisnykh kontraktov v oblasti energosberezheniya otrasli ZHKKH (na primere Respubliki Sakha (Yakutiya)) [Features of the implementation of energy service contracts in the field of energy saving in the housing sector (on the example of the Republic of Sakha (Yakutia))]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 4, 196-199. [In Russian]
5. Novikova, A. S. (2022). Vetrovoy potentsial Arktiki [Wind potential of the Arctic]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, 1, 99-103. <https://doi.org/10.22250/jasu.93.15> [In Russian]
6. Artushevskaya, E. Y. (2021). Analiz potentsiala al'ternativnykh istochnikov energii v Respublike Sakha (Yakutiya) [Analysis of the potential of alternative energy sources in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik AMGU*, 93, 72-75. [In Russian]
7. Bebikhov, Y. V., Gracheva, E. I., Pavlov, S. N., Semenov, A. S., & Fedorov, O. V. (2020). Effektivnost' i potentsial sberezheniya topliva i energii v severo-vostochnom regione Rossii (na primere Respubliki Sakha (Yakutiya)) [Efficiency and Potential for Saving Fuel and Energy in the North-Eastern Region of Russia (on the example of the Republic of Sakha (Yakutia))]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 3, 14-27. [In Russian]
8. Kuzmin, A. N., & Mikheeva, E. Y. (2008). Effektivnost' ispol'zovaniya energosberegayushchikh tekhnologiy v munitsipal'nykh obrazo-vaniyakh Respubliki Sakha (Yakutiya) [Efficiency of using energy-saving technologies in municipalities of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Energosberezheniye i vodopodgotovka*, 2 (52), 8-11. [In Russian]

Сведения об авторах

Реев Василий Георгиевич, аспирант СВФУ, ведущий инженер отдела электроэнергетики Институт физико-технических проблем Севера СО РАН.

E-mail: rvg_1998@mail.ru

Васильев Павел Филиппович, канд. техн. наук, заведующий отделом электроэнергетики, Институт физико-технических проблем Севера СО РАН.

E-mail: kb-8@mail.ru.

Authors about

Reev Vasiliy Georgievich, post-graduate student of NEFU, leading engineer of the electric power department Institute of Physical and Technical Problems of the North.

E-mail: rvg_1998@mail.ru

Vasilyev Pavel Filippovich, Cand. of Tech. Sciences, Head of the Department of the Electrical Engineering, Institute of Physical and Technical problems of the North.

E-mail: kb-8@mail.ru.



УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ульбрехт Д.А., Фролова М.А., Ахмедова О.О.

Научный руководитель: старший преподаватель Ахмедова О.О.

КТИ (филиал ВолгГТУ) г. Камышин

Аннотация

В статье рассматривается сложившаяся ситуация на энергетическом рынке России, представлены основные аспекты и перспективы развития комбинированной сети. Произведен анализ и предложен метод производства электроэнергии на основе объединения с единой системой, малой генерации и ВЭС. Рассмотрена ситуация на энергетическом рынке России.

Ключевые слова: энергетика, ВЭС, экология, комбинированная сеть, развитие, Россия.

PROSPECTS OF A COMBINED POWER SUPPLY SYSTEM

Danil Ulbrekht, Margarita Frolova, Olga Akhmedova

Kamyshinsky Institute of Technology (branch) FGBOU VO "VolgSTU", Kamyshin, Russia

Abstract

The article examines the current situation in the Russian energy market, presents the main aspects and prospects for the development of the combined grid. The analysis was carried out and a method of electricity production based on integration with a single system, small generation and wind power plants was proposed. And the situation in the Russian energy market is considered.

Keywords: energy, wind power, ecology, combined grid, development, Russia.

Введение (Introduction)

Проблема нехватки энергии с каждым годом становится больше. Это связано с ростом населения и с технологическим прогрессом, что обуславливает постоянный рост потребления энергоресурсов. На сегодняшний день природные ресурсы поднимаются в стоимости вследствие их исчерпаемости. Только за последние 10 лет, нефтяные и газовые запасы России сократились на треть. Это заставляет задуматься об альтернативном способе производства энергии.

Материалы и методы (Materials and Methods)

На современном рынке потребители стремятся к наименьшим затратам, в том числе и на энергоснабжение. Это ставит перед отраслью новые задачи, с которыми сложившаяся система справиться не в состоянии. По данным Россетей тариф на электрическую энергию пришел к максимуму потенциального роста. Стоимость электрической энергии, получаемой из Единой энергетической системы России, для большинства промышленных предприятий является не обосновано дорогой, что заставляет потребителей задумываться об собственной генерации.



