

УДК 697.34(075.8)

*Ю.С. Васильев, Н.Т. Амосов*

## **АТОМНЫЕ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

*Yu.S. Vasiliev, N.T. Amosov*

### **LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANTS**

Анализ результатов работы международной конференции по проблеме развития атомных станций малой мощности для энергообеспечения удаленных малонаселенных районов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока.

АТОМНЫЕ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ; ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ; ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ; ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС; ЭНЕРГОБЛОК; РЕАКТОРНАЯ УСТАНОВКА; ЯДЕРНАЯ ПАРПРОИЗВОДЯЩАЯ УСТАНОВКА.

Analysis of the results of an international conference on the development of nuclear power station is for energy supply remote sparsely populated areas of the Far North, Siberia, and Far East.

LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANTS; ENERGY SUPPLY; NUCLEAR POWER TECHNOLOGIES; DESALINATION COMPLEX; POWER GENERATION UNIT; REACTOR PLANT; NUCLEAR STEAM SUPPLY SYSTEM.

Международная конференция по развитию атомных источников энергии (мощности) проходила в Москве в Президентском зале Главного здания Президиума РАН в период с 3 по 5 декабря 2013 года под председательством академика РАН А.А. Саркисова.

В работе конференции приняли участие представители многих стран и организаций. Были заслушаны доклады сотрудников Министерства энергетики США, Агентства по ядерной энергии ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития), Национального агентства по атомной энергии Индонезии, Дирекции по строительству военных кораблей (DCNS) Франции, Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

С российской стороны в работе международной конференции приняли участие представители следующих организаций: Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), ОАО «Концерн Рос-

энергоатом», ОКБМ «Африкантов», ОАО «Атом-энергопроект», Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Института энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН), НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «Крыловский научный центр», ЗАО «ЦКБ «ОСК — Айсберг», ЗАО «Атомэнерго», ОАО «Ижорские заводы», Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ), ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургского государственного политехнического университета», МГТУ имени Н.Э. Баумана, ОАО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежалея» и ряда других.

Открывая работу конференции, академик А.А. Саркисов отметил, что около двух третей территории России находятся вне зоны централизованного энергообеспечения. Это, главным образом, удаленные малонаселенные районы, но именно они представляют особую стратегическую ценность из-за большого содержания в их недрах полезных ископаемых.

Характерный пример — Сибирь, которая составляет 57 % территории России, а по численности и плотности населения, а также по природным условиям очень близка к Канаде.

На территории Сибири проживает только 15 % населения России, причем максимальная концентрация трудовых ресурсов — в районе Транссибирской железнодорожной магистрали. Однако северная, наиболее холодная и малонаселенная часть Сибири таит в себе огромные природные ресурсы. Именно здесь, в этом слабо освоенном регионе добывают более 90 % газа, сосредоточены 70 % запасов российской нефти, большие запасы цветных, редких металлов, химического сырья, половина запасов древесины.

Удаленные труднодоступные регионы Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, где сконцентрированы основные национальные запасы углеводородов и других полезных ископаемых, расположены в зоне автономной электроэнергетики. Многочисленные действующие маломощные, устаревшие котельные, дизельные и мазутные энергоустановки находятся в ведении местных властей, отдельных предприятий, в том числе частных. При реализации процедуры северного завоза их эксплуатация сопряжена со значительными организационными и финансовыми трудностями по доставке топлива и запасных частей, с возрастающими затратами на закупку топлива и его транспортировку в условиях бездорожья и короткой навигации в Сибири.

Одним из возможных путей решения этой проблемы могло бы стать широкое внедрение атомных станций малой мощности (АСММ) — плавучих, транспортабельных и стационарных. При этом наиболее перспективными проектами представляются серийно изготавливаемые компактные мобильные атомные энергоблоки, модули для которых в полной заводской готовности доставляются к месту дислокации, монтируются и работают без перегрузки активных зон до 20–30 лет, а затем возвращаются на предприятие-изготовитель.

Для удаленных регионов с учетом трудоемкого и дорогостоящего северного завоза АСММ могут стать основой энергоснабжения как для промышленного развития, так и для поддержания социальной сферы.

Оценка возможности использования атомных источников энергии малой мощности в том

или ином конкретном регионе должна производиться на основе всестороннего анализа проблем, связанных с их эксплуатацией.

