



НАУКА  
И ИННОВАЦИИ  
РОСАТОМ

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (АСММ)

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований и разработок



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
92 ЗАРУБЕЖНЫХ  
И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
ПРОЕКТОВ АСММ

---

ЭФФЕКТЫ МАСШТАБА,  
СЕРИЙНОСТИ И  
РЕАКТОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
НА ЭКОНОМИКУ АСММ

---

ТРЕБОВАНИЯ  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РЫНКОВ  
АСММ – «СЕТЕВОГО»  
И «ВНЕСЕТЕВОГО»

---

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД  
К ФОРМИРОВАНИЮ  
ОБЛИКА «ИДЕАЛЬНОЙ»  
АСММ

---

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований и разработок

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (АСММ)

Москва  
2020

УДК 621.039.003, 621.039.5

Т 38

Т 38 Технологические и экономические аспекты проектов атомных станций малой мощности (АСММ). Аналитический отчет [Текст] / И.Б. Журавлёв, А.П. Крупнова, П.Б. Птицын ; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020. – 124 с. – Рус. – Деп. 18.05.20, № 32-В2020.

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020

Подписано в печать 21.12.2020. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,42.

Тираж 100 экз. Заказ № 7265

Отпечатано в ООО «Элефант».

610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7

[www.hibox.pro](http://www.hibox.pro)

**НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:**

Технологические и экономические аспекты проектов атомных станций малой мощности (АСММ)

**АВТОРЫ:**

**Журавлёв И.Б.**, руководитель группы приоритетных направлений НТР, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

**Крупнова А.П.**, главный специалист группы по НТС, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

**Птицын П.Б.**, заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Айрапетова Н.Г.**, заместитель генерального директора по науке и инновационной деятельности, АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»;

**Фатеев С.А.**, начальник бюро технико-экономического сопровождения проектов и экономики жизненного цикла РУ, АО «ОКБМ Африкантов»;

**Щепетина Т.Д.**, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт».

**РЕФЕРАТ:**

В настоящем аналитическом отчете описываются результаты аналитического исследования разрабатываемых в России и за рубежом проектов атомных станций малой мощности (АСММ) с целью: предварительной выработки критериев сравнения между собой реакторных установок (РУ) малой мощности и проектов АСММ на их основе; выдачи рекомендаций по отбору наиболее перспективных отраслевых РУ и проектов АСММ для поддержки и продвижения их на более высокие уровни технологической готовности; определении параметрического облика идеальных, но практически реализуемых проектов АСММ для ключевых сегментов рынка и двух временных горизонтов конкуренции за них – «ближнего» до примерно 2030 года и «дальнего» – за 2030 годом. В ходе исследования были выявлены влияния эффектов масштаба, серийности и реакторной технологии на экономические характеристики РУ малой мощности; проанализированы требования потенциального рынка АСММ; проведено сравнение преимуществ и недостатков отечественных проектов АСММ между собой и с зарубежными аналогами. По итогам аналитического исследования представлены выводы и рекомендации для практического применения в работе ГК «Росатом». Аналитический отчет подготовлен в рамках Плана деятельности отраслевого центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР) на 2019–2020 гг. (п. 4.4).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

атомная энергетика, ядерные реакторы, малые модульные реакторы, АЭС малой мощности, экономический анализ.

**TITLE:**

Technical and Economic Aspects of Small Modular Reactor Projects

**AUTHORS:**

**Zhuravlev I.B., Krupnova A.P., Ptitsyn P.B.** Rosatom Center for Analytical Research and Developments (CARD), Science and Innovations – Nuclear Industry Scientific Development, Private Enterprise, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

**ABSTRACT:**

The report provides an overview of the results of an analytical study of small modular reactors' (SMR) projects being developed in Russia and abroad for the purpose of preliminary development of criteria for comparing SMR projects; issuing recommendations on the selection of the most promising SMR projects to support and advance them to higher levels of technological readiness; defining the parametric appearance of ideal, but practically implemented ASMM projects for key market segments and two time horizons of competition for them - «near» until about 2030 and «far» - beyond 2030. The scope of the study encompasses the effects of scale, learning and reactor technology on the economic characteristics of SMRs; the requirements of the potential SMR market have been analyzed; the advantages and disadvantages of domestic SMR projects are compared with each other and with foreign counterparts. Based on the results of the analytical study, conclusions and recommendations are presented for practical application in the work of Rosatom State Corporation. This report was prepared as a part of the Rosatom Center for Analytical Research and Developments Action Plan for 2019–2020.