Одним из решений может являться распределенная генерация и ВЭС -то есть построение децентрализованных генерирующих мощностей не посредственно у потребителей. Производство электрической и тепловой энергии для собственных нужд или в непосредственной близости от конкретного потребителя с каждым годом становится все более актуальным. И если на Западе это уже стало трендом, например, в Дании на долю нецентрализованной генерации приходится порядка 50% от всей вырабатываемой в стране электрической энергии, то в России малая энергетика скорее делает свои первые шаги.

Мы предлагаем объединить единую энергетическую сеть с децентрализованной сетью и ВЭС. Тем самым, создавая комбинированную сеть, благодаря которой уменьшится затраты на строительство новых генерирующих мощностей, а также на строительстве мощных ЛЭП.



Рис. 1. Пример дома с ВЭС

Сейчас в России по данным Росстата насчитывается более 65 миллионов частных и многоквартирных домов. Если хотя бы у половины домовладений установит у себя ВЭС с мощностью 50 кВт то суммарно получается примерно 1625 миллионов кВт·ч. С помощью этой энергии можно сглаживать утренние и вечерние пики. А также частично запитывать инфраструктуру и промышленные предприятия. Тем самым стимулируя генерирующие компании не на постройку новых мощностей, а на модернизацию уже существующих генераций.

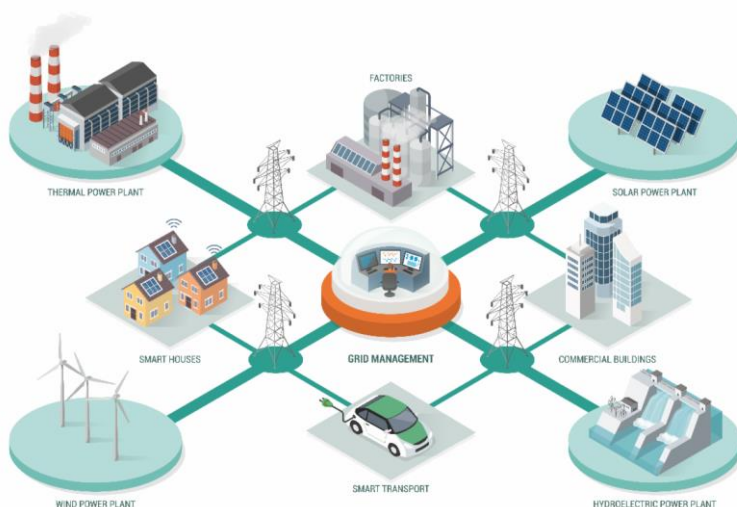


Рис. 2. Пример комбинации системы

Преимущества:

- возобновляемость;
- экологичность;
- эффективность;
- экономичность;
- уменьшение выбросов углекислого газа и других загрязнений;
- не требует транспортировки;
- автономность;
- стимул конкуренции генерирующих компаний.

Недостатки

- необходимость стимула для людей на установку ВЭС;
- не предсказуемость погоды в течении суток и сезона.

Результаты (Results)

Из-за стоимости и неудовлетворительной надежности и качества, или удаленности источников. Потребители вынуждены переходить на собственную генерацию. Практика показывает эффективность использования малой генерации систем электроснабжения. Это обуславливает необходимость разработки методов рационального использования систем малого электроснабжения потребителей, а также их совершенствования и дальнейшего развития с учетом энерго экономических и экологических аспектов.

Выводы (Conclusion)

Децентрализованные системы электроснабжения разного типа находят применение в разных станах для обеспечения электрической и тепловой энергией разных промышленных, коммунально-бытовых, сельскохозяйственных и других объектов. Они могут быть экономически целесообразными при значительной удаленности небольших потребителей электроэнергии от электрических сетей энергосистем, а также высокой стоимости электроэнергии при централизованном электроснабжении. Примерами таких потребителей являются объекты придорожного сервиса, асфальтобетонные заводы, предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции, объекты нефтегазовой добычи, жилые дома и т.д.