Первоначально необходимо исходя из их экономического состояния и перспектив развития регионов произвести оценку их потребности в АСММ. Затем на основе сравнительного анализа конкурентоспособности определить источники, применение которых наиболее целесообразно для тех или иных потребителей энергии. Только в результате такого анализа будут определены место, роль и объем использования атомных источников энергии малой мощности для отдаленных регионов.

Определенная «конкуренция» существует и среди типов атомных источников энергии, которая также должна рассматриваться в зависимости от конкретных условий. Выбор того или иного типа атомного источника энергии малой мощности должен быть однозначно обоснован с точки зрения экономической эффективности, ядерной и экологической безопасности, а также других определяющих факторов.

Кроме того, использование атомных источников энергии малой мощности связано с необходимостью решения целого ряда проблем, связанных с нераспространением ядерных материалов, обеспечением ядерной и радиационной безопасности, подготовкой персонала, развитием специальной нормативно-правовой базы и др.

В заключение своего выступления академик Саркисов отметил, что, несмотря на огромный экономический потенциал и стратегическое значение для развития страны Сибири, северных и восточных территорий, в Российской Федерации отсутствует единая программа энергоснабжения регионов, не обеспеченных централизованным энергоснабжением.

Разработка единой концепции и программы энергообеспечения этих регионов — одна из наиболее приоритетных задач современного этапа развития отечественной энергетики.

Один из проектов по использованию АСММ — это проект ПАТЭС (Плавучая атомная тепловая электростанция), который с 2007 года реализует ОАО «Концерн Росэнергоатом». О проблемах и перспективах строительства плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) мощностью 70 МВт с реакторными установками

КЛТ-40С поделился в своем докладе представитель Дирекции строящихся плавучих атомных теплоэлектростанций (филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом») М.В. Шурочков.

ПАТЭС — это энергоисточник, который создается на базе российских технологий атомного судостроения и предназначен для надежного круглогодичного энергоснабжения районов Арктики и Дальнего Востока России, а также других изолированных, топливодефицитных районов в России и за рубежом

Спроектированный с учетом современных российских и международных требований безопасности плавучий энергетический блок имеет на борту две реакторные установки КЛТ-40С. Прототипы этих реакторов успешно эксплуатировались на атомных ледоколах «Таймыр» и «Вайгач» и лихтеровозе «Севморпуть».

Реакторы КЛТ-40С оснащены современными системами безопасности, в том числе основанными на пассивных (то есть, не зависящих от участия человека и автоматики) принципах срабатывания. Суммарная электрическая мощность двух установок составляет 70 МВт электрической и 50 Гкал/час тепловой мощности.

В процессе эксплуатации предусматриваются три средних ремонта через каждые 12 лет, на время которых плавэнергоблок будет уходить на докование, замену выработавшего свой ресурс оборудования и перегрузку топлива. Общий срок эксплуатации плавэнергоблока составит 36 лет (без учета времени на ремонтное обслуживание и транспортировку).

Все операции с ядерным топливом и радиоактивными отходами осуществляются на плавучем энергоблоке. По окончании эксплуатации ПЭБ будет транспортирован на судоремонтный завод, специализирующийся на ремонте и утилизации кораблей и судов с АЭУ. Береговые сооружения могут использоваться в составе ПАТЭС с новым ПЭБ, переоборудоваться по другому назначению или утилизироваться до состояния «зеленой лужайки».

Строительство головного плавучего энергоблока проекта 20870 ведется на ООО «Балтийский завод — Судостроение» (г. Санкт-Петербург) с 2009 года.

В настоящее время ПЭБ находится на достроечной набережной завода. На нем уже установлены реакторные и паротурбинные установ-

ки, завершаются корпусные работы, ведется монтаж электротехнического оборудования и общесудовых систем. Пусконаладочные работы и проведение испытаний ПЭБ запланированы на 2016 год.

Общая техническая готовность ПЭБ составляет 75%. Пунктом размещения головной станции выбран г. Певек Чукотского АО. После получения положительного заключения ФГУ «Главгосэкспертиза России» на проектную документацию ПАТЭС в г. Певеке в 2014 году начнутся работы по строительству береговых и гидротехнических сооружений, а также энергосетей на площадке размещения станции. Ввод в эксплуатацию запланирован в 2018 году.

