

УДК 621.039

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.3.16>*Оригинальная статья / Original paper*

## Особенности вузовской подготовки специалистов в области атомной энергетики

О.Л. Ташлыков<sup>1</sup>, С.Е. Щеклеин<sup>1</sup>, А.И. Бельтюков<sup>1</sup>, А.М. Тучков<sup>1,2</sup>, И.А. Филин<sup>2</sup>, С.А. Полуяков<sup>2</sup>, Н.Н. Ошканов<sup>1</sup>, В.А. Климова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет,  
620062 Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

<sup>2</sup> Белоярская АЭС,  
624250 Россия, Свердловская область, г. Заречный, а/я 149

**Реферат.** Показана роль участия специалистов атомных станций в проведении научных исследований, способствующих повышению эффективности освоения новых реакторных технологий на примере быстрого натриевого реактора БН-600. Обоснована актуальность инженерно-технической поддержки эксплуатации для обеспечения надежной и безопасной работы энергоблоков Белоярской АЭС, обусловленная рядом факторов (необходимостью определения масштабного фактора при переходе оборудования от работы на стендах к работе в реальных условиях эксплуатации; наличием ситуаций, требующих быстрого решения возникающих вопросов, когда отсутствует возможность оперативного взаимодействия с Научным руководителем и Главным конструктором реакторной установки или парогенератора; проведением основных измерений с использованием штатной системы контроля параметров, т.е. в рамках имеющихся погрешностей и инерционности датчиков; необходимостью соблюдения всех требований нормативных документов, обеспечивающих безопасность эксплуатации энергоблока при проведении измерений). Подчеркнута необходимость специфической подготовки студентов, обучающихся по инженерным специальностям (получение навыков владения инструментами математического анализа, проведение научных исследований, экспериментов, обработки их результатов). Рассмотрены необходимые условия для эффективной реализации задачи подготовки кадров на примере «научоемкой» специальности 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». Обобщен 13-летний опыт профессиональной переподготовки специалистов Белоярской АЭС и других предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», имеющих непрофильное высшее техническое образование, по программе «Атомные электростанции и установки», способствующей реализации на практике технологий реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

**Ключевые слова:** технологическое лидерство, инновационное направление развития атомной энергетики, реактор на быстрых нейтронах, подготовка персонала, «научоемкая» специальность, научно-исследовательская работа.

© Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Бельтюков А.И., Тучков А.М., Филин И.А., Полуяков С.А., Ошканов Н.Н., Климова В.А., 2025

**Для цитирования:** Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Бельтюков А.И., Тучков А.М., Филин И.А., Полюяктов С.А., Ошканов Н.Н., Климова В.А. Особенности вузовской подготовки специалистов в области атомной энергетики. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;3:237–251. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.3.16>

## Введение

Энергетика является основой развития экономики и промышленности, а также обеспечения комфортного уровня жизни населения любой страны. В связи с этим для обеспечения национальной и, в частности, энергетической безопасности Российской Федерации (РФ) в условиях внешних экономических и политических, а также внутренних вызовов была разработана Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ от 12.04.2025 № 908-р.

В соответствии со стратегией к 2050 г. отрасль электроэнергетики в России достигнет значительной трансформации, обусловленной растущим объемом потребления электроэнергии, которое, согласно целевому сценарию возрастет более чем на 42% по отношению к 2023 г. за счет дополнительного потребления реализуемых в промышленности проектов, направленных на импортозамещение и удовлетворение внутреннего спроса, реализацию крупных инфраструктурных проектов, включая развитие железных дорог и увеличение использования автомобильного электротранспорта, стремительного развития технологий обработки данных, таких как центры обработки данных, и применения искусственного интеллекта. При этом планируется увеличение доли атомной генерации в общей выработке электроэнергии до 25%.

Одной из основных задач в области атомной энергетики, заложенных в Энергетическую стратегию и направленных на сохранение мирового технологического лидерства, является разработка и внедрение технологий реакторов на быстрых нейтронах и замкнутого ядерного топливного цикла. Данная задача направлена на решение системных проблем современной ядерной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах, таких как непрерывное увеличение количества отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО) (ближнесрочная проблема) и ограниченность топливной базы ввиду низкой эффективности полезного использования природного урана (дальнесрочная проблема).

Перспективная крупномасштабная ядерная энергетика должна обладать гарантированной безопасностью, экономической устойчивостью и конкурентоспособностью, отсутствием ограничений по сырьевой базе на длительный период времени, экологической устойчивостью (малоотходностью). Этим условиям удовлетворяют ядерные энергетические системы с реакторами на быстрых нейтронах (РБН) с жидкометаллическим теплоносителем [1–2]. Используемый термин «ядерная энергетическая система» (ЯЭС) подразумевает не только реакторную установку в составе АЭС, но и переработку (рециклирование) ядерного топлива [3].

Россия является несомненным мировым лидером в проектировании, сооружении и эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. С 1980 г. на Белоярской АЭС успешно эксплуатируется БН-600, 31 марта 2025 г. получена лицензия Ростехнадзора на продление его эксплуатации до 2040 г. В декабре

2015 г. включен в энергосистему Урала, а в 2016 г. сдан в промышленную эксплуатацию энергоблок № 4 с реактором БН-800 [4]. Помимо основной миссии БН-800, заключающейся в отработке отдельных звеньев замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), важнейшей его задачей является сохранение и развитие компетенций в области эксплуатации, проектирования, сооружения быстрых натриевых реакторов [5]. При этом одним из основных условий успешной реализации данного инновационного направления развития атомной энергетики является опережающая подготовка высококвалифицированных специалистов по эксплуатации и обслуживанию систем и оборудования энергоблоков АЭС с реакторами на быстрых нейтронах [6].