Библиографический список

1. Колесникова Ж. Малая энергетика в России: преимущества и практические проблемы [Сайт]: Адвокатское Бюро «Плешаков, Ушкалов и партнёры». URL: <https://advocates.su/blog/post/538/malaya-energetika-v-rossii-preimushestva-i-prakticheskie-pro> (дата обращения 01.12.2022).
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Минск: БНТУ, 2007. 144 с.
3. Фишов А.Г. Автоматика управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем, функционирующих в составе ЕЭС России [Электронный ресурс]. URL: https://www.eriras.ru/files/2_11_prezentatsiya_fishov.pdf?ysclid=lbv0rdkip1803068694 (дата обращения 01.12.2022).
4. Колюшко А. Плюсы и минусы собственной генерации // Деловой квартал. 2010. № 13 (729). С. 30-32.
5. Банюкин А.В. Собственная генерация: понятие и экономическая эффективность [Сайт]: En-Power [2022]. URL: <https://enpowertech.ru/blog/sobstvennaya-generatsiya-ponyatie-i-ekonomicheskaya-effektivnost> (дата обращения 01.12.2022).
6. Собственная генерация в нюансах [Сайт]: ZavodAgt (ООО «АГТ»). URL: <http://zavodagt.ru/stati/sobstvennaya-generatsiya-v-nyuansakh?ysclid=lbv1oqxwy379596585> (дата обращения 01.12.2022).



7. Что такое микрогенерация [Сайт]: Greenpeace. URL: <https://greenpeace.ru/blogs/2022/11/15/что-такое-микрогенерация/?ysclid=lbv1pdpyqw926871581References> (дата обращения 01.12.2022).

Сведения об авторах

Ульбрехт Данил Александрович, студент, КТИ (филиал) ВолгГТУ, кафедра электроснабжение промышленных предприятий. E-mail: danil22013@mail.ru.

Фролова Маргарита Алексеевна, студентка, КТИ (филиал) ВолгГТУ, кафедра электроснабжение промышленных предприятий. e-mail: margo22010f@gmail.com.

Ахмедова Ольга Олеговна, старший преподаватель, Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий».

E-mail: Ahmedova-olga@mail.ru

ORCID: [0000-0003-1272-5933](https://orcid.org/0000-0003-1272-5933)

Authors about

Danil A. Ulbrecht, KTI (branch) VolgSTU, Department of power supply of industrial enterprises. E-mail: danil22013@mail.ru

Margarita A. Frolova, KTI (branch) VolgSTU, Department of power supply of industrial enterprises. E-mail: margo22010f@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАТЭС В РЕГИОНАХ С НЕСТАБИЛЬНЫМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ

Шатило И.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация

Произведен анализ систем энергоснабжения и топливно-энергетического баланса территорий Крайнего Севера. Рассмотрено применение плавучих атомных теплоэлектростанций как основного местного энергоисточника, резервно-аварийных источников для снабжения регионов в условиях стихийных бедствий или техногенных катастроф. Выполнен анализ необходимости резервирования плавучих атомных энергоисточников. Сделан вывод, что развитие технологии ПАТЭС сможет обеспечить энергоснабжением не только арктические территории России, но и предоставить инструмент для решения энергетических проблем во многих регионах планеты.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, атомные электростанции, системы энергоснабжения, топливно-энергетический баланс, Крайний Север

PROSPECTS FOR THE USE OF FLOATING NUCLEAR NPP IN REGIONS WITH UNSTABLE ENERGY SUPPLY

Igor Shatilo

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Annotation

The analysis of power supply systems and fuel and energy balance of the territories of the Far North has been carried out. The use of floating nuclear thermal power plants as the main local energy source, backup and emergency sources for supplying regions in conditions of natural disasters or man-made disasters is considered. An analysis of the need for redundancy of floating nuclear power sources was carried out. It is concluded that the development of FNPP technology will be able to provide energy not only to the Arctic territories of Russia, but also provide a tool for solving energy problems in many regions of the planet.

Keywords: autonomous power supply, nuclear power plants, power supply systems, fuel and energy balance, Far North

Рост крупных населенных пунктов послужил толчком к росту централизованного энергоснабжения по причине экономической рентабельности крупных энергетических центров, способных выдавать от 1 ГВт-ч и более, что примерно эквивалентно потреблению энергии городом с населением около 400 тысяч человек. Такая система позволяет снизить издержки и более эффективно распределять мощности. Однако в настоящее время существует ряд регионов испытывающие те или иные трудности с энергоснабжением, решить которые традиционными методами проблематично. Для нашей страны наиболее проблемными регионами являются территории крайнего севера, обладающие большими запасами природных ресурсов, но испытывающие проблемы с логистикой. Использование электростанций на ВИЭ в данном регионе не представляется возможным, ввиду климатических условий не позволяющих эффективно применять энергию солнца и ветра, а также в связи с трудностями в сооружении и обслуживании таких установок. Учитывая совокупность факторов, характерных для данных регионов,



для решения проблем в области энергоснабжения наиболее перспективным вариант развития становится использование атомных теплоэлектростанций.[1].