В докладе представителя НИЦ «Курчатовский институт» Т. Д. Щепетиной рассматривались вопросы влияния малых АЭС на гармонизацию топливно-энергетического комплекса страны. Было отмечено, что исследование вопросов энергетической безопасности свидетельствует о сокращении возможностей по добыче нефти и газа. Однако существуют большие запасы неконвенционной нефти (тяжелая нефть, остающаяся в скважинах, а также различные битуминозные пески — сланцы). Кроме того, разведаны большие запасы углеводородного сырья в северных морях, однако выход в эти новые районы добычи сопряжен со значительными материальными затратами. К тому же, без эффективных стартовых источников энергии их освоение невозможно. Инерционность топливно-энергетических отраслей и сложившиеся традиции потребления побуждают направить усилия на сохранение сложившейся инфраструктуры использования нефтегазового топлива, в частности для транспорта, на ближайшую и среднесрочную перспективу.

В этом контексте следует рассмотреть гармонизирующую роль атомной энергетики применительно к использованию АСММ для поддержания добывающих отраслей. Например, затраты газа на собственные технологические нужды при транспорте и сжижении достигают 30–40%; их можно уменьшить, переложив энергозатраты на АСММ.

Низкие темпы прироста разведанных запасов нефти при коэффициенте извлечения 0,3–0,35 ведут к падающей добыче. Но в освоенных местах добычи есть сложившаяся инфраструк-

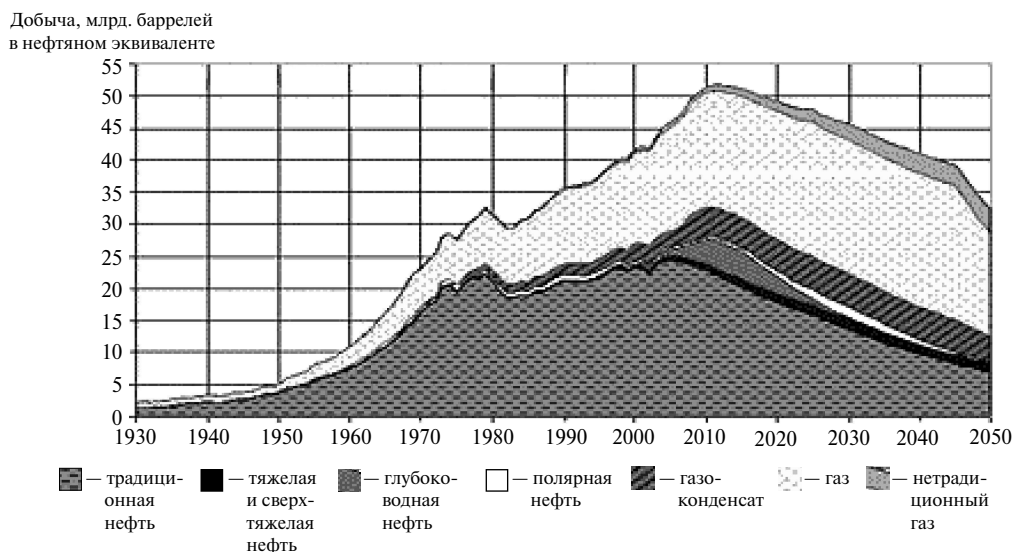


Рис. Прогноз добычи нефти и природного газа на основе данных о запасах на 2006 год

тура и поселки, которые станут ненужными при прекращении добычи (при этом в недрах останется 65–70 % запасов трудноизвлекаемой тяжелой нефти).

Существуют тепловые методы интенсификации добычи, которые можно осуществить с помощью тепловой энергии от АСММ, продлив тем самым срок активной жизни месторождений со всей инфраструктурой. Транспортировка такого сырья также проблематична, поэтому целесообразно организовать на месте переработку неконвенционных видов нефти в легкие нефтепродукты и моторные топлива с помощью энергии АСММ и получаемого на месте водорода.

Реализация такого высокотехнологичного производственного кластера более эффективна, чем высокочрезвычайное освоение нового месторождения. Такой подход к продлению жизни уже освоенных месторождений благодаря интенсификации добычи и расширению деятельности за счет переработки на месте даст толчок к практической реализации проектов АСММ.

Созданию морских атомных водоопреснительных комплексов, использующих энергетические модули с реакторными установками, посвятил свой доклад представитель ЗАО «Атомэнерго» В.В. Рыжков. В докладе анализировались возможности решения проблемы дефицита пресной воды путем создания сети морских водоопреснительных комплексов большой производительности, которые бы использовали

в качестве источника энергии модули с ядерными энергетическими установками.

