

УДК 620.98

Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов, С.А. Гусак

Реакторные установки для энергоснабжения удаленных и труднодоступных регионов: проблема выбора

N.N. Melnikov, V.P. Konukhin, V.A. Naumov, S.A. Gusak

Reactor units for power supply of remote and inaccessible regions: Selection issue

Аннотация. Кратко представлено состояние проблемы энергоснабжения удаленных и труднодоступных регионов России. Применительно к проблеме энергоснабжения при освоении месторождений полезных ископаемых в Чукотском автономном округе, Якутии и Иркутской области рассмотрены реакторные установки различных типов и установленной электрической мощности. На основе анализа различных сценарных условий экономического развития данных регионов выполнена предварительная оценка возможных вариантов использования атомных станций малой мощности в различных секторах энергопотребления.

Abstract. The paper briefly presents the problem aspects on power supply for the remote and inaccessible regions of Russia. Reactor units of different type and installed electric capacity have been considered in relation to the issue of power supply during mineral deposit development in the Chukotka autonomous region, Yakutia and Irkutsk region. Some preliminary assessment of the possible options for use of small nuclear power plants in various sectors of energy consumption have been carried out based on the analysis of different scenarios for economic development of the regions considered.

Ключевые слова: атомные станции малой мощности, реакторные установки, энергоснабжение, удаленные и труднодоступные регионы

Key words: small nuclear power plants, reactor units, power supply, remote and inaccessible regions

1. Введение

Труднодоступные регионы Арктики, Сибири и Дальнего Востока, где сконцентрированы основные национальные ресурсы полезных ископаемых России, испытывают острый недостаток энергии для своего развития. Несмотря на исключительную привлекательность уникальных месторождений золота, цветных и редкоземельных металлов, практическое отсутствие или слабо развитая энергетическая инфраструктура является одной из главных причин, по которым перспективные проекты освоения этих месторождений до сих пор остаются нереализованными.

Актуальность проблемы, связанной с отсутствием или недостаточным развитием энергетической инфраструктурой в этих регионах, подчеркивается в Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. Характеризуя состояние экономики Арктической зоны, этот документ среди рисков и угроз отмечает износ основных фондов энергетической инфраструктуры, высокую энергоемкость добычи природных ресурсов, неразвитость энергетической системы, нерациональную структуру генерирующих мощностей, высокую себестоимость генерации и транспортировки электроэнергии (*Стратегия...*, 2013). Именно поэтому создание альтернативных источников энергии и модернизация энергетической инфраструктуры в арктических регионах страны рассматривается в качестве одной из приоритетных задач, решение которых направлено на достижение главных целей государственной политики Российской Федерации в Арктике.

В условиях экстремальных природно-климатических условий Арктики в особой степени проявляется актуальность проблемы энергетической безопасности удаленных и труднодоступных территорий, которая не может быть в полной мере обеспечена на основе централизованного энергоснабжения. В этих условиях в решении задачи надежного энергоснабжения объектов социального, промышленного и военно-стратегического назначения решающая роль принадлежит локальным и местным энергосистемам, в основе которых лежит использование малой энергетики. Автономные энергоисточники для объектов малой мощности должны обеспечивать их потребности в энергии в полном объеме в режиме нормального функционирования и в минимально гарантированном – в критических и чрезвычайных ситуациях. Для таких объектов все аспекты обеспечения энергетической безопасности (наличие на рынке, цена, качество, способ транспортировки, создание запасов топлива; технико-экономические характеристики, ресурс, состояние энергетического оборудования, возможность его замены и модернизации и т.п.) имеют значение не меньшее, чем для объектов большой энергетики.

Из анализа современной российской экономической и энергетической ситуации следует, что реально выполнимым решением проблемы энергообеспечения в труднодоступных регионах является использование автономных источников – атомных станций малой мощности (АСММ) стационарного или транспортабельного типа с заводским изготовлением энергоблоков малых мощностей. Такой вывод проистекает из совокупности фактов роста чрезвычайных ситуаций в периферийных энергосистемах (т.е. назревшей необходимости усиления звена автономных энергоисточников малой мощности) и гораздо большей вероятности сконцентрировать средства именно малыми порциями и с меньшим риском для их реализации (Алексеев и др., 2011). Вовлечение АСММ в местную и локальную энергетику может существенно улучшить перспективы этого сектора энергетики, в том числе в топливной структуре за счет сокращения потребления мазута и угля в производстве тепловой и электрической энергии.

Говоря о перспективах использования ядерных энергоисточников малой мощности в составе локальных и местных энергокомплексов, следует отметить, что определяющим фактором в решении проблемы развития данного сектора энергетики является реальная потребность в таких малых энергоисточниках, которая в свою очередь определяется с учетом экономического состояния и перспектив развития регионов (Саркисов, 2011б).

В настоящей статье рассматриваются некоторые аспекты проблемы выбора реакторных установок для энергоснабжения удаленных и труднодоступных регионов на примере трех месторождений полезных ископаемых: Томторское месторождение ниобий – редкоземельных руд (Якутия), медно-порфировое месторождение Песчанка (Чукотский автономный округ), золоторудное месторождение Сухой Лог (Иркутская область).

2. Реакторные установки малой мощности

В разработке ядерных энергоисточников малой мощности Россия имеет очевидный приоритет, связанный с опытом создания реакторных установок (РУ) для военного и гражданского атомных флотов, а также с разработкой новых ядерных технологий, в частности реакторов на промежуточных нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Уже к началу 1990-х гг. в нашей стране насчитывалось более сорока в различной степени проработанных отечественных проектов РУ малой мощности. И в настоящее время в ряде научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро на основе опыта атомного судостроения разработаны и находятся в разной стадии готовности к практической реализации несколько вариантов РУ различных типов и компоновок (Саркисов, 2011а; 2011б).