**KEYWORDS:**

nuclear energy, nuclear technologies, small modular reactors, economic analysis.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>1. МНОЖЕСТВО РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРОЕКТОВ АСММ</b> .....	<b>11</b>
1.1. Классификация проектов АСММ.....	11
1.2. Совокупность проектов АСММ.....	12
1.3. Распределение проектов АСММ по мощности и технологии РУ.....	18
1.4. Распределение проектов АСММ по уровню зрелости технологии и разработчикам.....	25
<b>2. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ АСММ</b> .....	<b>29</b>
<b>3. ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТОВ МАСШТАБА И СЕРИЙНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АСММ</b> .....	<b>31</b>
3.1. Анализ зависимости LCOE от мощности единичного модуля.....	32
3.2. Анализ эффекта накопления знаний.....	37
3.3. Анализ зависимости LCOE от реакторной технологии.....	43
<b>4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЫНКА АСММ</b> .....	<b>49</b>
4.1. Ожидаемые требования заказчиков к проектам АСММ.....	49
4.2. Конкурентоспособность АСММ на внесетевом рынке.....	52
4.3. Замещение угольной генерации.....	58
4.4. Совместная работа АСММ и ВИЭ в энергосистеме.....	59
<b>5. АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНОГО ОКРУЖЕНИЯ</b> .....	<b>63</b>
5.1. Проекты в диапазоне мощности до 10 МВт.....	63
5.2. Проекты в диапазоне мощности около 50 МВт.....	65
5.3. Проекты в диапазоне мощности около 100 МВт.....	70
5.4. Проекты на верхней границе мощности АСММ (около 300 МВт).....	74
<b>6. ТРЕБОВАНИЯ К ОБЛИКУ «ИДЕАЛЬНОЙ» АСММ</b> .....	<b>81</b>
6.1. Параметрический облик «идеальной, но достижимой» АСММ для «Ближнего» периода.....	81
6.2. Критериальный подход к формированию облика «идеальной» АСММ для «Дальнего» периода.....	81
<b>ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ</b> .....	<b>89</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	<b>93</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ</b> .....	<b>95</b>

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ I.</b>	
Системы безопасности АСММ.....	96
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ II.</b>	
Уровни готовности технологии (TRL) в сопоставлении с уровнями проработки конструкторской документации (КД).....	106
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ III.</b>	
Требования к АСММ, сформулированные в исследовании Министерства энергетики Онтарио, 2016 г.....	108
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ IV.</b>	
Статус предлицензионного рассмотрения проектов АСММ Комиссией по ядерной безопасности Канады.....	110
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ V.</b>	
Возможности АСММ по маневрированию мощностью.....	111
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ VI.</b>	
Сравнение РИТМ-200 с NuScale.....	114
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ VII.</b>	
Направления НИОКР в сопровождение разработки ВТГР.....	118
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ VIII.</b>	
TRL для систем и подсистем отдельных реакторных технологий.....	121





## ВВЕДЕНИЕ

---

В настоящее время в мире наблюдается повышенный интерес к проектам атомных станций малой мощности (АСММ), именуемых за рубежом также малыми модульными реакторами – Small Modular Reactors (SMR), что связано с рядом преимуществ реакторов малой мощности, включая модульные, по сравнению с реакторами большой мощности:

- Возможность почти полного производства модулей в заводских условиях с минимальным объемом строительного-монтажных работ непосредственно на площадке. Следствием заводского серийного производства модулей является повышение качества их изготовления, а также снижение рисков, присущих выполнению строительного-монтажных работ.

- Потенциальное сокращение сроков окупаемости за счет модульного дизайна, сокращения сроков сооружения и поэтапного ввода модулей в эксплуатацию, при котором уже эксплуатируемые модули генерируют положительный денежный поток, обеспечивая строительство и ввод в эксплуатацию последующих.

- Большая мотивация финансового сообщества к проектному кредитованию сооружения АСММ вследствие меньшей стоимости модуля, сокращенных сроков сооружения, результирующего сни-



жения рисков и меньшего периода окупаемости по отношению к АЭС большой мощности.

- Гарантированная безопасность, уменьшение радиуса зоны планирования защитных мероприятий вокруг АСММ (как правило, до 300 метров). Под гарантированной безопасностью сегодня понимается исключение аварий, имеющих следствием разрушение корпуса реактора. Такой уровень безопасности АСММ достигается за счет возможности организации внешнего охлаждения корпуса реактора при потенциальных авариях. Это преимущество АСММ проистекает из большего отношения поверхности корпуса реактора к его объему по отношению к реакторам большой мощности.