При этом социальная приемлемость атомной энергетики может быть обеспечена только при безусловном соответствии атомных станций установленным требованиям к их безопасности. Помимо технических мер безопасность ядерной установки в соответствии с «Основополагающими принципами безопасности №SF-1» МАГАТЭ должна обеспечиваться и поддерживаться с помощью эффективной системы управления, важнейшей частью которой являются человеческие ресурсы. Как показывает многолетняя практика, квалификация персонала, его компетентность и натренированность относятся к важнейшим факторам предотвращения нарушений ядерной и радиационной безопасности.

Высокая ответственность за обеспечение безопасности ядерной установки АЭС накладывает жесткие квалификационные требования к эксплуатационному персоналу, обслуживающему реакторную установку. Важнейшим условием успешного ввода в эксплуатацию головного энергоблока БН-1200 на Белоярской АЭС является своевременная подготовка оперативного персонала. В частности, до пуска энергоблока необходимо укомплектовать оперативный персонал в количестве 56-ти чел., что требует заблаговременной длительной подготовки. Из них 42 человека должны иметь разрешение Ростехнадзора [7].

Уникальность технологии быстрых реакторов требует специфического подхода к подготовке персонала и специальной материально-технической базы. Одним из эффективных путей решения данной задачи является организация процесса подготовки специалистов «через науку» [7], подразумевающего вовлечение студентов, а в дальнейшем и молодых специалистов, совмещающих работу с учебой в аспирантуре, в решение научно-технических проблем атомной отрасли и конкретного предприятия.

Развитие сотрудничества УрФУ (УПИ) и Белоярской АЭС по подготовке специалистов, сопровождающееся созданием и модернизацией учебно-материальной базы кафедры атомной энергетики, включая научно-техническое сотрудничество, можно разделить на следующие этапы, связанные с освоением новых инновационных реакторных технологий и сооружением очередных энергоблоков (рис. 1):

- открытие (организация) в УПИ кафедры «Атомная энергетика», создание первоначальной учебно-материальной и лабораторной базы (1961 г.) в связи с сооружением первой очереди Белоярской АЭС с уран-графитовыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200 с ядерным перегревом пара;
- организация подготовки специалистов для эксплуатации и обслуживания реакторных установок на быстрых нейтронах, создание специализированной учебно-материальной базы (1970-е гг.) в связи с сооружением энергоблока №3 Белоярской АЭС с реактором БН-600;



### Уральский политехнический институт – Уральский федеральный университет (УрФУ)

Рис. 1. Основные этапы развития сотрудничества УрФУ и Белоярской АЭС в подготовке специалистов

- модернизация учебно-материальной базы кафедры «Атомные станции и ВИЭ» (до 2011 г. – Атомная энергетика) (2007 – 2013 гг.), организация обучения по программе профессиональной переподготовки «Атомные электрические станции и установки» начиная с 2011 г. для подготовки специалистов для энергоблока № 4 Белоярской АЭС с реактором БН-800;

- подготовка к обеспечению персоналом энергоблока № 5 Белоярской АЭС с реактором БН-1200М, увеличенный прием выпускников кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» (АС и ВИЭ) с выбором соответствующих тем дипломного проекта, с ранним устройством на преддипломной практике уже на рабочие места, с подготовкой к сдаче экзаменов на должность, к защите дипломных проектов (формирование спецрезерва начиная с 2023 г.);

- разработка концепции, создание, организация работы и поддержка эффективного функционирования центра подготовки кадров и развития технологий реакторов на быстрых нейтронах (2025 – 2036 гг.) на базе Белоярской АЭС и УрФУ, включая организацию производственной аспирантуры в связи с необходимостью кадровой обеспеченности реализации стратегии развития АЭ в части сооружения РБН и ЗЯТЦ.

## Методы и технологии

Изначально атомная отрасль, в том числе атомная энергетика, заметно выделялась среди других отраслей промышленности значительной наукоемкостью. Для решения практически всех задач, возникавших на пути освоения энергии атома, потребовались огромные усилия большого числа ученых по различным направлениям фундаментальных и прикладных исследований (ядерная и нейтронная физика, материаловедение, теплогидравлика и многие другие). В настоящее время также возникают новые научно-технические задачи, требующие решения для достижения поставленных целей на пути практического внедрения технологий перспективной атомной энергетики. Помимо глобальных задач, для решения которых требуются масштабные фундаментальные исследования, уникальная дорогостоящая экспериментальная база, большие

научные коллективы, имеется значительный пласт проблем и задач, для которых научно-технические решения могут быть получены с участием специалистов АЭС, непосредственно занимающихся эксплуатацией и обслуживанием.

Особую значимость это приобрело в процессе освоения режимов эксплуатации уникального энергоблока с реактором БН-600. Одной из таких проблем в первые годы эксплуатации явилось значительное несоответствие многих параметров и характеристик, полученных на экспериментальных стендах и установках, реальным значениям. Для решения этих проблем на базе теплофизической лаборатории (ТФЛ), созданной для энергоблоков первой очереди БАЭС, был организован научно-исследовательский отдел (НИО), в функции которого помимо решения теплофизических задач вошло изучение других взаимосвязанных актуальных вопросов (ядерная безопасность, мониторинг, материаловедение и др.).