Многолетний опыт работ по проектированию атомных станций малой мощности подтверждает, что органически присущая судовым реакторным установкам компактность открывает возможности для существенного сокращения капитальных затрат в условиях стационарной энергетики. Немаловажно и то, что технология атомного судостроения дает возможность организации серийного производства энергоблоков на основе использования унифицированного оборудования, агрегатов и компонентов. Проработки последних лет показали возможность создания на базе освоенных технических решений и технологий транспортных реакторов нового класса атомных источников – наземных и плавучих энергоблоков в широком диапазоне малой мощности: от 3 до 300 МВт.

Вместе с тем, проводившиеся на протяжении последних 20-25 лет многочисленные разработки РУ для малой энергетики так и не продвинули распространение ядерных источников в этот, казалось бы, очевидный сектор энергопотребления. На основе анализа такого развития событий специалистами делается вывод, что основные причины лежат не в сфере проектных решений, а в области планирования, организации инфраструктуры, эксплуатации и обслуживания, ответственности и владения реакторными установками (Кривицкий, 2005; Кузнецов, 2011). Так, в частности, имея массу разработок различных РУ в широком диапазоне мощностей, атомная отрасль не смогла сконцентрировать усилия и ресурсы на доведении части из них до лицензирования, что дало бы возможность выхода с коммерческими предложениями по сооружению АСММ. На начало 2014 г. из числа перспективных РУ лицензию Госатомнадзора получила только установка КЛТ-40С для плавучей атомной станции.

Сложности с практической реализацией проектов были обусловлены также и тем, что разработчики РУ исходили из своих соображений (возможностей), не увязывая их с реальными потребностями со стороны энергопотребителей. Налицо было два принципиально противоположных подхода к определению параметров АСММ. Что первично? Параметры РУ или запросы потребителя, который должен стать заказчиком атомной станции? (Кривицкий, 2005).

Задача практической реализации проектов АСММ является комплексной проблемой, которая связана с решением научных, инженерно-технических, материально-финансовых, нормативно-правовых и социально-экономических вопросов. В последние годы обсуждению этих проблемных вопросов были посвящены научно-техническая конференция "Перспективы развития системы атомных станций малой мощности в регионах, не имеющих централизованного электроснабжения" (2010 г.) и международная конференция "Атомные станции малой мощности – актуальное направление атомной энергетики" (2013 г.).

В частности, по результатам конференции 2010 г. были выделены следующие базовые и перспективные проекты, на основе которых рекомендуется провести исследования по выбору технологии АСММ (Саркисов, 2011b): базовые – плавучая атомная электростанция (КЛТ-40С), СВБР-100, реакторные установки типа ВК; перспективные – "УниTERM", АБВ-6М, ВБЭР.

В соответствии с единичной установленной электрической мощностью базовые и перспективные реакторные установки можно разделить на три группы:

- РУ мощностью до 10 МВт: АБВ-6М (8,6 МВт) и "УниTERM" (3-10 МВт);
- РУ мощностью в диапазоне 10-50 МВт: КЛТ-40С (38,5 МВт);
- РУ мощностью 100 МВт и более: СВБР-100 (101,5 МВт), ВК-100 (120 МВт), ВБЭР-150 (170 МВт).

Как отмечалось ранее, предварительная оценка возможных вариантов использования АСММ различной мощности была выполнена на примере горнопромышленных предприятий, предназначенных для разработки перспективных месторождений полезных ископаемых в Республике Саха (Якутия), Чукотском автономном округе (АО) и Иркутской области.

3. Томторское месторождение

Рассматривая задачу энергообеспечения в районе разработки месторождения Томтор, отметим два фактора, которые, несомненно, имеют важное значение при выборе источника энергии.

Энергетическая стратегия Якутии предусматривает строительство АСММ в районе месторождения, целью которого является сокращение объемов субсидирования на энергоснабжение изолированных потребителей децентрализованной зоны в республике. Перспективные нагрузки горнопромышленного предприятия, предназначенного для разработки этого месторождения, характеризуются электрической мощностью 36 МВт. Кроме того, на основе этого энергоисточника должно быть обеспечено развитие системы теплоснабжения в районе месторождения (Петров и др., 2010). Комплексный характер задач, связанных с решением проблемы энергоснабжения, обуславливает теплофикационный режим эксплуатации АСММ, который является наиболее эффективным технологическим процессом, позволяющим значительно повысить КПД энергоисточника и доходную часть от отпуска энергетической продукции, что, несомненно, улучшает технико-экономические показатели АСММ.

Второй фактор, который необходимо учитывать при выборе источника энергии, определяется характером сектора энергоснабжения. По нашему мнению, для района Томторского месторождения можно рассматривать два варианта использования АСММ в качестве системообразующего энергоисточника:

- локальный энергоисточник, который изолирован от других источников сектора энергоснабжения и обеспечивает энергопотребление в автономном режиме;
- местный энергоисточник, который обеспечивает энергоснабжение в сочетании с другими источниками (например, за счет перетоков электроэнергии из региональной энергосистемы).

В варианте использования АСММ в качестве системообразующего локального энергоисточника следует признать целесообразной оптимизацию состава АСММ, которая должна состоять не из одного, а из нескольких энергоблоков, позволяющих обеспечить необходимое резервирование мощности с учетом особенностей и структуры энергопотребления. Можно полагать, что при использовании АСММ в качестве структурного элемента местной энергосистемы, связанной с другими секторами энергоснабжения, резервирование мощности не потребуется.

