

РАЗВИТИЕ АСММ – ДАНЬ МОДЕ ИЛИ НАСУЩНАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ? [КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ В.О. КИНДРЫ, И.А. МАКСИМОВА, И.И. КОМАРОВА, С.К. ОСИПОВА, О.В. ЗЛЫВКО “АТОМНЫЕ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ: ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ (ОБЗОР)”]

© 2024 г. С. Л. Соловьев*

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций,
Ферганская ул., д. 25, Москва, 109507 Россия*

**e-mail: SLSoloviev@vniiaes.ru*

Поступила в редакцию 10.11.2023 г.

После доработки 30.11.2023 г.

Принята к публикации 21.12.2023 г.

В настоящем сообщении рассматривается вопрос экономической целесообразности строительства атомных станций малой мощности (АСММ). Подготовка этого комментария обусловлена рядом неоднозначных тезисов, представленных в статье В.О. Киндры, И.А. Максимова, И.И. Комарова, С.К. Осипова, О.В. Злывко “Атомные станции малой мощности: технический уровень и перспективы коммерциализации (обзор)”, опубликованной в журнале “Теплоэнергетика” № 4 за 2024 г. В статье отмечается необходимость применения новых схемных решений и рабочих тел для АСММ. Однако анализ предпосылок создания АСММ позволяет сделать вывод о нецелесообразности применения сложных тепловых схем для таких станций. В статье справедливо отмечено, что АСММ могут быть конкурентоспособными только в условиях удаленных, труднодоступных для завоза органического топлива территорий. Но труднодоступность территорий является определяющим и во многом ограничивающим фактором для создания и эксплуатации самих АСММ на этих площадках.

Ключевые слова: атомные станции малой мощности, экономика, цикл Брайтона, LCOE, “Шельф-М”, РИТМ-200Н, себестоимость производства электроэнергии

DOI: 10.56304/S0040363624050084

Тема статьи “Атомные станции малой мощности: технический уровень и перспективы коммерциализации (обзор)”, безусловно, актуальна. Количество публикаций, посвященных АСММ, стремительно растет, а число известных проектов составляет несколько сот. Активно подписываются межправительственные соглашения о намерении строить АСММ. Здесь особенно выделяется проект NuScale, который лицензирован в нескольких вариантах единичной мощностью 50, 60 и 77 МВт. Однако оказалось, что экономическая эффективность АСММ несколько преувеличена, о чем свидетельствуют рост средней расчетной себестоимости производства электроэнергии (LCOE) на этих станциях более чем в 1.5 раза и выход многих ключевых инвесторов из проекта. Удельные капитальные затраты на единицу установленной мощности увеличились в разы из-за неправильной первоначальной оценки стоимости оборудования, строительных материалов и самих работ.

Это может быть началом схлопывания мыльного пузыря проектов строительства и развития АСММ.

Следует заметить, что даже при реализации всех возможных мероприятий по повышению экономической привлекательности АСММ стоимость 1 кВт установленной мощности для АСММ мощностью до 100 МВт будет минимум в 2–3 раза выше, чем для больших АЭС. Поэтому к публикуемым в обзорной статье тезисам о преимуществах АСММ следует относиться с известной долей скептицизма.

В России в силу ее географических особенностей действительно есть районы, где АСММ могут быть конкурентоспособны. Это в первую очередь районы, где нет централизованных электрических сетей, а завозить органическое топливо довольно сложно. При этом АСММ будет работать в крайне слабых изолированных сетях, т.е. в маневренных режимах. В таких условиях тепловая схема должна быть максимально простой, надежной и эф-

фективной во всех диапазонах генерируемой мощности [1–5]. В этой связи декларируемые в статье тезисы о повышении КПД не являются актуальными. Более того, без прорыва в турбомашиностроении и теплообменном оборудовании, без изменения норм проектирования переход на инновационные тепловые циклы, например на S-CO₂, приведет лишь к удорожанию производимой электроэнергии.

Оценки, сделанные специалистами ЦКТИ, ОКБМ им. И.И. Африкантова и ВНИИАЭС, показали, что для АЭС с модернизированным реактором на быстрых нейтронах БН-1200М использовании отечественного оборудования при реализации цикла Брайтона с S-CO₂ приводит к удорожанию оборудования машинного зала на 15–20% [6].

В России принято решение о строительстве АСММ с реакторами трех типов: РИТМ-200Н [моноблок в Якутии, 57 МВт (эл.)], “Шельф-М” [площадка определяется, 10 МВт (эл.)] и “Елена-АМ” для теплофикации [площадка определяется, 7 МВт (т.) и 200 кВт (эл.)]. Следует заметить, что стоимость реакторной установки РИТМ-200Н не превышает 5% стоимости атомной станции, стоимость оборудования машинного зала составляет примерно столько же. Следовательно, главные резервы снижения стоимости – это совершенствование технологии строительства. Поэтому основные усилия должны быть сконцентрированы на использовании крупномодульного метода строительства или наплавного, при котором на заводе сооружается весь энергоблок, транспортируемый к месту строительства на платформе.