Рассматривались два варианта реализации опреснительных комплексов производительностью около 1 000 000 м<sup>3</sup>/сутки и около 250 000–300 000 м<sup>3</sup>/сутки на основе реакторных установок РИТМ-200М.

Составные части морских водоопреснительных комплексов: атомные энергетические модули, блоки опреснителей, заводы по выработке морской соли, жидкого хлора и др., хозяйственно-бытовые блоки, системы выдачи пресной питьевой воды на берег и на суда-продуктовозы, резервуары для накопления пресной питьевой воды, помещения для размещения энергетических модулей и блоков опреснителей.

Одно из предложений — использовать плавающий энергетический модуль, включающий две реакторные установки РИТМ-200М с водо-водяным реактором и паротурбинную установку с двумя турбинами и электрогенераторами.

Также была произведена оценка методов опреснения воды и рассмотрена поэтапная реализация проекта создания пилотного образца морского опреснительного комплекса.

В докладе О.Г. Комлева, представителя ОАО «АКМЭ-инжиниринг», были представлены результаты оценки возможности разработки на примере безопасной реакторной установки малой мощности, которая носит название «свинцово-висмутовый быстрый реактор СВБР-100».

Возможность использования подобной реакторной установки для энергоснабжения регионов, не обеспеченных централизованным энергоснабжением, опирается на критически осмысленный уникальный опыт разработки и эксплуатации реакторов с тяжелым жидкотеплоносителем (ТЖМТ) «свинец — висмут» на российских транспортных установках (15 реакторов, 80 реакторо-лет) и на опыт эксплуатации быстрых реакторов с натриевым теплоносителем.

Низкие по сравнению с натрием теплопередающие свойства свинцово-висмутового теплоносителя (СВТ) не позволяют получить достаточно высокую энергонапряженность активной зоны и короткое время удвоения плутония даже при коэффициенте воспроизводства, заметно превышающем единицу. В то же время природные свойства ТЖМТ дают возможность значительно упростить и удешевить реакторную установку. Именно поэтому предлагаемая инновационная ЯЭТ позволяет устранить конфликт между требованиями экономики и безопасности.

Важной отличительной особенностью рассматриваемой ЯЭТ является использование реакторов малой мощности — около 100 МВт (э) в качестве функционально законченных парогенерирующих модулей, на основе которых могут создаваться ядерные энергоблоки различного назначения любой необходимой мощности, кратной 100 МВт (э).

Такой нетрадиционный подход к формированию ЯППУ энергоблока — наиболее экономически эффективен, если РУ обладает развитыми свойствами внутренней самозащищенности и пассивной безопасности. Реакторная установка (РУ) СВБР-100 разработана как унифицированная реакторная установка с мощностью около 100 МВт (э) для многоцелевого применения в составе модульных атомных станций или в качестве автономных энергоисточников.

При использовании технологии СВБР для региональной энергетики нужно иметь в виду следующие их характерные особенности:

реактор работает на быстрых нейтронах с химически инертным СВТ — эвтектическим сплавом «свинец — висмут» — в первом контуре. Температура кипения СВТ — 1670 °С, температура плавления — 123,5 °С;

интегральная компоновка реактора предполагает, что все оборудование первого контура размещено в едином прочном корпусе реакторного моноблока с полным исключением арматуры и трубопроводов СВТ;

реакторный моноблок имеет защитный кожух и размещен в железобетонной шахте, которая заполняется водой при полном обесточивании для пассивного отвода тепла при расхолаживании РУ;

реактор имеет двухконтурную схему теплоотвода и парогенератор (ПГ) с многократной естественной циркуляцией по второму контуру;

в теплоотводящих контурах реакторного моноблока обеспечена естественная циркуляция теплоносителей, достаточная для пассивного расхолаживания реактора без опасного перегрева активной зоны;

значительно сокращено количество специальных систем безопасности, при этом функции безопасности выполняют системы нормальной эксплуатации;

основные компоненты реакторного моноблока и реакторной установки выполнены в виде отдельных модулей, при этом обеспечена возможность их замены и ремонта;

предусмотрена единовременная покассетная выгрузка топлива по окончании кампании активной зоны и загрузка свежего топлива в виде единого картриджа (новая активная зона);

ремонт оборудования первого контура и перегрузка топлива могут проводиться без дренирования СВТ при поддержании его в жидком состоянии за счет остаточного энерговыделения активной зоны или работы системы обогрева.