Специфика реактора большой мощности с натриевым теплоносителем и интегральной компоновкой оборудования первого контура потребовала проведения комплекса исследований, связанных с изменением расходов жидкометаллического теплоносителя в корпусе реактора, которые не были зафиксированы на экспериментальных установках (например, расслоение течения натрия в первом контуре). В начальный период эксплуатации реактора БН-600 возникли сложности при достижении номинального значения его мощности из-за неравномерной тепловой нагрузки петель, что было обусловлено секторным течением теплоносителя в первом контуре и несимметричным распределением загрузки топлива в активной зоне реактора [8 – 10].

Второй масштабной проблемой явилось освоение режимов эксплуатации натриевого парогенератора ПГН-200М. Проведенные исследования по изучению тепловых характеристик парогенераторов, локальных тепловых потоков, выноса неравновесной влаги из испарителей позволили определить и обосновать резервы повышения мощности секций и модулей [11 – 13].

Испытания показали, что при повышении мощности секции ПГ до 126% от номинальной и соблюдении предусмотренных ограничений параметров условия работы модулей не ухудшились, а по ряду показателей (величина максимального теплового потока, уровень температур металла в ИМ) улучшились. Повышение тепловой мощности секций до 126% (с учетом принятых ограничений) при выводе в ремонт отдельных секций ПГ обеспечивает более гибкое регулирование распределения мощности между петлями, повышает устойчивость несения электрической нагрузки блоком.

На основании этих исследований была изменена проектная технология ведения режима работы петли с неполным числом работающих секций ПГ, что позволило при отключении одной из восьми секций ПГ сохранить мощность петли на исходном уровне с семью секциями и мощность блока в целом. При отключении двух секций на одном ПГ работа реактора на номинальной мощности обеспечивается за счет сочетания режима работы ПГ с повышенной мощностью и перераспределением мощностей между теплообменными петлями [14 – 16].

Реализация этих предложений позволила повысить устойчивость режимов работы блока при аварийных ситуациях, обеспечить управление распределением мощности между петлями.

Для повышения эффективности проведения исследований было организовано обучение сотрудников БАЭС в аспирантуре с целью овладения научными методами и инструментами, умениями и навыками решения научно-технических задач, и в ре-

зультате был подготовлен ряд диссертационных работ (кандидатских и докторских) под научным руководством ведущих специалистов кафедры «Атомная энергетика» Уральского политехнического института [17 – 22]. Например, были получены научно-технические решения проблем гидродинамической неустойчивости секционного парогенератора с натриевым обогревом<sup>1</sup>, исследованы нестационарные процессы и пространственные возмущения в активной зоне интегрального натриевого реактора большой мощности<sup>2</sup>, поведение конструкционных материалов в спектре нейтронов быстрого реактора большой мощности<sup>3</sup>, проведена оптимизация проектных решений опытно-промышленного энергоблока на основании опыта эксплуатации энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-600<sup>4</sup>.

В дальнейшем изучение основ научно-исследовательской деятельности было включено в программу подготовки студентов по специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», из которых ежегодно по несколько человек после третьего – пятого курсов проходят производственные и преддипломную практики в отделе инженерно-технической поддержки эксплуатации Белоярской АЭС (до 2009 г. – научно-исследовательский отдел) и два – три человека распределяются туда на работу, выполнив дипломный проект по реальной тематике.

Применительно к используемому в статье термину «научоемкость» из всех дисциплин программы подготовки инженеров-физиков по специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» условно можно выделить специальные дисциплины, связанные с изучением реакторной установки, тепломеханического оборудования, технологических систем, протекающих в них нейтронно-физических, теплогидравлических и других процессов, а также технологий, используемых, например, при ремонте, выводе из эксплуатации АЭС.

Для более глубокого освоения этих дисциплин возникает потребность в получении знаний и умений, обеспечивающих владение инструментарием для научно-технического решения поставленных задач (проведение эксперимента, снятие и обработка результатов, освоение прикладных компьютерных программ, расчетных кодов, методов теплогидравлического моделирования и т.д.), а также оформления полученных результатов исследований в виде заявки на полезную модель или изобретение (дисциплина «Основы изобретательской деятельности»).

Для получения студентами практических навыков владения научным инструментарием выполняются научно-исследовательские работы в составе научных групп, проекты, выполняемые на протяжении двух – трех лет обучения, начиная со второго

<sup>1</sup> Говоров П.П. Гидродинамическая неустойчивость секционного парогенератора с натриевым обогревом: На примере энергоблока N3 Белоярской АЭС: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.03. Заречный, 2000, 130 с.

<sup>2</sup> Тучков А.М. Нестационарные процессы и пространственные возмущения в активной зоне интегрального натриевого реактора большой мощности: На примере Белоярской АЭС: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.03. Заречный, 2000, 140 с.

<sup>3</sup> Чуев В.В. Поведение конструкционных материалов в спектре нейтронов быстрого реактора большой мощности : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.14.03. Обнинск, Заречный, 2007, 312 с.

<sup>4</sup> Ошканов Н.Н. Оптимизация проектных решений опытно-промышленного энергоблока на основе опыта эксплуатации энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-600: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.03. Белоярская атомная электростанция. Нижний Новгород, 1996, 24 с.