В районах Крайнего Севера насчитывается 91 городское поселение с численностью населения от 10 до 20 тыс. человек и 360 поселков с населением от 5 до 10 тысяч человек. На данной территории существует необходимость в генерирующих мощностях повышенной автономности и защиты. Основным фактором является возможность работы без регулярных дорогостоящих поставок топлива. Такой подход обещает быть перспективной альтернативой северному завозу углеводородных энергоносителей.

В северных населенных пунктах расположено более 6500 электростанций, работающих на жидком топливе, которые обеспечивают большое количество изолированных потребителей с нагрузкой до 5 МВт. Для этих целей осуществляется регулярный завоз топлива, суммарно составляющий ~3,5 млн. т.у.т в год [2]. Для целей теплоснабжения здесь эксплуатируется более 5 тыс. котельных средней мощностью около 1,5 Гкал/ч.

Говоря о проблематике северной энергетической инфраструктуры, важно отметить, что на долю децентрализованных источников теплоэлектроснабжения приходится всего ~5% от общего потребления энергии в стране. Однако конечная стоимость выработанной энергии сильно превышает средний показатель по стране (табл. 1).

Таблица 1

Данные о региональных тарифах за второе полугодие 2022г. [9]

Регион	Тариф, руб./кВт*ч
Чукотка	8,9
Якутия	7,23
Камчатский край	6,943
Сахалинская область	4,73
Магаданская область	5,62
Приморский край	4,3
Амурская область	4,2
Хабаровский край	5,09
Еврейская АО	4,2
В среднем по России	4,0

Показательным является то, что доставка 10 т. топлива вертолетом (один из основных способов перевозки грузов) обходиться более чем в 100 тыс. рублей за летный час, а длительность перелета составляет от 3 до 10 часов. К тому же, сам вертолет за это время расходует около 5 т. авиационного керосина. Принимая во внимание то, что поселок с население около 1 тыс. человек потребляет в среднем 4 МВт тепловой и электрической энергии, а город с населением 30 тыс. человек уже не менее 50 МВт, вопросы энергетической логистики стоят очень остро [3]. Для регионов со среднегодовой температурой от -5 до -12 °С, особую роль играет теплоснабжение потребителей. В настоящее время ситуация такова, что большинство потребителей тепловой энергии обслуживаются за счет маломощных котельных, при этом в случае возникновения дефицита топлива или отсутствия поставщика тепловой энергии применяется, в том числе, печное отопление. У большинства расположенных в этих регионах населенных пунктов и предприятий потребности в электроэнергии ограничены и лежат в диапазоне 10 МВт, лишь в единичных случаях поднимаясь до 20-50 МВт. В малых населенных пунктах преобладает печное отопление. Соотношение собственных энергоресурсов и поставляемых извне представлено в табл. 2.



**Основные показатели потребления и производства
топливных ресурсов в северных регионах РФ**

Показатель Регион	Основной ресурс	Доля в территориальном потреблении ТЭР	Поставки из других регионов РФ	Генерация ТЭР	Годовое потребление ТЭР
Мурманская область	Топочный мазут, тыс. т.	59-85%	1311-1800	0	1311-1800
Республика Карелия	Природный газ, тыс. м ³ Топочный мазут, тыс. т.	46-51% 20-23%	842 000 321	0 0	842 000 321
Архангельская область	Природный газ, тыс. м ³ Топочный мазут, тыс. т. Уголь, тыс. т.	30-34% (до 39%) 23-30% 28%	1 059 186,2 1 246 1 892	0 0 0	1 059 186,2 1 246 2 367,4
Р. Коми	Природный газ, тыс. м ³ Уголь, тыс. т.	73,92-75% 14,21-16%	4 441 298 17,3	2 461 000 4 999	6 902 298 1525,88
Р.Саха (Якутия)	Уголь, тыс. т. Природный газ, тыс. м ³	43,1% 35%	126 -	7 000- 12 213 1 950 000	2600 1590000
Магаданская область	Уголь, тыс. т.	62,5%	249-277	429-455	500-710
Камчатский Край	Уголь, тыс. т. Природный газ, тыс. м ³ Топочный мазут, тыс. т.	26,7% 9,2-40% 48,7%	110,3-158 - 316	41 51 700 0	200 51700 316
Сахалинская область	Уголь, тыс. т. Природный газ, тыс. м ³	60-80% 8,1-15%	13,4 -	3 700 24 300 000	2 300 420 000
Чукотский АО	Уголь, тыс. т.	59,2%	169,7	224,7	394,4

С учетом специфики отечественных северных регионов в системе Росэнергоатома разработан вариант плавучей атомной тепловой электростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». Станция может осуществлять выработку как тепловой, так и электрической энергии. Благодаря технологическим особенностям, может выступать в роли опреснительной установки.