Инновационная ядерная энергетическая технология на базе унифицированных модульных многоцелевых реакторов с химически инертным свинцово-висмутовым теплоносителем позволит обеспечить высокий уровень социальной приемлемости таких реакторов и расширить область их применения в ядерной энергетике.

Модульная структура ЯППУ создает возможность перехода на прогрессивные технологии типового проектирования энергоблоков различной мощности. Необходимо создавать блоки на базе серийно изготавливаемых в заводских условиях унифицированных реакторных модулей и ориентироваться на поточные методы выполнения строительно-монтажных

работ. Это позволит значительно сократить сроки строительства атомных станций, а также перейти к техническому обслуживанию реакторных модулей на сервисной основе для снижения численности эксплуатационного персонала и соответствующих затрат.

Консервативный подход, принятый при разработке реакторной установки, предопределил высокий потенциал ее дальнейшего совершенствования. К перспективным разработкам можно отнести: повышение температуры оболочки ТВЭЛ, переход на прямоточный парогенератор, использование нитридного топлива и др.

Реализация намеченных мер требует выполнения соответствующих НИОКР. Однако ожидаемые результаты исследовательских работ позволят снизить удельные капитальные затраты на строительство модульной атомной станции и сроки строительства до значений, характерных для парогазовых ТЭС. Это повысит ее конкурентоспособность на рынке инвестиций и будет при широком внедрении такой ядерной энерготехнологии сдерживать рост цен на электроэнергию.

Федеральная целевая программа «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года» предусматривает создание головного опытно-промышленного энергоблока с реакторной установкой типа СВБР-100. Затраты на демонстрацию этой ЯЭТ носят однократный характер, так как на базе испытанного унифицированного реакторного модуля могут создаваться ядерные энергоблоки различной мощности и назначения без проведения дополнительных НИОКР.

Для реализации этой технологии Росатом и ООО «ЕвроСибЭнерго» создали совместное государственно-частное предприятие ОАО «АКМЭ-инжиниринг».

Опытно-промышленный энергоблок с реактором СВБР-100 предположительно должен быть введен в эксплуатацию в 2017 году.

В докладе, в котором оценивались границы эффективности технико-экономических параметров атомных станций малой мощности, Д.О. Смоленцев, представитель ИБРАЭ РАН, привел результаты анализа использования энергоустановок малой мощности для децентрализованного энергоснабжения.

Обеспечение электроэнергией регионов, не входящих в единую энергосистему (ЕЭС) страны, сегодня составляет большую проблему, которая требует наискорейшего решения. На смену отработавшим эксплуатационный срок электростанциям должны прийти новые, более совершенные в экономическом и техническом плане энергоустановки.

В основном обеспечение энергоресурсами районов, не входящих в ЕЭС, происходит путем завоза топлива из соседних регионов. Ежегодно на осуществление процедуры северного завоза из областных и федеральных бюджетов выделяют сотни миллионов рублей. В Якутии доля транспортной составляющей в стоимости топливно-энергетических ресурсов доходит до 70–80 %, что увеличивает стоимость и без того дорогостоящего сырья в два-четыре раза, сюда же следует отнести затраты на долгосрочное хранение топлива. Снизить зависимость регионов от завозных энергоресурсов — также первоочередная задача.

Одним из наиболее ярких примеров региона с децентрализованной энергосистемой в силу его протяженности и удаленности друг от друга потребителей является Республика Саха (Якутия). Об этом свидетельствует «Программа оптимизации локальной энергетики Республики Саха на 2008–2013 годы». В ней отражены все упомянутые проблемы. Основные цели плана мероприятий программы:

- доведение к 2015 году среднеотпускного тарифа на электроэнергию в Якутии до среднероссийского уровня;

- создание технологических предпосылок по снижению затрат на завоз и использование дизельного топлива в электроэнергетике;

- замещение локальной дизельной генерации централизованными энергоисточниками за счет строительства линий электропередач.

Большинство проводимых оценок было ориентировано на сравнение современных и устаревших в моральном и техническом плане технологий. Очевидно, что новые технологии на фоне традиционных выглядят сверхэффективными и сверхвыгодными. Поэтому текущие исследования подтверждают необходимость замены, однако пути решения проблемы неоднозначны.