При проектировании и строительстве АСММ необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- устойчивая работа в изолированных сетях на различных уровнях мощности;
- полная или высокая степень заводской готовности к эксплуатации;
- транспортабельность отдельных модулей или блоков [например, масса реакторной установки РИТМ-200Н составляет около 1170 т, что делает ее практически нетранспортабельной в собранном виде к площадке строительства в Усть-Куйге (Якутия)];
- создание основанных на принципах внутренней самозащищенности пассивных систем защиты АСММ с повышенными стандартами безопасности;
- разработка оборудования, устойчивого к изменению частоты сети;
- прорыв в турбомашиностроении и теплообменном оборудовании;

- упрощение процедур снятия с эксплуатации, вывоза отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов вместе с энергоустановкой;
- минимизация объемов и стоимости строительно-монтажных работ;
- автономность, надежность эксплуатации;
- существенное снижение негативных для окружающей среды последствий;
- возможность работы АСММ в режиме когенерации, опреснения воды, выработки водорода;
- высокий уровень автоматизации, который позволит сократить численность обслуживающего персонала;
- подготовка научно-производственной базы для проведения стендовых испытаний и создания головных образцов энергоустановок.

Стремление добиться высокого КПД энергоустановки АСММ не является в данном случае приоритетным и противоречит требованиям простоты, надежности, минимума обслуживания и т.д.

Следует помнить, что АСММ обладает всеми составляющими ядерной и радиационной опасности. Следовательно, при наземном размещении необходимо сооружение защитной оболочки с полным набором систем безопасности. Это приведет к существенному росту удельных капитальных затрат. В качестве первого приближения можно считать, что удельные стоимости 1 кВт энергии от АСММ и от большой АЭС будут соотноситься как их мощности в степени минус одна вторая. Иными словами, 1 кВт электроэнергии, произведенной на установке “Шельф-М”, будет в 10 раз дороже 1 кВт электроэнергии, полученной на ВВЭР-1000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets** / M.A. Clark, N. Domingo, K. Colgan, S.K. Thakrar, D. Tilman, J. Lynch, I.L. Azevedo, J.D. Hill // *Science*. 2020. V. 370. Is. 6517. P. 705–708. <https://doi.org/10.1126/science.aba7357>
2. **Small modular reactors: Challenges and opportunities**. OECD-NEA, 2021. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_57979/small-modular-reactors-challenges-and-opportunities?details=true
3. **Соловьев С.Л., Зарюгин Д.Г., Калякин С.Г.** Перспективные направления развития атомных станций малой мощности в России // *Вестник РАН*. 2023. Т. 93. № 2. С. 103–111. <https://doi.org/10.31857/S086958732302010X>
4. **Advances in small modular reactor technology developments**. A supplement to: IAEA Advances Reactors Information System (ARIS). IAEA, Vienna, 2020. https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf

5. **Advances** in small modular reactor technology developments. IAEA, 2018. https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf
6. **Оценка** технико-экономических характеристик и показателей безопасности АЭС с РУ на быстрых нейтронах при использовании теплоносителя S-CO₂ в контуре преобразования энергии и цикла Брайтона / С.Л. Соловьев, С.Г. Калякин, А.С. Ковалев, Д.С. Соловьев, М.К. Седов // Изв. вузов. Ядерная энергетика (в печати).

**Is SNPP Development a Fashion or an Essential Necessity?
(Comment on the Article by V.O. Kindry, I.A. Maksimova, I.I. Komarova,
S.K. Osipova, O.V. Zlyvko “Low Power Nuclear Plants:
Technical Level and Prospects for Commercialization (Review)”)**

S. L. Soloviev*

All-Russia Research Institute for Nuclear Power Plants Operation, Moscow, 109507 Russia

**e-mail: SLSoloviev@vniiaes.ru*

Abstract—This report examines the issue of economic feasibility of constructing small nuclear power plants (SNPPs). The preparation of this commentary is due to a number of controversial theses presented in the article by V.O. Kindry, I.A. Maksimova, I.I. Komarova, S.K. Osipova, O.V. Zlyvko “Low-Power Nuclear Power Plants: Technical Level and Prospects for Commercialization (Review)”, published in the journal “Thermal Energy” no. 4 of 2024. The article notes the need to use new circuit solutions and working fluids for SNPPs. However, an analysis of the prerequisites for the creation of SNPPs allows for the conclusion that the use of complex thermal schemes for such stations is inappropriate. The article rightly notes that SNPPs can only be competitive in remote areas that are difficult to access for the import of fossil fuels. But the inaccessibility of the territories is a determining and largely limiting factor for the creation and operation of SNPPs themselves on these sites.

Keywords: low-power nuclear power plants, economics, Brayton cycle, LCOE, Shelf-M, RITM-200N, cost of electricity production

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-79408 от 27 ноября 2020 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 10.12.2019 г.

Формат 60 × 88¹/₈

Тираж 301 экз.

Усл. печ. л. 9.53

Дата выхода в свет 28.02.2020 г.

Уч.-изд. л. 9.75

Цена свободная

Учредители: Российская академия наук,
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Издатель: ООО «ТЕМАТИЧЕСКАЯ РЕДАКЦИЯ»,
125252, г. Москва, ул. Зорге, д. 19, этаж 3, помещ. VI, комн. 44
Отпечатано в типографии «Book Jet» (ИП Коняхин А.В.),
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, 18, тел. (4912) 466-151