ПАТЭС не является полностью автономной теплоэлектростанцией, она состоит из плавучего энергоблока (ПЭБ), береговой инфраструктуры обеспечивающей подачу тепловой и электрической энергии, а также специальных сооружений, обеспечивающих безопасное размещение блока в порту. ПЭБ номинально может выдавать на берег 60 МВт электрической энергии, и до 50 Гкал/ч тепловой. При необходимости станция может заниматься только генерацией электричества, в таком случае выходная мощность составит 70 МВт. И наоборот, в режиме максимальной генерации тепла, тепловая мощность составляет 145 Гкал/ч при выдаче 30 МВт электроэнергии. Согласно заявлениям Росэнергоатома, ПАТЭС может обеспечить электроэнергией город численностью до 100 тыс. человек.



На сегодняшний день госкорпорацией Росэнергоатом реализован один такой проект. Местом дислокации был выбран г. Певек Чукотского АО. Использование ВИЭ на территории Чукотки является крайне неэффективным, ввиду климатических и ресурсных ограничений. Также территория обладает крайне низкой плотностью населения, что в совокупности с вышеизложенными факторами послужило выбором ПАТЭС в качестве проекта по энергоснабжению территории [4].

Данное технологическое решение позволяет решать целый спектр проблем в энергоснабжении отдельных регионов. Интерес к плавучим АЭС проявили более десятка стран, среди которых Китай, Индонезия и даже острова Зеленого Мыса. Также сейчас активно прорабатывается вариант строительства таких АЭС для Социалистической Республики Вьетнам. В настоящее время атомная энергетика Вьетнама находится на начальном этапе. Строительство ПАТЭС позволит решить ряд энергетических задач. Выбор именно плавучей установки обоснован географической протяженностью страны вдоль океана, а также возможностями её применения. Важно отметить, что строительство корпусов плавучего энергоблока уже сейчас ведётся на территории КНР, что говорит о повышенном интересе Китая к данной технологии. С нашей же стороны это открывает возможности для выхода на азиатские рынки.

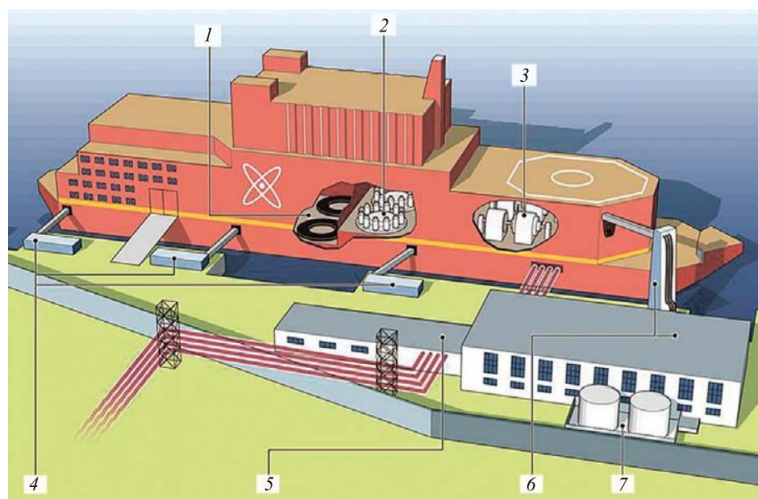


Рис.1 Общая схема ПАТЭС «Академик Ломоносов»

1 — хранилище отработанного топлива и радиоактивных отходов; 2 — реакторные установки; 3 — паротурбинные установки; 4 — гидротехнические сооружения; 5 — тепловой пункт; 6 — устройства передачи электроэнергии; 7 — баки горячей воды

Помимо стационарного штатного применения рассматриваются варианты применения таких энергоустановок в качестве резервно-аварийных источников для снабжения регионов пострадавших от стихийного бедствия или техногенных катастроф. В качестве примера возможного применения можно привести серьёзный энергетический кризис, произошедший в феврале 2021 года в штате Техас в результате трёх сильных зимних штормов, охвативших США в середине февраля.

В результате повреждение энергетической инфраструктуры, была отключена часть генерирующих мощностей, что спровоцировало массовые отключения электроэнергии. Около 5 миллионов различных потребителей оставались без электроэнергии в диапазоне от нескольких часов до нескольких дней. Происходящее вызвало перебои в теплоснабжении, логистике, водоснабжении, доступу в продукты и панике населения. Местные власти объявили, что в результате происшествия погибли, по крайней мере, 150 человек [5].