С учетом проектных характеристик реакторных установок можно сделать вывод о нецелесообразности использования установки КЛТ-40С в качестве системообразующего локального энергоисточника. Данный вывод вытекает из требования о резервировании мощности в данном секторе энергопотребления, реализация которого в случае с РУ данного типа приведет к переизбытку установленной мощности и, как следствие, к неэффективному использованию энергоисточника. В локальной энергосистеме переизбыток мощности будет проявлен и в случае использования установок СВБР-100, ВК-100 и ВБЭР-150, мощность которых многократно превышает потребности в энергетических ресурсах как в конденсационном, так и в теплофикационном режиме эксплуатации. С позиции единичной мощности энергоисточника в локальном секторе энергоснабжения района Томторского месторождения могут быть использованы АСММ, оснащенные реакторными установками АБВ-6М и "УниTERM".

На основе проектных параметров установки АБВ-6М приближенно можно оценить, что для покрытия необходимой тепловой нагрузки потребуется три таких РУ, работающих в теплофикационном режиме, который характеризуется единичной тепловой мощностью 12 Гкал/ч. При этом суммарная электрическая мощность трех энергоблоков составит примерно 20 МВт. Недостаток электрической мощности (около 16 МВт) потребует два дополнительных энергоблока, работающих в конденсационном режиме.

В варианте использования РУ "УниTERM" одна установка, работающая в теплофикационном режиме при тепловой мощности 29 Гкал/ч, практически позволяет обеспечить потребление тепловой

энергии. При этом для покрытия недостатка электрической мощности (примерно 30 МВт) необходимы три энергоблока, работающих в конденсационном режиме с единичной электрической мощностью 10 МВт.

Таким образом, на основе упрощенной оценки предварительно можно сказать, что развитие энергоснабжения для освоения Томторского месторождения на основе локального энергоисточника может потребовать строительства пяти-шести энергоблоков с реакторной установкой АБВ-6М или четырех энергоблоков с РУ "УниTERM".

Рассматривая вариант местного энергоисточника, можно отметить, что возможность дополнительного энергоснабжения за счет внешних источников электрической энергии определяет утилитарную принадлежность энергоисточника, направленную, в основном, на покрытие тепловой нагрузки. Однако и в этом случае, исходя из проектных параметров установок мощностью 100 МВт и выше, можно считать нецелесообразным использование таких реакторных установок в качестве местного энергоисточника.

Использование одной РУ "УниTERM" или трех установок АБВ-6М при теплофикационном режиме их эксплуатации позволяет обеспечить потребителей тепловой энергии. В этом случае недостаток электрической мощности потребует дополнительной электроэнергии из региональной энергосистемы.

Говоря о реакторной установке КЛТ-40С, можно отметить, что ее использование в качестве местного энергоисточника для энергоснабжения потребителей в районе разработки Томторского месторождения может быть наиболее эффективным при снижении максимальной теплофикационной мощности (73 Гкал/ч) до 30 Гкал/ч. Такое снижение тепловой нагрузки будет способствовать повышению электрической мощности в теплофикационном режиме. При этом покрытие относительно небольшого недостатка электроэнергии также может быть обеспечено за счет перетоков из региональной энергосистемы. Рассмотренный вариант использования КЛТ-40С не учитывает влияние принципа единичного отказа и доли потребителей первой категории на необходимое число энергоблоков.

4. Месторождение Песчанка

Рассматривая задачу энергообеспечения в районе месторождения Песчанка, будем исходить из потребностей горнодобывающего комбината и его инфраструктуры на месторождении, которая в зависимости от сценарных условий развития энергетического хозяйства Чаун-Билибинской промышленной зоны Чукотского АО варьируется от 100 до 300 МВт. При этом, по мнению специалистов Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, наиболее целесообразным вариантом энергоснабжения горнопромышленного предприятия на месторождении Песчанка является строительство автономной атомной станции, расположенной в непосредственной близости от него (Санеев и др., 2011а).

Исходя из принятого варианта, направленного на развитие энергетической инфраструктуры промышленной зоны, будем рассматривать использование АСММ в качестве местного энергоисточника, который связан с региональной энергосистемой.

С точки зрения экономической эффективности, для покрытия рассматриваемых технологических нагрузок наиболее привлекательным является использование реакторных установок КЛТ-40С в стационарном исполнении и СВБР-100 (в равной степени, как ВК-100 и ВБЭР-150).

Вариант АСММ с установкой КЛТ-40С наиболее приемлем в сценарных условиях, которые предусматривают строительство энергоисточника с установленной мощностью 100 МВт, необходимой для обеспечения потребностей горнодобывающего предприятия и его инфраструктуры. В общем случае число энергоблоков должно определяться исходя из принципа единичного отказа, с учетом доли потребителей первой категории и коэффициента использования установленной мощности. В условиях отсутствия проектных данных о горнодобывающем предприятии и условиях его эксплуатации приближенно можно оценить, что для покрытия указанной электрической нагрузки потребуется 3-4 энергоблока с реакторной установкой типа КЛТ-40С.

Целесообразность и эффективность использования одноблочной АСММ с установкой СВБР-100 в таких же сценарных условиях значительно ограничена, в частности, необходимостью соблюдения принципа единичного отказа, который на практике реализуется путем резервирования. Учет этого фактора обуславливает потребность в создании двухблочной АСММ с передачей избыточной энергопродукции в региональную энергосистему, которая может характеризоваться значительно более низкой стоимостью передаваемой электрической энергии. Наиболее эффективное использование АСММ с реакторными установками СВБР-100 возможно в сценарных условиях развития экономики Чаун-Билибинской промышленной зоны, которые предусматривают наращивание генерирующих мощностей, в том числе с учетом обеспечения электроэнергией в 300 МВт горнопромышленного предприятия на месторождении Песчанка. В таком варианте покрытие технологической нагрузки предприятия может

быть обеспечено АСММ, количество энергоблоков которой с установками СВБР-100 может быть выбрано исходя из принципа единичного отказа и с учетом доли потребителей первой категории и коэффициента использования установленной мощности.