- Реализация в проектах большинства АСММ технических решений, обеспечивающих большую приспособленность к работе в режиме переменных нагрузок (следования за мощностью). Эта способность АСММ – важнейшая вследствие того, что основная сфера их использования – малые сети или изолированная генерация в отсутствие или при недостаточности высокоманевренных мощностей.

- Высокая степень транспортной мобильности, включая опцию отсутствия перегрузок на площадке размещения АСММ за счет транспортирования АСММ с заводской загрузкой активной зоны (для ряда проектов).

- Возможность подземного и подводного размещения, что также дает больше защиты от стихийных бедствий и представляется более безопасным решением.

- Более дешевый и облегченный вывод из эксплуатации, в том числе посредством вывоза с площадки модуля и централизованной утилизации.

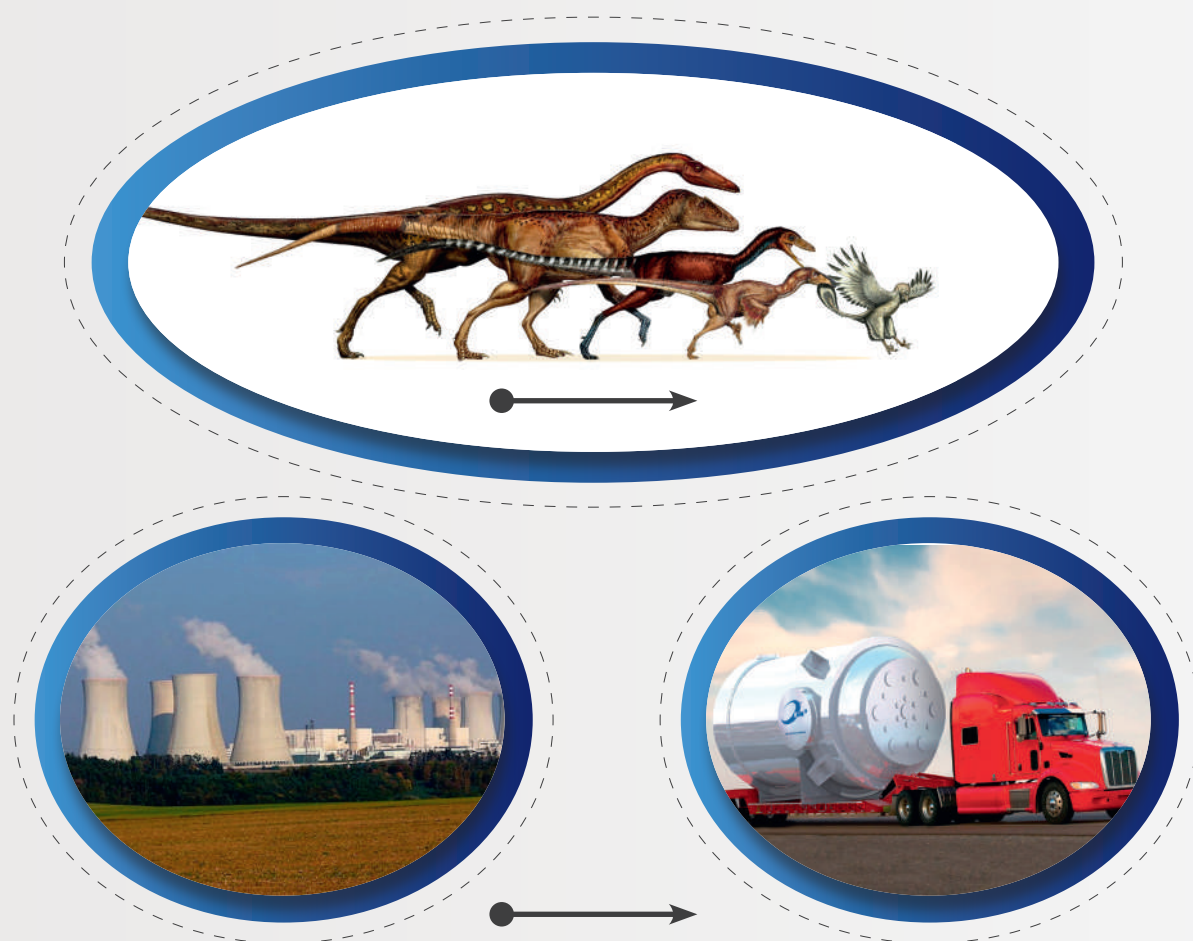
- Сокращенная потребность в пресной воде, что позволяет размещать АСММ в местах с ее недостатком, включая использование для добычи полезных ископаемых и опреснения воды.