В качестве причин произошедшего называют совокупность факторов. Среди них: обледенение источников энергоснабжения таких, как ветрогенераторы, солнечные электростанции, а также недостаточное техническое обеспечение традиционных генерирующих мощностей. Важным фактором, повлиявшим на длительность устранения возникших проблем, стала политика местного правительства по децентрализации и дерегуляции энергосистемы от федеральных сетей, что во время коллапса затрудняло переключение потребителей на резервные источники, расположенные в соседних штатах. В данной ситуации наличие в резерве плавучих энергоблоков и способов их транспортировки позволило бы снизить эффект от выхода из строя местной инфраструктуры. Однако применение плавучих атомных электростанций в качестве резервных генераторов большой мощности, ограничивается необходимостью строительства дорогостоящей береговой инфраструктуры и относительно низкой скоростью транспортировки и подключения, что не позволяет применять их в экстренных ситуациях. Также, важно отметить, что за время продолжительного (12 лет) строительства ПАТЭС Академик Ломоносов её стоимость значительно увеличилась по сравнению с оценками 2007 года.

Эксплуатация плавучего энерго блока, помимо ежесезонных проверок и локальных мероприятий по поддержанию работоспособности, предполагает раз в 12 лет производить средний ремонт оборудования и замену отработавшего топлива. Для чего энергоблок требуется транспортировать на специальное предприятие, а причисленные выше мероприятия занимают около года. Общий срок эксплуатации составляет около 35 лет. По этой причине плавучая АТЭС не может выполнять функции единственного источника энергоснабжения и требует наличие резервных источников. В качестве резервных мощностей, обеспечивающих производство тепловой и электрической энергии, во время мероприятий по обслуживанию энергоблока, могут выступать, как аналогичные плавучие станции, находящиеся в запасе, так и наземная инфраструктура. Для резервирования ПАТЭС в Певеке запланировано строительство новой ТЭЦ мощностью 48 МВт, ориентировочной стоимостью 18,9 млрд рублей. Из-за территориальной удалённости Певека от Билибино, ПАТЭС не сможет в полной мере заместить выводимую из эксплуатации Билибинскую АЭС (в первую очередь, в части теплоснабжения Билибино). В связи с этим в Билибино запланировано строительство резервной дизельной электростанции мощностью 24 МВт и водогрейной котельной, работающей на дизельном топливе, общей стоимостью 13,1 млрд рублей. Также для электроснабжения Билибино в настоящее время не существует инфраструктуры, на строительство которой, по оценкам, уйдет более 30 млрд. рублей.

В настоящее время говорить о широкомасштабном применении таких плавучих энергоблоков не приходится, однако Росэнергоатом уже сейчас работает над вторым поколением плавучих атомных станций. Корпорация планирует оптимизировать плавучий энергоблок, сделав его меньше и мощнее. Предполагается, что он будет оснащен двумя реакторами типа РИТМ-200М общей мощностью 100 МВт. И в обозримом будущем, развитие данной технологии сможет обеспечить энергоснабжением не только арктические территории России, но и предоставить инструмент для решения энергетических проблем во многих регионах планеты.

Библиографический список

1. Мурамович В.Г., Петухов В.В., Скороходов Д.А. Альтернатива плавучим атомным теплоэлектростанциям // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2014. № 18. С. 65-69.
2. Innovative Small and Medium Sized Reactors: Design Features, Safety Approaches and R&D Trends: IAEA-TECDOC-1451 – Final report of a technical meeting held in Vienna, 7–11 June 2004. Vienna: IAEA, 2005. 214 p.



3. Митенков Ф.М. К вопросу об актуальности малой атомной энергетики для перспективного развития прибрежной Арктики и Дальневосточного региона // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 4. С. 58–63.
4. Родионова В.Г. Экономика и технологии плавучих атомных теплоэлектростанций: ПАТЭС «Академик Ломоносов» // Гуманитарный вестник. 2017. № 10(60). С. 5.
5. Weber P.J., Stengle J. Texas death toll from February storm, outages surpasses 100 [Сайт]: Associated Press [March 26, 2021] URL: <https://apnews.com/article/hypothermia-health-storms-power-outages-texas-ffeb5d49e1b43032ffdc93ea9d7cfa5f> (дата обращения: 20.11.2022).
6. Зверев Д.Л. Перспективы плавучих АЭС // Журнал прикладных исследований. 2008. № 4. С. 52-53.
7. Тарасова О.В., Соколова А.А. Перспективы комплексного освоения Чукотского АО // Мир экономики и управления. 2018. Т. 18, № 2. С. 69-85.
8. Строительство "Росатомом" атомной электростанций во Вьетнаме / М.А. Гордеев-Бургвиц, Ю.Л. Беккер, М.В. Минаева, Ю.М. Гордеева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 22-24.