В данных сценарных условиях также возможно эффективное использование АСММ с реакторными установками КЛТ-40С. Однако ограниченная установленная мощность установки обуславливает необходимость строительства АСММ, количество энергоблоков которой будет в несколько раз превышать их количество в составе энергоисточника, оснащенного установками СВБР-100. Не рассматривая детально технико-экономические параметры каждого из рассмотренных вариантов в данных сценарных условиях, можно отметить, что одним из преимуществ АСММ с реакторными установками КЛТ-40С является возможность поэтапного наращивания мощности такой АСММ при относительно меньших капитальных затратах на строительство каждого энергоблока. В этом случае возможно снижение финансовых рисков, связанных с реализацией проекта, что может быть привлекательным как для частных инвесторов из неядерного сектора, так и для некоторых энергетических компаний (Кузнецов, 2011).

Вариант с использованием реакторных установок АБВ-6М и "Униртерм" представляется наименее привлекательным, что обусловлено малой установленной мощностью РУ и, как следствие, необходимостью строительства большого числа энергоблоков (более 10). Вместе с тем, нельзя отрицать и определенную экономическую привлекательность такого варианта для потенциальных инвесторов, которая, как и в случае использования РУ типа КЛТ-40С, связана с возможностью поэтапного наращивания мощности АСММ.

5. Месторождение Сухой Лог

Как отмечалось ранее, одним из важных факторов, определяющих выбор типа АСММ в составе локальных и местных энергокомплексов, является реальная потребность в источниках энергии, технические параметры которых определяются с учетом экономического состояния и перспектив развития регионов. Данный фактор приобретает особое значение при решении проблемы энергообеспечения горнопромышленного предприятия на золоторудном месторождении Сухой Лог.

Это месторождение расположено в Бодайбинском районе Иркутской области, который, согласно приказу Минэнерго РФ, отнесен к энергодефицитным территориям на период зимнего отопительного сезона. Это связано с тем, что Мамаканская ГЭС, которая является основным источником электроснабжения потребителей в районе, имеет сезонные ограничения выработки электроэнергии. В зимнее время выработка электроэнергии снижается с 10 кВт·ч до 4 кВт·ч в месяц, и во избежание аварийных ситуаций в сетях энергосистема вынуждена регулярно вводить для хозяйствующих субъектов режимы снижения потребления. Из-за этих особенностей сезонного регулирования электроэнергия для промышленных нужд в районе вырабатывается на дизельных станциях. При этом стоимость электроэнергии составляет от 10 до 32 руб./кВт·ч в зависимости от удаленности объектов (Никульшеева, 2012; Павлова, 2013).

По предварительным оценкам проектируемое на базе месторождения Сухой Лог крупное горно-перерабатывающее предприятие потребует создания генерирующих мощностей до 180 МВт (Карпенко, Петраш, 2008). Очевидно, что энергетические мощности Мамаканской ГЭС (мощность около 100 МВт) и малых дизельных электростанций (суммарной мощностью 5-6 МВт) не в состоянии обеспечить перспективные потребности Бодайбинского района, связанные с наращиванием добычи драгоценных металлов. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Иркутской области до 2020 г. развитие энергетической инфраструктуры Бодайбинского района планировалось осуществлять на основе строительства новых объектов сетевого хозяйства, связанных с региональной энергосистемой (Стратегия..., 2008).

В качестве одного из основных этапов решения этой программной задачи рассматривается строительство линии электропередачи "Пеледуй – Мамакан", которая должна обеспечить формирование энергетической инфраструктуры для развития сектора добычи полезных ископаемых на северо-востоке Иркутской области, включая освоение месторождения Сухой Лог. Линия электропередач должна обеспечить энергоснабжение от Мамаканской ГЭС, входящей в состав сетевой организации Витимэнерг (Иркутская область), и каскада Вилуйских ГЭС энергетической системы Якутии, которая располагает избыточными мощностями. Несмотря на то что Якутская энергосистема располагает свободными мощностями, их может быть недостаточно для покрытия всего энергодефицита Бодайбинского района. Это обусловлено тем, что Якутская энергосистема, также как и Мамаканская ГЭС, имеет ярко выраженный сезонный характер выработки электроэнергии. Поэтому возможно, что мощность, которую планируется получить после строительства линии электропередач "Пеледуй – Мамакан", будет не передана инвестору данного проекта ОАО "Полюс Золото", а направлена на покрытие существующего дефицита энергии в районе, т.е. другим потребителям (Никульшеева, 2012).

Несомненно, энергоснабжение горнопромышленного предприятия на основе электроэнергии, поступающей из объектов сетевого хозяйства региональной энергосистемы, способствует снижению уровня децентрализации энергоснабжения в удаленном и труднодоступном регионе. Вместе с тем, события последних лет показали существенную неустойчивость в энергоснабжении потребителей различного назначения от централизованных или региональных энергетических систем. Одной из причин потери энергоснабжения могут являться отключения ЛЭП, обусловленные различными факторами, включая природные катаклизмы, которые особенно характерны для суровых климатических условий Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Так, в 2012 г. происходили отключения внешнего электроснабжения Олимпиадинского ГОКа (Красноярский край) на одноименном крупном золоторудном месторождении, которые были обусловлены, в частности, грозowymi перенапряжениями в сети. Потери внешнего энергоснабжения привели к нарушениям технологического процесса на горно-перерабатывающем предприятии и недоставке готовой товарной продукции (*Управление...*, 2013). Очевидно, что в случае потери внешнего энергоснабжения в районах, которые не располагают локальными источниками энергии, последствия для значительных территорий и населенных пунктов могли быть более серьезными.

