



ФЭИ  
РОСАТОМ

# Оценка перспектив создания сетевой структуры ядерной энергетической системы с реакторами малой мощности

*«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики» («Нейтроника-2024») /  
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»*

**Усанов В.И., Хныкина Е.С., Львова Е.М.**

**АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»**

*Представляет Усанов В.И.*

# Введение

В настоящее время в мире проводятся широкие исследования по направлению реакторов малой мощности (РММ) и по разработке стратегии их развертывания

Интерес к реакторам этого типа определяется рядом присущих им привлекательных для пользователей свойств, однако массового внедрения РММ в ядерную энергетику не происходит

Одной из проблем, препятствующих распространению РММ, является неэффективность попыток их создания на основе сложившихся подходов к развитию ядерной энергетики с большими ядерными энергоблоками

В докладе рассматриваются перспективы создания сетевой структуры ЯЭС с РММ как одной из возможных форм их развертывания, учитывающей существенные особенности РММ и обладающей потенциалом повышения их коммерческой привлекательности



Реакторы малой мощности - перспективная составляющая ЯЭС

# Стимулы и препятствия развития направления реакторов малой мощности



В многокритериальных исследованиях, выполняемых в разных странах, в том числе в проектах МАГАТЭ/ИНПРО и Поколение-4, анализируются сильные и слабые стороны реакторов большой и малой мощности

## Среди факторов, способствующих развертыванию РММ, отмечается:

- гибкость развертывания (этапность сооружения, почти полное заводское изготовление РУ, масштабируемость, модульность, возможности размещения и доставки);
- эксплуатационная гибкость (маневренность, автономный режим без сети);
- снижение стоимости оборудования, времени и затрат на строительство/лицензирование, меньшие риски потери капитала;
- перспективность включения в гибридные системы с ВИЭ;
- снижение риска и величины ущерба от тяжелых аварий, что позволяет сформировать страховой капитал для покрытия рисков в случае тяжелой аварии.

Указанные свойства могут сыграть значительную роль в стратегиях развертывания ядерной энергетики в странах или регионах с разными условиями и предпочтениями в энергетическом секторе, однако в настоящее время этих положительных свойств РММ оказывается мало для массового распространения

Обсуждаются разные причины медленного развертывания малых реакторов, из которых главной, вероятно, является отсутствие заметного прогресса по снижению удельных капитальных/эксплуатационных затрат и, соответственно, стоимости электроэнергии, определившее низкий интерес пользователей и инвесторов

Продолжается поиск такого облика малых реакторов, который бы в полной мере отразил их специфические особенности и позволил улучшить их коммерческие показатели

Должны быть рассмотрены разные возможности для решения этой задачи

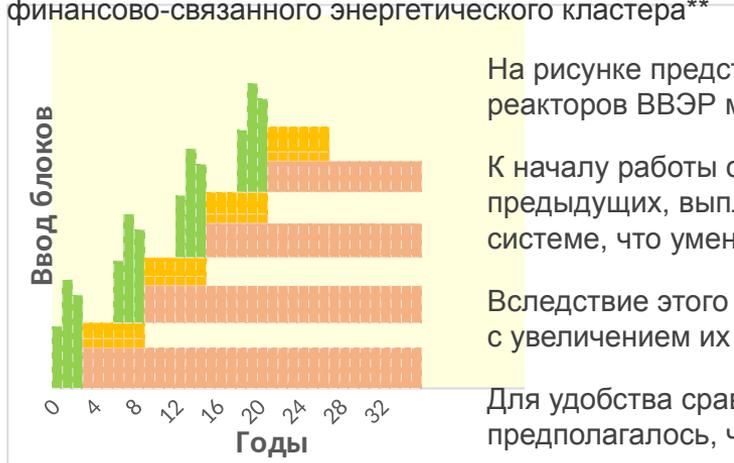
# Сетевая модель ЯЭС с реакторами малой мощности



Наряду со снижением капитальных/эксплуатационных затрат существенный вклад в их продвижение на рынок может внести разработка адекватных моделей развертывания

Установлено\*, что сетевая структура из нескольких энергоблоков с единым управлением, финансируемая акционерами и кредитом, позволяет снизить стоимость электроэнергии по сравнению со стоимостью, генерируемой одним энергоблоком

Из-за меньших инвестиций и более коротких сроков сооружения именно РММ являются перспективными для создания финансово-связанного энергетического кластера\*\*



На рисунке представлена схема вложения и возврата денежных средств в кластер из 4-х реакторов ВВЭР мощностью 300 МВт (эл.)