– третьего (иногда первого) курсов. Более глубокому погружению студента в конкретную область исследования, успешному решению масштабных задач, выполнению проектов, в том числе выпускной квалификационной работы по реальной тематике и, соответственно, повышению своих компетенций, знаний, профессионализма способствует ранняя ориентация студентов на трудоустройство в конкретные цеха и отделы БАЭС. Такой подход реализуется начиная с производственных практик после третьего и четвертого курсов обучения и заканчивая преддипломной практикой с трудоустройством на рабочие места и подготовкой к сдаче экзаменов на должность к моменту защиты дипломного проекта. Лучшие выпускники продолжают обучение в аспирантуре. Для действующих работников БАЭС, имеющих непрофильное техническое образование, реализуется программа профпереподготовки, а для работников, имеющих желание участвовать в решении возникающих научно-технических задач, планируется организация обучения в производственной аспирантуре УрФУ.

## Результаты и их обсуждение

Как показывает многолетняя практика, важную роль в подготовке к обучению по «наукоемким» специальностям в университете играет качество базовой подготовки по физике и математике абитуриентов, выпускников общеобразовательных школ, нацеленных на реализацию своего профессионального пути в сфере атомной энергетики.

Несмотря на дополнительные вызовы, связанные с ограниченным количеством выпускников школ, сдающих единый государственный экзамен по физике, при одновременно возрастающей конкуренции в привлечении абитуриентов со стороны других отраслей промышленности, активная профориентация со стороны УрФУ и Белоярской АЭС, охват новых территорий привели к стабильному увеличению интереса к выбору для обучения в университете специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». При этом значительную роль при выборе будущей специальности для потенциальных абитуриентов играют экскурсии на БАЭС (5695 человек в 2024 г.), наглядно демонстрирующие высокую культуру производства и безопасности в атомной отрасли. Увеличение конкурса и, соответственно, уровня базовой подготовки абитуриентов во многом определяет успешность дальнейшего освоения данной наукоемкой специальности. Так по итогам вступительной кампании в 2024 г. конкурс на специальность «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» составил около четырех человек на одно место, средний балл зачисленных по конкурсу – 247 баллов, с учетом целевого набора – 237 баллов.

Не менее важно продолжение процесса развития «причастности» к выбранной профессии и, соответственно, стремления в освоении изучаемых дисциплин в течение всего периода обучения на кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии (АС и ВИЭ) начиная с младших курсов. Белоярская АЭС организует регулярные экскурсии на действующие блоки АЭС в основные цеха, реакторный и турбинный, где происходит знакомство с реальным действующим оборудованием, в том числе в зоне контролируемого доступа, с переодеванием, фотографированием в спецодежде на фоне реактора (в современном мире важно учитывать и этот фактор, весьма значимый для молодых людей, выкладывающих «уникальные фотографии» в соцсетях). Такие экскурсии, проводимые ведущими специалистами АЭС, многие из которых являются

выпускниками кафедры, способствуют формированию ощущения своей причастности к атомной энергетике, сфере своей будущей деятельности, «восхищение» высокой культурой производства, безопасностью, чистотой и т.д.



Рис. 2. Студенты кафедры АС и ВИЭ на экскурсии в реакторном и машинном залах энергоблока с реактором БН-800 Белоярской АЭС

Уникальное географическое расположение городов Заречный и Екатеринбург (расстояние между БАЭС и УрФУ примерно 50 км) позволяет активно привлекать специалистов Белоярской АЭС для чтения как отдельных лекций, так и полных курсов, что также повышает вовлеченность студентов в будущую специальность.

Важную роль в поддержке стремления к более глубокому пониманию изучаемых дисциплин играет постепенное погружение в атомную сферу познаний, в том числе с использованием принципа «обучение через науку», более раннее изучение отдельных вопросов, изучаемых в спецдисциплинах на старших курсах, путем работы в составе научных групп, состоящих из студентов старших курсов и аспирантов. Здесь же формируются первоначальные навыки научно-исследовательской деятельности.

Основные подходы в реализации принципа обучение через науку в УрФУ на примере кафедры АС и ВИЭ изложены в статье [7].

В результате совместной работы научных групп определяются лидеры – наиболее способные студенты, многие из которых, получив опыт проведения научных исследований, по рекомендации государственной аттестационной комиссии поступают в аспирантуру, совмещая учебу с работой на Белоярской АЭС.

Совмещение работы на БАЭС с учебой в аспирантуре значительно повышает эффективность выполнения диссертационной работы с тематикой, посвященной актуальным задачам цехов и подразделений БАЭС, поскольку появляется уникальная возможность верификации получаемых результатов расчета или моделирования с экспериментальными измерениями на реальном оборудовании и системах. В ходе достижения поставленной цели исследований решаются производственные задачи, результаты могут быть оформлены в виде патентов на полезные модели<sup>5</sup> и изобретения<sup>6</sup>. В качестве примера на рис. 3 представлены результаты расчета распределения

<sup>5</sup> Патент на полезную модель RU 228580 U1 «Устройство для предотвращения падения разрывной мембраны в сосуд высокого давления», 03.09.2024. Заявка от 13.06.2024 (авторы Ташлыков О.Л., Завадский Д.И., Козвонин А.С., Шибиков Н.Е.).

<sup>6</sup> Заявка на изобретение № 2025102534/20(006585) «Быстросъемная радиационная защита трубопровода АЭС» от 06.02.2025 (авторы Ташлыков О.Л., Чалпанов С.В., Завадский Д.И., Сопроненков Н.Г.).