Решение задачи по созданию энергетической инфраструктуры для реализации проекта освоения месторождения Сухой Лог обуславливает объективную необходимость строительства автономного энергоисточника, позволяющего обеспечить энергетическую безопасность горнопромышленного района при потере внешнего энергоснабжения в условиях чрезвычайных ситуаций. В качестве такого автономного энергоисточника может быть использована АСММ, которая позволяет обеспечить энергоснабжение различных потребителей при минимальной зависимости от доставки топлива и конъюнктуры на рынке топливно-энергетических ресурсов.

В сценарных условиях развития энергетической инфраструктуры Бодайбинского района, которые предусматривают строительство объектов сетевого хозяйства, АСММ может рассматриваться в качестве местного энергоисточника, связанного с региональной энергосистемой.

Рассматривая задачу энергообеспечения в районе месторождения Сухой Лог, следует отметить, что в соответствии с проектом энергоснабжения горнопромышленного предприятия при разработке месторождения, кроме покрытия электрической нагрузки, потребуются отопление зданий и сооружений, расположенных на промплощадке предприятия, и теплоснабжение вахтового поселка (*Карпенко, Петраш*, 2008). В связи с этим рассмотрим следующие возможные варианты использования установленной мощности АСММ:

- первый вариант: местный системообразующий энергоисточник, связанный с региональной энергосистемой и обеспечивающий полное покрытие энергетических потребностей горнопромышленного предприятия;

- второй вариант: энергоисточник, связанный с региональной энергосистемой и обеспечивающий теплоснабжение объектов на площадке горнопромышленного предприятия, электроснабжение отдельных наиболее ответственных потребителей технологического комплекса предприятия и частичное покрытие возможного дефицита электроэнергии в Бодайбинском районе.

В первом варианте для горнопромышленного предприятия необходима выработка электроэнергии в объеме до 180 МВт и выработка тепловой энергии. Для наиболее эффективного решения этой задачи АСММ может быть оснащена реакторными установками КЛТ-40С или СВБР-100, ВК-100, ВБЭР-150. Как отмечалось ранее, количество энергоблоков такой АСММ должно быть определено исходя из принципа единичного отказа, с учётом доли потребителей первой категории и эффективности использования установленной мощности.

В условиях отсутствия достаточной информации о структуре энергопотребления на горнопромышленном предприятии можно отметить, что в этом варианте основные финансовые затраты при строительстве автономного энергоисточника, вероятно, должен будет понести собственник данного предприятия. Для главного инвестора наиболее приемлемым может оказаться использование энергоблоков с реакторами КЛТ-40С. В этом случае наращивание мощности АСММ может проводиться с меньшими инвестициями в каждый отдельный блок. При этом также возможно некоторое снижение капитальных затрат при строительстве каждого последующего энергоблока.

Участие в инвестиционном проекте других инвесторов, и энергетических компаний (например, региональной энергосистемы) в наибольшей степени, возможно в случае, если такой энергоисточник будет вносить значительный вклад в решение задачи снижения риска энергодефицита в Бодайбинском районе.

Возможно, более привлекательным для внешних инвестиций будет второй вариант использования АСММ для энергоснабжения горнопромышленного предприятия на месторождении Сухой Лог. В этом варианте преобладающая доля электрической нагрузки должна покрываться за счет электроэнергии, поступающей из региональной энергосистемы, а основная задача АСММ состоит в теплоснабжении

различных объектов инфраструктуры предприятия. Такая задача является аналогом предварительного проекта энергоснабжения ГОКа, в соответствии с которым для обеспечения потребностей в тепловой энергии в начальный период освоения месторождения (примерно 3 года) планировалось использовать дизельную электростанцию, а в последующем – котельную (Карпенко, Петраш, 2008).

В таком варианте электроснабжение горнопромышленного предприятия практически зависит от надежной работы объектов региональной энергосистемы. На самой АСММ могут быть установлены энергоблоки с реакторными установками АБВ-6М или "УниTERM". Вероятно, что при соответствующей структуре энергопотребления для такой АСММ могут быть выбраны такие режимы ее эксплуатации, которые позволят обеспечить теплоснабжение и передачу избыточной электрической мощности в энергосистему для снижения дефицита энергии в Бодайбинском районе. Очевидно, что в этом варианте значительно снижаются капитальные затраты на строительство энергоисточника и, как следствие, финансовая нагрузка на возможных инвесторов.

6. Об экономическом факторе

Одним из факторов, который отмечается практически во всех публикациях, посвященных перспективам практической реализации проектов АСММ, являются высокие удельные капитальные вложения, которые значительно выше, чем для АЭС большой мощности. Под влиянием этого фактора сформировалось мнение о низкой экономической эффективности АСММ. Вместе с тем, говоря о значении экономического фактора, необходимо также учитывать принципиально иную "энергетическую нишу" и совершенно другую утилитарную принадлежность АСММ. Такие станции, в первую очередь, являются энергоисточниками для автономных потребителей, особенно в зонах децентрализованного энергоснабжения с суровым климатом, тяжелыми и дорогими условиями доставки топлива и грузов, удаленностью от центров снабжения. Оценки специалистов говорят об экономической целесообразности использования в таких зонах ядерных энергоисточников с удельными капитальными затратами вплоть до 9000 долл./кВт (Санеев и др., 2011b; Алексеев и др., 2011).