К началу работы очередного энергоблока кредитные деньги, вложенные в сооружение предыдущих, выплачены, так что новый кредит относится не к одному блоку, а ко всей системе, что уменьшает составляющую кредита в стоимости электроэнергии

Вследствие этого кредит с ростом числа блоков может быть увеличен, а доля акций – снижена с увеличением их доходности из-за отнесения доходов к меньшему объему вложений

Для удобства сравнения экономических показателей энергоблока большой и малой мощности предполагалось, что их удельные капитальные и эксплуатационные затраты одинаковы

■ Инвестиции    ■ Выплаты по акциям    ■ Выплаты по кредиту

\*Усанов В.И. Системная конкурентоспособность ядерных энергоисточников. Ядерная энергетика. N.2, 2018. с. 25-36

\*\*В. И. Усанов, С. А. Квятковский. Эффективность инвестиций в создание финансово-связанного энергетического кластера с ядерными реакторами малой мощности. Известия РАН. Энергетика. . N.6, 2022, с.10-22

# Исходные данные



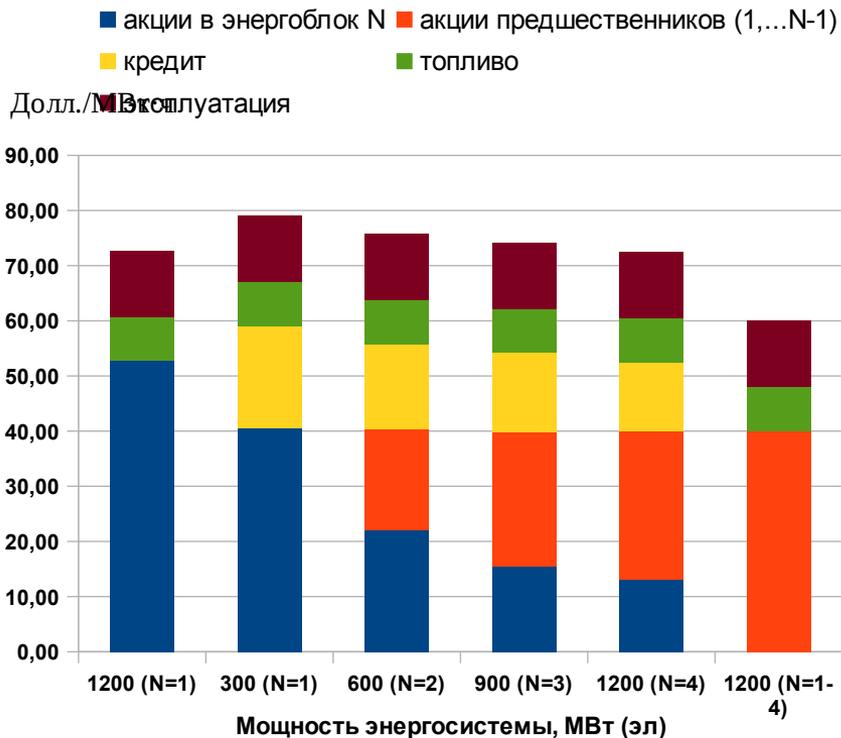
## Технико-экономические характеристики

|   | Реактор<br>1200 МВт(эл) | Реактор<br>300 МВт (эл) |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Установленная мощность, МВт(э)                | 1200                    | 300                     |
| КПД   | 33                      | 33                      |
| КИУМ, %                                       | 92                      | 92                      |
| Срок эксплуатации, годы                       | 60                      | 60                      |
| Время сооружения, лет                         | 6                       | 3                       |
| Удельные капитальные затраты,<br>долл./кВт    | 4000                    | 4000                    |
| Удельные операционные затраты,<br>долл./МВт.ч | 12                      | 12                      |
| Удельные топливные затраты,<br>долл./МВт.ч    | 8                       | 8                       |
| Число энергоблоков в системе, шт.             | 1                       | 4                       |
| Периодичность сооружения, годы                | -                       | 9                       |
| Цена электроэнергии, долл./МВт.ч              | 80                      | 80                      |