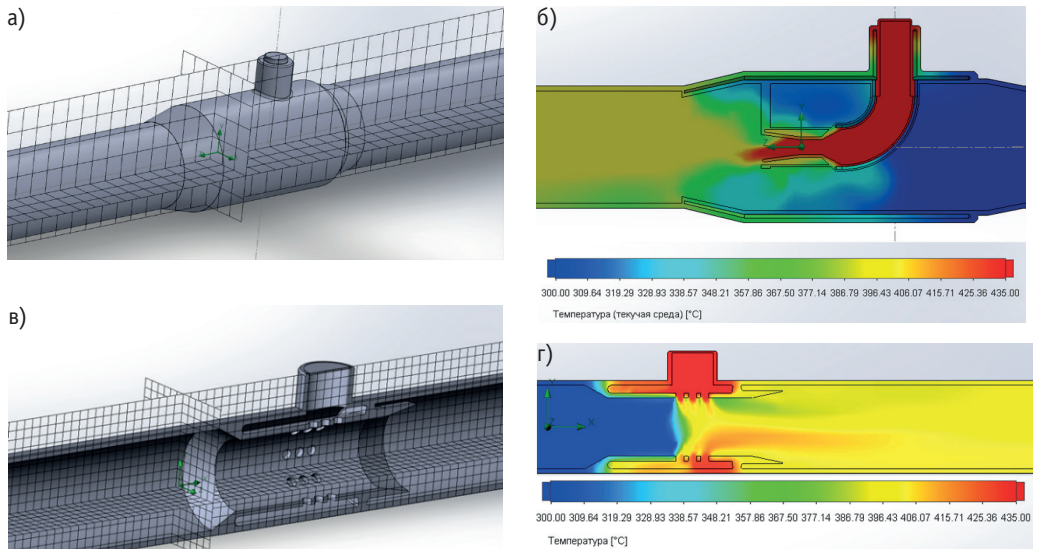


Рис. 3. Расчетные модели тройников-смесителей с расчетной сеткой (а, в) и распределение температур по их объему (б, г)

температур в тройниках-смесителях различных типов для трубопроводов системы очистки натрия от окислов, выполненного в САПР SolidWorks с использованием FlowSimulation. SolidWorksFlowSimulation – это инструмент вычислительной гидродинамики, интегрированный в SOLIDWORKS 3D CAD, который позволяет моделировать потоки жидкости и газа для расчета рабочих характеристик изделия.

В отдельных случаях, когда требуются более глубокие фундаментальные исследования, привлекаются специалисты в узких областях, ученые-математики кафедры прикладной математики УрФУ и Института механики и математики УрО РАН, например, при решении задач маршрутной оптимизации работ в неоднородных радиационных полях [23 – 24].

Профессиональная переподготовка по программе «Атомные электрические станции и установки», реализуемая университетом для работников БАЭС, не имеющих профильного образования, с 2011 г., позволила решить проблему комплектования персоналом сооружаемого в то время энергоблока № 4 с реактором БН-800. Данный вид подготовки кадров показал востребованность и был отмечен миссией WANO как положительная практика. Сейчас продолжается стабильная реализация программы, ежегодно проходит обучение одна группа численностью 30 человек. Программа обучения завершается защитой дипломных проектов, основная часть которых выполняется по актуальным темам цехов, отделов, лабораторий, где работают обучающиеся. В ряде случаев для проведения исследований используется научно-технический подход, позволяющий получать значимые результаты, которые рекомендуются экзаменационной комиссией к внедрению в производство.

## Заключение

Эффективность решения научно-технических задач, возникающих при освоении новых технологий, в частности, реакторов на быстрых нейтронах, повышается при

максимальном вовлечении в этот процесс специалистов, непосредственно участвующих в эксплуатации и обслуживании РБН. Это подтверждает опыт освоения режимов эксплуатации реакторной установки БН-600 с участием специалистов БАЭС.

Успешной реализации новых высокотехнологических направлений развития атомной энергетики, в частности, технологии быстрых натриевых реакторов, способствует вовлечение в решение научно-технических задач, возникающих в процессе освоения этих технологий, молодых специалистов – выпускников по специальности 14.05.02, а также приобщение непрофильных специалистов, обучающихся по программе профпереподготовки и уже опытных, путем реализации производственной аспирантуры для овладения ими навыками научно-технического анализа, методик исследований.

Для специалистов атомной энергетики требуется владение основами проведения научных исследований. Успешность подготовки по наукоемким специальностям обуславливается высокими требованиями к базовой подготовке абитуриентов, повышением мотивации абитуриентов и студентов к глубокому освоению программ обучения начиная с младших курсов через тесное взаимодействие с АЭС (контакты с работниками БАЭС, проведение экскурсий, чтение обзорных лекций, преподавание отдельных курсов), осознание высокой культуры производства и безопасности.