Другим показателем, определяющим экономические условия эксплуатации АСММ и сроки окупаемости капитальных затрат, является себестоимость отпускаемой электрической энергии. По данным специалистов Агентства по ядерной энергии при Организации экономического сотрудничества и развития, тарифы на электроэнергию в Российской Федерации в 2010 г. варьировались от 1,5-5,2 цент/кВт·ч в Иркутской области до 7,9-29,2 цент/кВт·ч в Якутии и Чукотском АО (Current..., 2011). Заметим, что в период с 2010 по 2030 гг. прогнозируется рост цены на электроэнергию в восточных регионах России в 2-3 раза (Сценарные..., 2011). Следует также отметить, что зона децентрализованного энергоснабжения на Востоке России занимает более 60 % территории. Основную долю автономных энергоисточников на этих территориях составляют дизельные электростанции, необходимость работы которых на привозном топливе обуславливает высокую стоимость производства энергии, которая в 5-10 раз выше, чем на электростанциях локальных энергоузлов. Так, средняя себестоимость электроэнергии ДЭС в восточных регионах России составляет 15-18 руб./кВт·ч, а тепла – 2-5 тыс. руб./Гкал (Санеев и др., 2011b) (47,3-56,8 цент/кВт·ч и 63-158 долл./Гкал при среднем курсе за 2009 г. 1 долл. США = 31,68 руб.). При этом, например, фактическая себестоимость электроэнергии на автономных дизельных электростанциях Якутии в 2009 г. составляла 12-60 руб./кВт·ч (Алексеев и др., 2011), а стоимость электроэнергии ДЭС в Бодайбинском районе Иркутской области – от 10 до 32 руб./кВт·ч (Павлова, 2013).

В таблице приведены основные характеристики реакторных установок и районов рассмотренных месторождений полезных ископаемых. Данные разработчиков реакторных установок о величине удельных капитальных вложениях и прогнозируемой себестоимости энергопродукции, которая варьируется от 1,3 до 12 цент/кВт·ч, позволяют говорить о целесообразности и возможной экономической эффективности реакторных установок малой мощности при решении проблемы энергообеспечения перспективных месторождений полезных ископаемых на Востоке России.

Говоря об экономическом факторе в проблеме реализации проектов АСММ, следует отметить еще одно ограничивающее обстоятельство, связанное с нормативно-правовой базой в области атомной энергетики. Так, федеральный закон "Об использовании атомной энергии" не предусматривает частной собственности на объекты использования атомной энергии. В свою очередь, государство пока не имеет достаточно финансовых и управленческих ресурсов для самостоятельного и широкомасштабного развития ядерной энергетики малой мощности (Ишеков и др., 2007). Вместе с тем, вследствие малой единичной мощности капитальные инвестиции в проекты АСММ существенно меньше инвестиций, требуемых для проектов АЭС с реакторами большой единичной мощности. Кроме того, АСММ позволяют при относительно небольших капитальных затратах на строительство каждого энергоблока поэтапно наращивать (а при необходимости, и снижать) суммарную мощность атомной станции путем добавления (или выведения из эксплуатации) новых энергоблоков или реакторных модулей. Как

отмечалось ранее, такой подход минимизирует связанные с проектом финансовые риски, а значит, может быть привлекательным для частных инвесторов и энергетических компаний.

Поэтому реализация проектов малой ядерной энергетики хорошо вписывается в рамки государственно-частного партнерства, сутью которого является осуществление совместных энергетических проектов. Одним из существующих на сегодняшний день организационно-экономических механизмов для такого партнерства, возможности которого позволяют осуществить непосредственную реализацию и последующее сопровождение проектов АСММ, является схема "строительство – передача – эксплуатация". Согласно этой схеме, атомный энергоисточник, полностью или частично финансируемый инвестором, не может находиться в его частной собственности, а передается в собственность государству. Выгоды инвестора состоят в полной или частичной прибыли (в зависимости от договоренностей) от сбыта производимой энергетической продукции (Ишеков и др., 2007). Позитивным примером, призванным способствовать развитию государственно-частного партнерства в области создания АСММ, может стать деятельность совместного государственно-частного предприятия ОАО "АКМЭ-инжиниринг", созданного для реализации проекта АСММ с реактором СВБР-100 в Ульяновской области (Проект..., 2009).

Таблица. Характеристики перспективных РУ и районов месторождений полезных ископаемых

Параметр	Тип реакторной установки					
	АБВ-6М	УниTERM	КЛТ-40С	СВБР-100	ВК-100	ВБЭР-150
Электрическая мощность в конденсационном (теплофикационном) режиме, МВт	8,6 (6)	3-10 (1,5-5)	38,5 (19,4)	101,5 (45)	120 (90–105)	170
Удельные капитальные вложения, долл./кВт	9100	3790	3700-4200	1200	1500-2100	1640
Прогнозируемая себестоимость электроэнергии в теплофикационном режиме, цент/кВт·ч	≤12	9,6	4,9-5,3	4,2	1,3	3,5
	Месторождение полезных ископаемых					
	Месторождение ниобий – редкоземельных руд Томтор (Якутия)		Медно-порфировое месторождение Песчанка (Чукотский АО)		Золоторудное месторождение Сухой Лог (Иркутская область)	
Перспективные электрические нагрузки, МВт	36		до 300		до 180	
Тариф на электроэнергию в регионе (2010 г.), цент/кВт·ч	7,9-29,2		7,9-29,2		1,5-5,2	
Стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ДЭС, цент/кВт·ч	37,9-189,4 (в целом по Якутии)		–		31,6-101,0 (Бодайбинский район)	

7. Заключение

Строительство атомных станций малой мощности можно рассматривать как один из перспективных альтернативных вариантов энергоснабжения потребителей, расположенных в труднодоступных регионах Российской Арктики и Восточной Сибири, где значительная часть территории расположена либо в зоне децентрализованного энергоснабжения, либо в пределах локальных энергосистем, и где роль малой энергетики в обеспечении надежного энергоснабжения является определяющей.