Сведения об авторе

Шатило Игорь Андреевич, магистрант первого курса направления «Теплоэнергетика и Теплотехника» БГТУ им. В.Г. Шухова, Г. Белгород.

Author about

Igor Shatilo, first-year master student of the profile "Heat power engineering and Heat engineering" BSTU named after V. G. Shukhov (Belgorod).



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Шибяев С.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация

Произведен анализ энергетических свойств древесных отходов в зависимости от их вида, влажности, размера и формы. Произведено сравнение энергетических свойств древесных отходов с другими видами топлива. Сделан вывод, что обеспечение подготовленного хранилища, надлежащим образом защищенного от непогоды, использование дымовых газов для сушки топлива и другие меры поддержания необходимых свойств способствует поддержанию низкой остаточной влажности и оптимальной эффективности сгорания.

Ключевые слова: древесные отходы, влажность, топливо, биотопливо, энергетические свойства.

USE OF WOOD WASTE IN THERMAL POWER INDUSTRY

Sergey Shibaev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Annotation

The energy properties of wood waste were analyzed depending on their type, humidity, size and shape. The energy properties of wood waste are compared with other types of fuel. The conclusion is made, that the provision of prepared storage, adequate weather protection, the use of flue gases to dry the fuel, and other measures to maintain the required properties contribute to maintaining low residual moisture and optimum combustion efficiency.

Keywords: wood waste, humidity, fuel, biofuel, energy properties

Во всех видах промышленности, где в качестве сырья используется древесина, присутствует значительное количество древесных отходов, таких как опилки, кора, стружка и т.д. В некоторых местах объем отхода может превышать 50%. Часть этих отходов может быть использована для изготовления мебели или стройматериалов, то что не входит в эту часть эффективнее всего направить на получение тепловой энергии в ТЭЦ или для индивидуального отопления [1, 2].

При оценке свойств горючего материала в отношении его использования в качестве топлива теплотворная способность, выраженная в виде валовой теплотворной способности или более высоких теплотворных способностей, является одним из наиболее важных факторов, указывающих количество тепловой энергии, которое может быть получено при сжигании одной единицы массы топлива.

Теплотворная способность древесины во многом зависит от породы и используемой части дерева и варьируется от 17 до 23 МДж/кг сухой древесины; как правило, хвойные породы имеют более высокие теплотворные показатели, чем лиственные породы, со средним значением 21 МДж/кг для смолистых пород и 19,8 МДж/кг для других используемых пород древесины. На самом деле, теплотворная способность самого древесного вещества изменяется очень незначительно и составляет около 19 МДж/кг, так как фактически это изменение содержания смолы с теплотворной способностью 40 МДж/кг, что объясняет различия в значениях между породами. Именно по этой причине кора с высоким содержанием смолы, как правило, имеет более высокую ценность, чем древесина.



Хотя стоимость топлива может быть довольно постоянной для сухой древесины, теплотворная способность зависит от нескольких факторов, а именно: содержания влаги, размера частиц, типа и эффективности используемого оборудования для сжигания, а также уровня его эксплуатации и технического обслуживания. Следовательно, чтобы оценить теплотворную способность различных древесных остатков в перспективе, необходимо учитывать теплосодержание на единицу отходов в зависимости от их влажности, а также эффективность процесса преобразования энергии, который, как указано в табл. 1, обеспечивает сравнительный анализ. Так же его необходимо провести с другими альтернативными топливами [3].

Таблица 1

Влияние содержания влаги на теплотворную способность древесины по сравнению с другими видами топлива

Топливо	Теплотворная способность, Дж/кг	Средний КПД котла, %
Древесина при влажности:		
0%	19,8	80
10%	17,8	78
20%	15,9	76
30%	14,5	74
40%	12,0	72
50%	10,0	67
Антрацит	31,4	83
Бурый уголь	26,7	80
Тяжелое топливо	42,6	82,5
Легкое топливо	43,5	82,5
Бутан	49,3	79,0
Пропан	50,0	78,7

Древесина на момент заготовки обычно имеет содержание влаги примерно от 50 до 55 процентов, хотя это количество варьируется в зависимости от вида, возраста и части дерева, из которого оно произошло, то есть ветвей, ствола и т.д. На дальнейшие отклонения от среднего значения влияют сезон рубки и способ транспортировки на место лесопилки и хранения; бревна, которые сплавляются вниз по течению, окоряются или оставляются в прудах для кондиционирования, могут содержать влажность от 65 до 70 процентов, тогда как бревна, которые при транспортировке и сухой окорке их количество составляет порядка 45-50% м.с. Весеннее и летнее хранение может привести к потере влаги от 10 до 25% [4].