### Литература

1. Tashlykov O., Shcheklein S., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI century. *International journal of energy production and management*. 2016;1(2): 133–140. URL: <https://iieta.org/journals/ijepm/paper/10.2495/EQ-V1-N2-133-140> (дата обращения 20.06.2025).
2. Tashlykov O, Shcheklein S, Sesekin A, Chentsov A, Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological features of fast reactor nuclear power plants (NPPs) at all stages of their lifecycle. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014;190(2):907–918. DOI: <https://doi.org/10.2495/EQ140852>
3. Пономарев-Степной Н.Н. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система с тепловыми и быстрыми реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле. М.: Техносфера, 2016, 160 с.
4. Бакирова Н.В., Золотова А.С. Белоярская АЭС: XXI век. – Екатеринбург: ООО «Сократ», 2024, 184 с. ISBN 978-5-6050097-9-5.
5. Tashlykov O.L., Sesekin A.N., Klimova V.A., Mahmoud K.A. Optimization of the route of the refueling machine to reduce the refueling time: Case study of the BN-800 reactor. *Nuclear Engineering and Design*. 2025;431:113725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113725>
6. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Титов Г.П., Носов Д.А., Тучков А.М. Методика использования программно-тренажерных средств при изучении специальных дисциплин. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2016;3:63–72. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2016.3.07>
7. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Опыт подготовки специалистов для атомной отрасли в Уральском федеральном университете «через науку». *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2024;4:202–218. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.4.17>
8. Шейнкман А. Г., Карпенко А. И., Лыжин А. А., Зубкова Т. В., Мерзина Е.В. Исследование теплогидравлических характеристик реактора БН-600 Белоярской АЭС. *Атомная энергия*. 1987;62(6):375–379. URL: [https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya\\_t62-6\\_1987/p375/](https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t62-6_1987/p375/) (дата обращения 20.06.2025).
9. Матвеев В.И., Черный В.А., Иванов А.П., Казанский Ю.А., Бабенко Г.В., Карпенко А.И., Росляков В.Ф., Васильев Б.А., Фаракин М.Р. Основные этапы физического пуска БН-600 и сравнение измеренных и проектных характеристик. *Атомная энергия*. 2010;108(4):250–255. URL: <https://www.j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/1464> (дата обращения 20.06.2025).

10. Блинов Ю.А., Карпенко А.И., Тучков А.М. Измерение эффективности органов СУЗ БН-600 методом относительного взвешивания. *Атомная энергия*. 1993;74(6):529–531. URL: [https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya\\_t74-6\\_1993/p529/](https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t74-6_1993/p529/) (дата обращения 20.06.2025).
11. Говоров П.П. Совершенствование переходных режимов натриевого парогенератора энергоблока БН-600. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2005;1:103–107. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
12. Говоров П.П. Повышение надежности работы парогенератора энергоблока БН-600 в пусковых режимах. *Теплоэнергетика*. 2006;9:59–62. EDN: HUZJFX
13. Кузнецов А.А., Говоров П.П., Носов Ю.В., Караваев А.П. Методика определения дефектного модуля при появлении течи в секционном парогенераторе ПГН-200М. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2009;2:53–60. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
14. Бельтюков А.И., Говоров П.П., Карпенко А.И. Определение предельно допустимых перегревов пара за испарителями в эксплуатационных режимах натриевого парогенератора. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2005;1:95–102. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
15. Теличко М.Т., Говоров П.П., Поморцев И.С. Разработка схемы цифровой регистрации скорости вращения главных циркуляционных насосов второго контура энергоблока БН-600. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2009;2:162–166. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
16. Баданин Е.Ю., Говоров П.П., Дрозденко В.А. Особенности вибрационного состояния насосных агрегатов ГЦН энергоблока БН-600 в условиях двухпетлевого режима работы. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2009;2:136–139. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
17. Мальцев В.В., Карпенко А.И., Чернов И.А., Головин В.В. Опыт наработки  $^{60}\text{Co}$  в БН-600. *Атомная энергия*. 1999;86(3):216–219. URL: <https://www.j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/4043> (дата обращения 20.06.2025).
18. Карпенко А.И., Розенбаум Е.Л., Забегаев В.П. Исследования остаточного тепловыделения отработавших сборок реактора БН-600 в бассейне выдержки. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2005;1:70–77. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
19. Карпенко А.И., Козманов Е.А., Мальцев В.В., Захаров А.В., Рисованный В.Д., Худяков А.А. Подтверждение проектного ресурса опытных стержней АЗ с рефабрицированным карбидом бора после эксплуатации в реакторе БН-600. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2005;1:133–138. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
20. Забродская С.В., Кочетков А.Л., Моисеев А.В., Семенов М.Ю., Хомяков Ю.С., Селезнев Е.Ф., Забегаев В.П., Карпенко А.И., Розенбаум Е.Л., Росляков В.Ф. Анализ остаточного тепловыделения ТВС БН-600. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2009;3:127–138. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/03.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
21. Забегаев В.П., Карпенко А.И., Розенбаум Е.Л. Опыт применения на БН-600 методов безмонтажной проверки и диагностики измерительных каналов системы внутриреакторного контроля температуры теплоносителя. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2009;2:46–52. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (дата обращения 20.06.2025).
22. Кузнецов А.А., Говоров П.П., Карпенко А.И. Контроль межконтурной плотности промежуточных теплообменников реактора БН-600. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2005;1:29–34. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (дата обращения 20.06.2025).