В России накоплен большой и разнообразный опыт разработок реакторных установок малой мощности, позволяющий сформировать широкий спектр предложений, которые могут быть использованы для решения конкретных задач этого сектора энергетики.

Применительно к проблеме энергоснабжения при освоении месторождений полезных ископаемых в Чукотском АО, Якутии и Иркутской области в настоящей работе рассмотрены реакторные установки различного типа и установленной электрической мощности:

- РУ мощностью до 10 МВт: АБВ-6М и "УниTERM";
- РУ мощностью в диапазоне 10-50 МВт: КЛТ-40С;
- РУ мощностью 100 МВт и более: СВБР-100, ВК-100, ВБЭР-150.

На основе анализа различных сценарных условий экономического развития рассмотренных регионов выполнена предварительная оценка возможных вариантов использования АСММ в различных секторах энергопотребления.

Результаты оценки показали, что даже в условиях конкурентоспособности АСММ и целесообразности их использования для энергоснабжения тех или иных регионов, проявляется конкуренция и среди самих ядерных энергоисточников, обусловленная конкретными условиями, которые определяют место и роль АСММ в производстве энергопродукции требуемого качества и объема.

Литература

- Current status, technical feasibility and economics of small nuclear reactor. Report of Nuclear Energy Agency. OECD. URL: <http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2011/current-status-small-reactors.pdf>, 2011.
- Алексеев П.Н., Стукалов В.А., Субботин С.А., Щепетина Т.Д.** Системный подход к обоснованию необходимости широкомасштабного развития АСММ на принципах "Стратегии национальной безопасности Российской Федерации". Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М., Наука, 2011. С. 32-63.
- Ишеков А.Г., Клинов Д.А., Смирнова Л.С., Субботин С.А., Щепетина Т.Д.** Анализ экономической эффективности атомных станций малой мощности. Атомная энергия. 2007. Т. 102, вып. 6. С. 331-336.
- Карпенко И.А., Петраш Н.Г.** Геолого-экономическая переоценка месторождения Сухой Лог. Разведка и охрана недр. 2008. № 11. С. 3-12.
- Кривицкий И.С.** В роли Золушки пребывает пока в нашей стране малая энергетика. Атомная стратегия XXI. 2005. № 2(16). С. 5-6.
- Никутьшеева М.** Золотая лихорадка. Сибирский энергетик. 2012. № 8(273). С. 2. URL: <http://www.irkutskenergo.ru/gi/8732>.
- Павлова А.** Эффект энергоэффективности. Иркутская область пытается экономить энергоресурсы. URL: http://www.vsp.ru/economic/2013/10/11/536608?call_context=embed, 2013.
- Петров Н.А., Санеев Б.Г., Сафронов А.Ф.** Основные положения Энергетической стратегии Республики Саха (Якутия) до 2030 года. URL: <http://www.sei.irk.ru/symp2010/papers.html>, 2010.
- Проект СВБР-100. URL: <http://www.akmeengineering.com/svbr.html>, 2009.
- Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Франк М.И.** Приоритеты использования атомных станций малой мощности на Востоке России. Атомная энергия. 2011а. Т. 111, вып. 5. С. 276-281.
- Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Франк М.И.** Роль атомных станций малой мощности в зонах децентрализованного энергоснабжения на Востоке России. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М., Наука, 2011б. С. 88-100.
- Саркисов А.А.** Вступительная статья председателя Программного комитета конференции. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М., Наука, 2011а. С. 7-12.
- Саркисов А.А.** Новое направление развития – ядерная энергетика малой мощности. Атомная энергия, 2011б. Т. 111, вып. 5. С. 243-245.
- Сидоренко В.А.** Задачи, проблемы и возможности создания атомных станций малой мощности. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М., Наука, 2011. С. 79-87.
- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Утверждена президентом РФ 8 февраля 2013 г. № Пр-232. URL: <http://government.ru/news/432/>, 2013.
- Стратегия социально-экономического развития Иркутской области до 2020 года. URL: http://firio.ru/uploads_files/strategy_irk_firio.pdf, 2008.
- Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года. URL: http://www.ranipool.ru/images/data/gallery/1_8337_usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf, 2011.
- Управление Федеральной антимонопольной службы по Красноярскому краю. Решение по делу № 10-10-13. URL: <http://krsk.fas.gov.ru/solution/10533>, 2013.