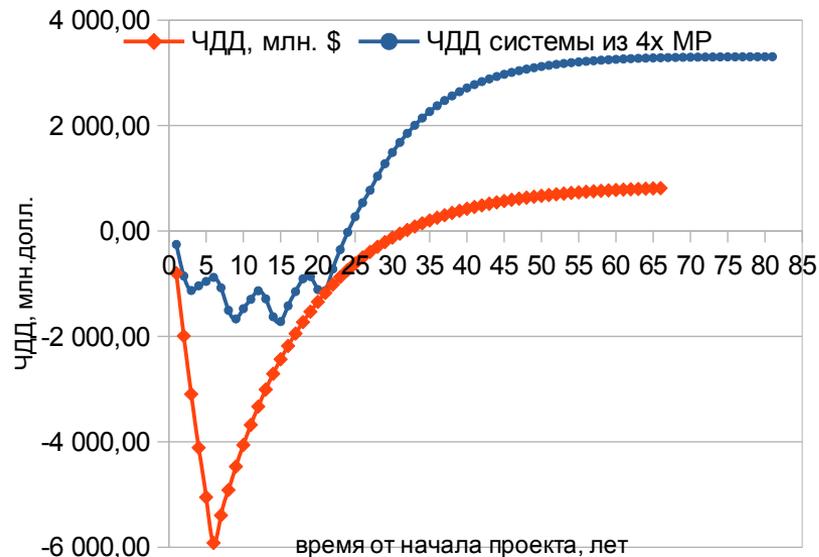
## Финансовые условия

|                               | LCOE<br>1X1200 | Модель<br>Сеть<br>4X300                 |
|-------------------------------|----------------|---|
| Ставка дисконтирования, %     | 8              |   |
| Ставка по кредиту             | 8              | <b>8</b>                                |
| Ставка по акциям по блокам, % | -              | <b>8 (N1), 9 (N2), 10 (N3), 11 (N4)</b> |
| Срок погашения кредита, лет   | -              | 6                                       |
| Срок выплат по акциям, лет    | 60             | 60                                      |

# Результаты расчета стоимости электроэнергии и чистого дисконтированного дохода



Структура стоимости электроэнергии энергоблока большой мощности и кластера



Чистый дисконтированный доход энергоблока 1200 МВт(эл) и кластера из 4-х блоков 300 МВт(эл) при одних и тех же удельных затратах на сооружение и одной и той же цене электроэнергии

# Показатели коммерческой эффективности



| Показатели коммерческой эффективности            | Энергоблок<br>1200 МВт(эл.) | Кластер<br>1200 МВт (эл.) |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| Стоимость электроэнергии, долл./Мвт*ч            | 78                          | 79 - 60                   |
| Дисконтированный доход, млн. долл.               | 813                         | 3297                      |
| Индекс доходности инвестиций, отн. ед.           | 1,14                        | 1,86                      |
| Срок окупаемости, лет                            | 33                          | 24                        |
| Доходы акционеров, %                             | 8                           | 8 - 14                    |
| Эффективность акционерного капитала, кВт*ч/долл. | 91,7                        | 141,8                     |

Поскольку блоки малой мощности финансово связаны в единый объект, можно рассматривать улучшение экономических показателей кластера как своего рода масштабный эффект, повышающий коммерческую привлекательность малых реакторов и определяющий перспективу создания сетевых структур

# Перспективы создания сетевой структуры ЯЭС с реакторами малой мощности

Создание сетевой структуры малых реакторов с централизованным управлением и акционерным/кредитным финансированием ставит определенные требования к логистике ее построения

Ввод энергоблоков должен планироваться с учетом региональных планов развития, технико-экономических характеристик блоков и условий предоставления инвестиций

Сетевая структура может оказаться востребованной в рамках развития стратегии освоения и развертывания малых реакторов, включающей:

- широкое использование этих реакторов для энергообеспечения регионов, удаленных от централизованных энергосетей с рассредоточенными потребителями;
- исследования и разработки по удешевлению конструкции, сокращению времени изготовления и транспортировки, снижению численности персонала, разработке нормативных требований, учитывающих специфику РММ;
- массовое заводское изготовление реакторов малой мощности промышленностью;
- развитие партнерства государства с бизнесом, финансовыми структурами (банками, инвестиционными фондами) и т.д.

- Интеграция энергоблоков в единую финансовую систему позволяет реализовать своеобразный эффект масштаба, что позволяет:
  - **обеспечить экономически обоснованное получение займов кредитных организаций;**
  - **улучшить структуру стоимости электроэнергии и снизить ее величину;**
  - **уменьшить финансовую нагрузку на акционеров и значительно увеличить их доходы;**
  - **повысить показатели коммерческой эффективности проекта.**
- Создание сетевой структуры является инновационным институциональным решением и его реализации будет способствовать низкая кредитная ставка, улучшение технико-экономических характеристик реакторов малой мощности до уровня (или лучше) больших реакторов и их массовое заводское изготовление
- Организация сетевой структуры ЯЭС с реакторами малой мощности может способствовать решению одной из наиболее острых проблем малых реакторов - их коммерческой привлекательности

# *Спасибо за внимание*

**Усанов В.И.**

*Phone: +7 (48439)9 88-41*

*E-mail: [vouss@ippe.ru](mailto:vouss@ippe.ru)*