23. Tashlykov O.L., Sesekin A.N., Chentsov A.G., Chentsov A.A. Development of Methods for Route Optimization of Work in Inhomogeneous Radiation Fields to Minimize the Dose Load of Personnel. *Energies*. 2022;15(13):4788, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15134788>

24. Tashlykov O.L., Grigoryev A.M., Kropachev Y.A. Reducing the Exposure Dose by Optimizing the Route of Personnel Movement When Visiting Specified Points and Taking into Account the Avoidance of Obstacles. *Energies*. 2022;15(21):8222, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15218222>

Поступила в редакцию 10.07.2025

После доработки 11.08.2025

Принята к опубликованию 20.08.2025

### Авторы

Ташлыков Олег Леонидович, профессор кафедры «Атомные станции и ВИЭ», д.т.н.,  
E-mail: o.l.tashlykov@urfu.ru

Щеклеин Сергей Евгеньевич, зав. кафедрой «Атомные станции и ВИЭ», д.т.н.,  
E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Бельтюков Александр Иванович, доцент кафедры «Атомные станции и ВИЭ», к.т.н.,  
E-mail: beltukovai@gmail.com

Тучков Андрей Михайлович, заместитель главного инженера Белоярской АЭС, доцент  
кафедры «Атомные станции и ВИЭ», к.т.н.,  
E-mail: tuchkov@belnpp.ru

Филин Илья Александрович, заместитель главного инженера Белоярской АЭС,  
E-mail: filin@belnpp.ru

Полуяктов Сергей Александрович, заместитель главного инженера Белоярской АЭС,  
E-mail: polujaktov@belnpp.ru

Ошканов Николай Николаевич, профессор кафедры «Атомные станции и ВИЭ», к.т.н.,  
E-mail: nickolai.oshkanov@yandex.ru

Климова Виктория Андреевна, старший преподаватель кафедры «Атомные станции  
и ВИЭ»,  
E-mail: v.a.klimova@urfu.ru

UDC 621.039

### Features of University Training of Specialists in the Field of Nuclear Energy

**Tashlykov O.L.<sup>1</sup>, Shcheklein S.E.<sup>1</sup>, Bel'tyukov A.I.<sup>1</sup>, Tuchkov A.M.<sup>1,2</sup>, Filin I.A.<sup>2</sup>, Poluyaktov S.A.<sup>2</sup>,  
Oshkanov N.N.<sup>1</sup>, Klimova V.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ural Federal University,  
19 Mira St., 620062 Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Beloyarsk NPP,  
Post office box 149, 624250 Zarechny, Sverdlovsk reg., Russia

### Abstract

It is shown the role of nuclear power plants' specialists' participation in scientific research that contributes to increasing the efficiency of adoption of new reactor technologies using the example of fast sodium reactor BN-600. It is substantiated the significance of engineering and technical support for operation to ensure reliable and safe operation of Beloyarsk NPP power units due to a number of factors. For example, there is a need to

determine the scale factor when switching equipment from operation on experimental stands to work under real operating conditions. Another problem is in situations that require a quick solution to emerging issues when there is no possibility of prompt interaction with the Scientific Director and Chief Designer of the reactor plant or steam generator. Next, the basic measurements are conducted using a standard parameter control system, i.e. within the framework of existing errors and inertias of sensors, but there is the need to comply with all requirements of regulatory documents ensuring the safety of operation of the power unit when taking measurements.

The article emphasizes the need for specific training of students of science-intensive specialties, including skills in using the tools of mathematical analysis, conducting scientific research, performing experiments, and processing their results. The necessary conditions for the effective personnel training are considered using the example of the science intensive training program 14.05.02 'Nuclear Power Plants: Design, Operation and Engineering'. We summarize 13 years of experience in professional retraining of specialists from the Beloyarsk NPP and other enterprises and organizations of the Rosatom State Corporation, who have nonspecialized higher technical education, under the program 'Nuclear Power Plants and Installations', which facilitates the practical implementation of fast neutron reactor technologies with sodium coolant.

**Keywords:** technological leadership, innovative direction of nuclear power development, fast neutron reactor, personnel, science-intensive training, research work.

**For citation:** Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Bel'tyukov A.I., Tuchkov A.M., Filin I.A., Poluyaktov S.A., Oshkanov N.N., Klimova V.A. Features of University Training of Specialists in the Field of Nuclear Energy. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2025;3:237–251. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.3.16> (in Russian).

## References

1. Tashlykov O., Shcheklein S., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI century. *International journal of energy production and management*. 2016;1(2): 133–140. URL: <https://iieta.org/journals/ijepm/paper/10.2495/EQ-V1-N2-133-140> (accessed Jun. 20, 2025).
2. Tashlykov O., Shcheklein S., Sesekin A., Chentsov A., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological features of fast reactor nuclear power plants (NPPs) at all stages of their life cycle. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014;190(2):907–918. DOI: <https://doi.org/10.2495/EQ140852>
3. Ponomarev-Stepnoj N.N. Two-component nuclear power system with thermal and fast reactors in a closed nuclear fuel cycle. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2016, 160 p. (in Russian).
4. Bakirova N.V., Zolotova A.S. Beloyarsk NPP: XXI century. Yekaterinburg, Socrat LLC, 2024, 184 p. ISBN 978-5-6050097-9-5 (in Russian).
5. Tashlykov O.L., Sesekin A.N., Klimova V.A., Mahmoud K.A. Optimization of the route of the refueling machine to reduce the refueling time: Case study of the BN-800 reactor. *Nuclear Engineering and Design*. 2025;431:113725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113725>
6. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Titov G.P., Nosov D.A., Tuchkov A.M. Methods for using computer training facilities in studies of special disciplines. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2016;3:63–72. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2016.3.07> (in Russian).
7. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E. Experience of 'via science' personnel training for nuclear industry at the Ural Federal University. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2024;4:202–218. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.4.17> (in Russian).
8. Sheinkman A.G., Karpenko A.I., Lyzhin A.A. Investigation of the thermohydraulic characteristics of the BN-600 reactor at the Beloyarsk nuclear plant. *Atomnaya energiya*.