Содержание влаги в производственных остатках во многом зависит от того, на какой стадии процесса они экстрагируются и была ли какая-либо сушка продукта до этой стадии. Например, шлифовальная пыль от производства фанеры или древесностружечных плит забирается с завода после сушилок и горячих прессов, где ее влажность может составлять не более десяти процентов, как указано в табл. 2.

Таблица 2

Диапазон характеристик типичных древесных остатков

Вид	Размер, мм	Влажность, %	Зольность, %
Песчаная пыль	0 - 1	2 - 10	0,1 - 0,5
Стружка	1 - 12	10 - 20	0,1 - 1,0
Опилки	1 - 10	25 - 40	0,5 - 2,0
Кора (забитая)	1 - 100	25 - 75	1,0 - 2,0
Уборка бревенчатых дворов	до 100	40 - 60	5,0 - 50
Лесные остатки	Хвоя к пням	30 - 60	3,0 - 20



Несмотря на то, что древесина может сжигаться при влажности от 55% до 58% при тщательном внимании оператора и настройке котла, всегда лучше стремиться к содержанию влаги в 50% или ниже, чтобы обеспечить удовлетворительную и стабильную работу. Когда содержание влаги повышается до 60%, сжигание древесных отходов становится затруднительным, поскольку их теплотворная способность резко падает, вплоть до того, что при влажности примерно 68% происходит "отключение печи", так как горение не может поддерживаться без использования дополнительного топлива.

Высокое содержание влаги не только снижает теплотворную способность древесных отходов при сжигании, но и серьезно влияет на общую эффективность сгорания из-за большого количества энергии, необходимой для нагрева значительного количества избыточного воздуха и испарения влаги в отходах, которая вместе с влагой образуется в результате самого процесса горения впоследствии теряется в стеке в виде скрытого тепла. Следовательно, древесные отходы при температуре 10°C с теплотворной способностью при сжигании 17,8 МДж/кг и КПД сгорания около 78% предпочтительнее сырой древесины при температуре 50°C, с теплотворной способностью при сжигании 10 МДж/кг и КПД 67%.

Размер и форма древесных частиц также имеют решающее значение как для характеристик обработки, так и для эффективности сжигания отходов и играют важную роль в их горючести, а также в выборе и эксплуатации установок для переработки и сжигания. В то время как мелкая песчаная пыль и древесная стружка могут сжигаться в виде суспензии, древесные отходы большего размера в виде крупной щепы, крупнозернистых отходов и слябов требуют более длительного времени выдержки для сжигания, которое обычно осуществляется на решетках [5].

Следовательно, все шаги, предпринятые для снижения содержания влаги и размера остатков до минимума, приносят дивиденды в производстве энергии. Обеспечение подготовленного хранилища, надлежащим образом защищенного от непогоды, использование дымовых газов для сушки топлива и т.д. способствует поддержанию низкой остаточной влажности и оптимальной эффективности сгорания.

Библиографический список

1. Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 88-101.
2. Слободчиков Е.Г. Исследование работы твердотопливных теплогенераторов малой мощности в климатических условиях Севера // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 49-58.
3. Кирпичникова И.М., Филь Н.С., Древесные отходы как возобновляемый источник для получения тепловой и электрической энергии // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2012. №16 (275). 21-25 с.
4. Федоренчик А.С. Комплексное использование древесного сырья. Минск: БГТУ, 2013. 88 с.
5. Забарный Г.Н., Ключ С.В., Довженко Д.С. Использование растительных отходов для производства энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 8. С. 100-106.

Сведения об авторе

Шibaев Сергей Станиславович, магистрант первого курса направления «Теплоэнергетика и Теплотехника» БГТУ им. В.Г. Шухова, Г. Белгород.

Author about

Sergey Shibaev, first-year master student of the profile "Heat power engineering and Heat engineering" BSTU named after V. G. Shukhov (Belgorod).



Научное издание

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

VI Международная
научно-техническая
конференция

Секция молодых ученых

Материалы конференции

ISBN 978-5-361-01133-9



Подписано в печать 30.12.2022 г.
Объем 2 900 кб
Тираж 100 экз.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова»,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46