Из-за сильных географических и социально-экономических различий районов задача о вы-

боре энергетической альтернативы должна решаться для каждой площадки индивидуально с учетом всей описанной специфики.

Исследования, проводимые в рамках данной тематики, направлены на создание и отладку методики сравнительной экономической оценки, выявление критических характеристик энергоустановок. Создание и анализ инвестиционных моделей, отражающих особенности перспективных энергоустановок, поможет дать ответ на вопрос, какая из существующих альтернатив при прочих равных условиях наиболее приемлема для рассматриваемого района, не входящего в ЕЭС.

В качестве альтернативных источников энергии для расчета экономической эффективности и последующей сравнительной оценки были выбраны: атомная станция малой мощности, конденсационная электростанция (КЭС), работающая на угле, и ветро-дизельный комплекс (ВДЭК).

В качестве топлива, используемого КЭС, был выбран уголь — из-за его стабильной цены по сравнению с нефтепродуктами, локальной распространенности и в связи с неоднократным упоминанием в федеральных программах о необходимости увеличения доли угля в энергобалансе страны.

Результаты расчета экономической эффективности показали, что на данном этапе развития ветроэнергетики она не может конкурировать с представителями традиционной энергетики.

Что касается КЭС, то ее показатели сильно зависят от стоимости топлива (уголь). АСММ становится сравнимой по экономической привлекательности с проектом КЭС при цене на уголь от 4000 руб./т условного топлива.

Кроме того, необходимо отметить, что проект КЭС окупается быстрее, чем АСММ, что связано с высокими капиталовложениями в атомной энергетике. Но для проекта КЭС чистый дисконтированный доход накапливается более медленными темпами из-за большой топливной составляющей в эксплуатационных затратах, которая зависит от базовой стоимости топлива.

Определение зон экономически целесообразного применения АСММ обусловлено их сравнительной оценкой с прочими альтерна-

тивами в части себестоимости вырабатываемой продукции при обеспечении равного энергетического эффекта в целевых регионах использования. Следовательно, прогнозируемая стоимость электроэнергии в зонах централизованного энергоснабжения и в локальных системах, а также электроэнергии, вырабатываемой отдельными генерирующими установками, влияет на технико-экономические характеристики АСММ, которые определяют эффективность использования атомной генерации.

Кроме того, в докладе были приведены результаты чувствительности показателей экономической эффективности АСММ к технико-экономическим характеристикам. Представлены интервалы и пороговые значения технико-экономических характеристик АСММ, при которых они конкурентоспособны по сравнению с прочими энергетическими альтернативами в целевых регионах использования.

В рамках основной тематики конференции были заслушаны доклады по проблемам, связанным с такими вопросами, как оценка рисков атомно-энергетических проектов, ответственность за ядерный ущерб при строительстве и эксплуатации АСММ, страхование гражданской ответственности за ядерные риски, особенности физической защиты транспортабельных атомных энергетических установок, кадровое обеспечение транспортабельных атомных энергетических установок и ряд других.

В заключительном слове академик А.А. Саркисов выразил общее мнение участников конференции о перспективности дальнейших работ по развитию атомных энергетических установок малой мощности и АСММ, а также выразил благодарность участникам конференции за продуктивную работу.

Работа конференции позволила оценить возможность решения проблемы развития атомных станций малой мощности с различных точек зрения и в то же время поставила новые задачи перед учеными Академии наук, научно-исследовательскими институтами, высших учебных заведений и проектными институтами.

Очевидно, что назрела необходимость концентрации общих усилий и создания кластера организаций, работающих над этой проблемой. Такая мобилизация сил позволит разработать

стратегию и сосредоточить внимание на решении первоочередных вопросов, что значительно ускорит внедрение АСММ в удаленных малонаселенных районах Крайнего Севера и Дальнего Востока.

Хотелось бы выразить пожелание ученым Санкт-Петербургского политехнического университета активнее подключаться к работе над этой интересной и перспективной крупномасштабной задачей.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ВАСИЛЬЕВ Юрий Сергеевич** — доктор технических наук профессор, президент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, академик РАН; 195251, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: president@spbstu.ru

**АМОСОВ Николай Тимофеевич** — кандидат технических наук профессор кафедры атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: nwp\_amossov@mail.ru

#### AUTHORS

**VASILIEV Yuriy S.** — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Polytechnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: president@spbstu.ru

**AMOSOV Nikolay T.** — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Polytechnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: nwp\_amossov@mail.ru