1987;62(6):375–379. URL: [https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya\\_t62-6\\_1987/p375/](https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t62-6_1987/p375/) (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

9. Matveev V.I., Chernyi V.A., Ivanov A.P., Kazanskii Y.A., Babenko G.V., Karpenko A.I., Roslyakov V.F., Vasil'Ev B.A., Farakshin M.R. Main stages of physical startup of BN-600 and comparison of the measured and nominal characteristics. *Atomic Energy*. 2010;108(4):315–320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-010-9295-y>

10. Blinov Yu.A., Karpenko A.I., Tuchkov A.M. Measurement of BN-600 control rod elements efficiency by the relative weighing method. *Atomic Energy*. 1993;74(6):495–498. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00739172>

11. Govorov P.P. Improvement of the BN-600 power unit sodium steam generator transients. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2005;1:103–107. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

12. Govorov P.P. Raising the operational reliability of the steam generator of a BN-600 power unit in starting regimes. *Thermal Engineering*. 2006;53(9):733–736. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0040601506090114> (accessed Jun. 20, 2025).

13. Kuznetsov A.A., Govorov P.P., Nosov Yu.V., Karavaev A.P. Methodology of the location of the failed stage during the development of the water-sodium reaction in the modular steam generator named PGN-200M. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2009;2:53–60. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

14. Beltyukov A.I., Govorov P.P., Karpenko A.I. Determination of the allowable limits of the steam superheating downstream the evaporators under the sodium steam generator operating conditions. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2005;1:95–102. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

15. Telichko M.T., Govorov P.P., Pomortsev I.S. Development of the system of the digital recording of the BN-600 reactor secondary sodium pump speed. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2009;2:162–166. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

16. Badanin E.Yu., Govorov P.P., Drozdenko V.A. Features of the vibration conditions of the pumping units of the primary sodium pumps of the BN-600 power unit under the conditions of two-loop operation. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2009;2:136–139. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

17. Maltsev V.V., Karpenko A.I., Chernov I.A., Golovin V.V. The experience of  $^{60}\text{Co}$  production in BN-600. *Atomic Energy*. 1999;86(3):219–221. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02672950>

18. Karpenko A.I., Rozenbaum E.L., Zabegaev V.P. Research into BN600 reactor irradiated fuel decay heat released in the irradiated fuel cooling pond. *Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy. Yadernaya Energetika*. 2005;1:70–77. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

19. Karpenko A.I., Kozmanov E.A., Maltsev V.V., Zakharov A.V., Risovany V.D., Khudyakov A.A. Confirmation of the design lifetime of the test safety rods manufactured of refabricated boron carbide after operation in the BN600 reactor. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2005;1:133–138. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

20. Zabrodskaya S.V., Kochetkov A.L., Moiseev A.V., Semenov M.Yu., Khomyakov Yu.S., Seleznev E.F., Zabegaev V.P., Karpenko A.I., Rozenbaum E.L., Rosliakov V.F. Analysis of decay heat at BN-600 assemblies. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2009;3:127–138. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/03.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

21. Zabegaev V.P., Karpenko A.I., Rozenbaum E.L. Experience of utilization at BN-600 of the methods of the check and failure diagnosis of the measurement circuits of the in-reactor

coolant temperature monitoring without their dismantling. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2009;2:46–52. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/02.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

22. Kuznetsov A.A., Govorov P.P., Karpenko A.I. Secondary-to-primary sodium leak detection in the BN600 reactor IHX'S. *Izvestia vuzov. Yadernaya Energetika*. 2005;1:29–34. URL: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2005/01.pdf> (accessed Jun. 20, 2025) (in Russian).

23. Tashlykov O.L., Sesekin A.N., Chentsov A.G., Chentsov A.A. Development of Methods for Route Optimization of Work in Inhomogeneous Radiation Fields to Minimize the Dose Load of Personnel. *Energies*. 2022;15(13):4788, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15134788>

24. Tashlykov O.L., Grigoryev A.M., Kropachev Y.A. Reducing the Exposure Dose by Optimizing the Route of Personnel Movement When Visiting Specified Points and Taking into Account the Avoidance of Obstacles. *Energies*. 2022;15(21):8222, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15218222>

## Authors

Oleg L. Tashlykov, Professor of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: [o.l.tashlykov@urfu.ru](mailto:o.l.tashlykov@urfu.ru)

Sergei E. Shcheklein, Head of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: [s.e.shcheklein@urfu.ru](mailto:s.e.shcheklein@urfu.ru)

Aleksandr I. Bel'tyukov, Associate Professor of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: [beltukovai@gmail.com](mailto:beltukovai@gmail.com)

Andrey M. Tuchkov, Deputy Chief Engineer of Beloyarsk NPP, Associate Professor of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: [tuchkov@belnpp.ru](mailto:tuchkov@belnpp.ru)

Ilya A. Filin, Deputy Chief Engineer of Beloyarsk NPP,

E-mail: [filin@belnpp.ru](mailto:filin@belnpp.ru)

Sergey A. Poluyaktov, Deputy Chief Engineer of Beloyarsk NPP,

E-mail: [polujaktov@belnpp.ru](mailto:polujaktov@belnpp.ru)

Nikolay N. Oshkanov, Professor of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: [nickolai.oshkanov@yandex.ru](mailto:nickolai.oshkanov@yandex.ru)

Viktoriiia A. Klimova, Senior Lecturer of the Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources Department,

E-mail: [v.a.klimova@urfu.ru](mailto:v.a.klimova@urfu.ru)