References

- Alekseev P.N., Stukalov V.A., Subbotin S.A., Schepetina T.D.** Sistemnyiy podhod k obosnovaniyu neobhodimosti shirokomasshtabnogo razvitiya ASMM na printsipah "Strategii natsionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii" [Systematic approach to the justification of the need for large-scale development of SNPP on the principles of "The national security strategy of Russian Federation"]. Atomnyie stantsii maloy moschnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki / pod red. akad. RAN A.A. Sarkisova. M., Nauka, 2011. P. 32-63.
- Ishekov A.G., Klinov D.A., Smirnova L.S. i dr.** Analiz ekonomicheskoy effektivnosti atomnyih stantsiy maloy moschnosti [Economic efficiency analysis of small sized power plants]. Atomnaya energiya. 2007. T. 102, vyip. 6. P. 331-336.
- Karpenko I.A., Petrash N.G.** Geologo-ekonomicheskaya pereotsenka mestorozhdeniya Suhoy Log [Geological-economic reevaluation of Sukhoy Log deposit]. Razvedka i ohrana neдр. 2008. N 11. P. 3-12.
- Krivitskiy I.S.** V roli Zolushki prebyivaet poka v nashey strane malaya energetika [In our country small power engineering stays while in the role of Cinderella]. Atomnaya strategiya XXI. 2005. N 2(16). P. 5-6.
- Kuznetsov V.V.** Obzor suschestvuyuschih i perspektivnyih atomnyih stantsiy maloy moschnosti v Rossiyskoy Federatsii i za rubezhom [Review of existing and advanced small size nuclear power plants in the Russian Federation and abroad]. Atomnyie stantsii maloy moschnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki / pod red. akad. RAN A.A. Sarkisova. M., Nauka, 2011. P. 159-178.
- Nikulsheeva M.** Zolotaya lihoradka [Gold rush]. Sibirskiy energetik. 2012. N 8(273). P. 2. URL: <http://www.irkutskenergo.ru/gi/8732>.
- Pavlova A.** Effekt energoeffektivnosti. Irkutskaya oblast pyitaetsya ekonomit energoresursyi [Effect of energy efficiency. Irkutsk region is trying to save energy resources]. URL: http://www.vsp.ru/economic/2013/10/11/536608?call_context=embed, 2013.
- Petrov N.A., Saneev B.G., Safronov A.F.** Osnovnyie polozheniya Energeticheskoy strategii Respubliki Saha (Yakutiya) do 2030 goda [Main provisions of the Energy strategy of the Republic of Sakha (Yakutia) until 2030]. URL: <http://www.sei.irk.ru/symp2010/papers.html>, 2010.
- Proekt SVBR-100 [SVBR-100 project]. URL: <http://www.akmeengineering.com/svbr.html>, 2009.
- Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F., Frank M.I.** Prioritetyi ispolzovaniya atomnyih stantsiy maloy moschnosti na Vostoke Rossii [Priorities of using low-capacity nuclear power plants in Russia's East]. Atomnaya energiya. 2011a. T. 111, vyip. 5. P. 276-281.
- Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F., Frank M.I.** Rol atomnyih stantsiy maloy moschnosti v zonah detsentralizovannogo energosnabzheniya na Vostoke Rossii [Role of low-capacity nuclear power plants in areas of decentralized power supply in Russia's East]. Atomnyie stantsii maloy moschnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki / pod red. akad. RAN A.A. Sarkisova. M., Nauka, 2011b. P. 88-100.
- Sarkisov A.A.** Vstupitel'naya statya predsedatelya Programmnogo komiteta konferentsii [Introductory article of chairman of conference Program committee]. Atomnyie stantsii maloy moschnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki / pod red. akad. RAN A.A. Sarkisova. M., Nauka, 2011a. P. 7-12.
- Sarkisov A.A.** Novoe napravlenie razvitiya – yadernaya energetika maloy moschnosti [New direction of development – small power capacity nuclear energy]. Atomnaya energiya, 2011b. T. 111, vyip. 5. P. 243-245.
- Sidorenko V.A.** Zadachi, problemy i vozmozhnosti sozdaniya atomnyih stantsiy maloy moschnosti [Task, problems and possibilities by creation of small nuclear power plants]. Atomnyie stantsii maloy moschnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki / pod red. akad. RAN A.A. Sarkisova. M., Nauka, 2011. P. 79-87.
- Strategiya razvitiya Arkticheskoy zonyi Rossiyskoy federatsii i obespecheniya natsionalnoy bezopasnosti na period do 2020 goda [Development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation and national security for the period up to 2020]. Utverzhdena prezidentom RF 8 fevralya 2013 g. N Pr-232. URL: <http://government.ru/news/432/>, 2013.
- Strategiya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Irkutskoy oblasti do 2020 goda [Strategy for socio-economic development of the Irkutsk region until 2020]. URL: http://frrio.ru/uploads_files/strategy_irk_frrio.pdf, 2008.
- Stsenarnyye usloviya razvitiya elektroenergetiki na period do 2030 goda [Scenario conditions for the power sector development for the period until 2030]. URL: http://www.ranipool.ru/images/data/gallery/1_8337_usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf, 2011.
- Upravlenie Federalnoy antimonopolnoy sluzhbyi po Krasnoyarskomu krayu [Department of Federal Antimonopoly service in the Krasnoyarsk region]. Reshenie po delu N 10-10-13. URL: <http://krsk.fas.gov.ru/solution/10533>, 2013.

Информация об авторах

Мельников Николай Николаевич – Горный институт КНЦ РАН, директор, академик РАН; Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, зав. кафедрой горного дела и обогащения, e-mail: root@goi.kolasc.net.ru

Melnikov N.N. – Mining Institute KSC RAS, Director, Academician RAS; Kola Branch of Petrozavodsk State University, Head of Department of mining and beneficiation, e-mail: root@goi.kolasc.net.ru

Конухин Владимир Пантелеймонович – Горный институт КНЦ РАН, зав. лабораторией, д-р техн. наук, профессор, e-mail: vladimir@goi.kolasc.net.ru

Konukhin V.P. – Mining Institute KSC RAS, Head of Laboratory, Dr of Tech. Sci., Professor, e-mail: vladimir@goi.kolasc.net.ru

Наумов Вадим Алексеевич – Горный институт КНЦ РАН, вед. науч. сотрудник, канд. физ.-мат. наук, e-mail: naumovva@goi.kolasc.net.ru

Naumov V.A. – Mining Institute KSC RAS, Leading Researcher, Cand. of Phys.-Math. Sci., e-mail: naumovva@goi.kolasc.net.ru

Гусак Сергей Андреевич – Горный институт КНЦ РАН, ст. науч. сотрудник, канд. техн. наук; Кольский филиал ПетрГУ, доцент кафедры горного дела и обогащения, e-mail: gusnat52@mail.ru

Gusak S.A. – Mining Institute KSC RAS, Senior Researcher, Cand. of Tech. Sci.; Kola Branch of Petrozavodsk State University, Associate Professor of Department of mining and beneficiation, e-mail: gusnat52@mail.ru