Все перечисленные выше преимущества АСММ позволяют рассматривать данное направление как средство снижения рисков, присущих проектам атомной генерации на основе АЭС большой мощности (большую длительность сооружения, необходимость больших инвестиций со значительной неопределенностью в отношении периода окупаемости), негативно влияющих в настоящее время на конкурентоспособность атомной энергетики. В силу данного обстоятельства АСММ могли бы стать ответом атомной энергетики на конкурентный вызов со стороны возобнов-

ляемых источников энергии при сохранении традиционных преимуществ атомной генерации – отсутствия выброса парниковых газов в сочетании с масштабируемостью и независимостью генерации от внешних природных и экономических факторов. Не претендуя на абсолютную истину, тем не менее можно предположить, что с учетом высказанных выше соображений дальнейшая эволюция АЭС будет направлена, подобно эволюции в животном мире, от «крупных видов» к более «мелким», как это показано на Рисунке 1.

**Рисунок 1.**

Возможная эволюция АЭС (по подобию эволюции в животном мире)

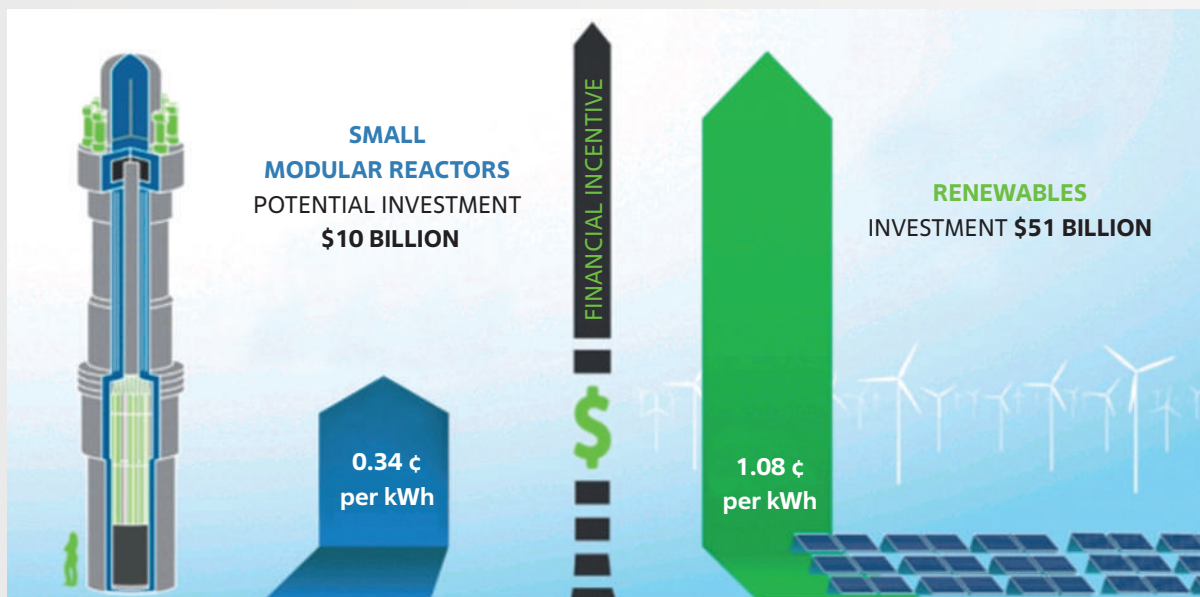


В исследовании, выполненном в октябре 2018 г. по заказу DOE США американскими консалтинговыми компаниями [1], была рассмотрена финансовая поддержка ВИЭ в США (включая налоговые стимулы, субсидии, гранты на НИОКР и т.д.), которая суммарно оценивается в 51 млрд \$

за период с 2005 по 2015 гг., что соответствует наценке на выработанную ВИЭ энергию 1,08 цента за кВтч. Потенциальный объем необходимой финансовой поддержки развития АСММ в исследовании оценен в 10 млрд \$, что соответствует наценке 0,34 цента за кВтч, причем финансовая поддержка, согласно выводам исследования, позволила бы снизить LCOE АСММ с ожидаемых 78 \$/МВтч до 61 \$/МВтч, сделав их тем самым конкурентоспособными по отношению к другим видам генерации (Рисунок 2).

**Рисунок 2.**

Размеры финансовой поддержки АСММ и ВИЭ и соответствующая наценка на кВтч



Общепринятая граница предельной мощности АСММ/SMR не установлена. МАГАТЭ рекомендует относить к малым реакторам блоки с электрической мощностью не более 300 МВт(э), а к средним – не более 700 МВт(э). Госкорпорация «Росатом» также придерживается этих условных границ. В настоящем анализе рассматриваются реакторные технологии только малой мощности вследствие того, что именно так именуется приоритетное направление развития АСММ.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

