

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»  
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XVIII Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**PROCEEDINGS  
of the XVIII International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**2023  
Астана**

**УДК 001+37**  
**ББК 72+74**  
**G99**

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2023» студенттер мен жас ғалымдардың XVIII Халықаралық ғылыми конференциясы = XVIII Международная научная конференция студентов и молодых ученых «GYLYM JÁNE BILIM – 2023» = The XVIII International Scientific Conference for students and young scholars «GYLYM JÁNE BILIM – 2023». – Астана: – 6865 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

**ISBN 978-601-337-871-8**

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001+37**  
**ББК 72+74**

**ISBN 978-601-337-871-8**

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 2023**

## МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ И БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

**Нұрым Қазыбек Айдарұлы**

[kazedu23@gmail.com](mailto:kazedu23@gmail.com)

Ph.D докторант кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель –Сакипов К.Е.

Внешний консультант –Мукушева М.

В настоящее время все большее внимание предприятий атомной отрасли и энергетиков привлекает потенциал малых модульных реакторов (ММР) как конкурентоспособного элемента низкоуглеродных технологий, используемых в интегрированных энергосистемах будущего. На основании определения Всемирной ядерная ассоциация<sup>[1]</sup>, Малыми модульными реакторами являются атомные реакторы, как правило, эквивалентной электрической мощности 300 МВт или менее, спроектированные по модульной технологии с использованием модульного заводского изготовления с целью экономии за счет серийного производства и коротких сроков строительства.

Однако сегодня в основном действующие и строящиеся атомные электростанции (АЭС) представляют собой крупные блоки мощностью порядка 900-1500 МВт, для которых характерны большие единовременные финансовые вложения, длительные сроки строительства и освоения. При этом затраты и необходимость резервирования той же мощности в системе на время отключений и простоев увеличиваются. Количество площадок для таких блоков ограничено и к ним предъявляются повышенные требования по сейсмической устойчивости. Для малых стран они избыточны и их рынок сбыта ограничен крупными промышленно развитыми странами. АЭС малой и средней мощности подходят для гораздо большего количества стран и регионов. Малые и средние реакторы из-за их способности удовлетворить потребность в гибком производстве электроэнергии для широкого круга пользователей и заменить устаревшие электростанции, работающие на ископаемом топливе. Они также обеспечивают улучшенные характеристики безопасности благодаря встроенным и пассивным функциям безопасности, более низким первоначальным капитальным затратам и подходят для когенерации и приложений, не связанных с производством электроэнергии.

Согласно данным МАГАТЭ, во всем мире существует около 50 проектов и концепций SMR. Большинство из них находятся на различных стадиях разработки, а некоторые заявлены как готовые к развертыванию в ближайшем будущем. В настоящее время четыре ММР находятся на продвинутых стадиях строительства в Аргентине, Китае и России, а несколько существующих и новых стран, занимающихся ядерной энергетикой, проводят исследования и разработки ММР.<sup>[1]</sup>

Многие государства сосредоточены на разработке малых модульных реакторов, которые определяются как усовершенствованные реакторы для выработки энергии с модульной мощностью до 300 МВт. Эти реакторы спроектированы с использованием передовых технологий, могут использоваться в качестве одиночных или многомодульных установок и предназначены для доставки коммунальным предприятиям в готовом виде для установки по мере необходимости. Разрабатываются ММР для всех основных линий реакторов: водо охлаждаемых реакторов, высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, жидкометаллических, натриевые и газоохлаждаемые реакторы со спектром быстрых нейтронов, реакторы на расплавах солей.

Среди названных линии реакторов в данной статье будут рассмотрены только водо охлаждаемые типы ММР. Так как реакторы с водяным охлаждением (РВО), проверенные временем, и имеет множество преимуществ с точки зрения безопасности и эксплуатации. РВО

реактора играют значительную роль в коммерческой ядерной отрасли с момента ее создания и в настоящее время составляют более 95 процентов всех действующих гражданских энергетических реакторов в мире.<sup>[2]</sup> Кроме того, на текущий момент большинство разрабатываемых и строящихся ядерных реакторов имеют водяное охлаждение. Реакторы с водяным охлаждением были краеугольным камнем атомной промышленности в 20-м веке. Из действующих в настоящее время 442 реактора 96 процентов имеют водяное охлаждение. Многие из РВО первоначально имели лицензию на эксплуатацию в течение 40 лет, но благодаря достижениям в области знаний срок службы этих реакторов в настоящее время продлевается до 60 лет, с потенциалом работать еще дольше. Конструкции ММР с водяным охлаждением, основанные на технологиях легководных реакторов (LWR) и тяжеловодных реакторов (HWR) различных конфигураций для наземного использования с подключением к электросети. Эти проекты представляют собой зрелую технологию, учитывая, что большинство крупных электростанций, работающих сегодня, представляют собой реакторы с водяным охлаждением. В этой статье будут описаны три конструкции ММР с водяным охлаждением из США и одной из них совместно с Японией, которые включают в себя встроенные PWR, компактные PWR петлевые PWR реактора.

Таблица 1. Типы ММР и статус на сегодняшний день

Дизайн	Мощность МВт (э)	Тип	Страна	Разработчик	Статус
NuScale	12 × 60	PWR	США	NuScale Power inc.	В стадии рассмотрения регулирующими органами
SMR-160	160	PWR	США	Holtec International	Предварительный проект
BWRX- 300	270-290	BWR	США, Япония	GE Hitachi	Предварительное лицензирование
RITM- 200	2 × 53	PWR	РФ	Африкантов ОКБМ	В разработке
VK-300	250	BWR	РФ	НИКИЕТ	Детальный проект
ACP 100	100	PWR	Китай	CNNC	Детальный проект
HAPPY 200	200	PWR	Китай	SPIC	Детальный проект
SMART	107	PWR	Южная Корея, Саудовска я Аравия	KAERI, K.A.CARE	Сертификация
CAREM	30	PWR	Аргентин а	CNEA	В разработке

**NuScale Power Module™ (NPM)** представляет собой небольшой реактор с водой под давлением (PWR) с легким водяным охлаждением. Завод NuScale является масштабируемым и может быть построен для размещения различного количества NPM в соответствии с потребностями заказчика в энергии. NPM мощностью 60 МВт (эл.) обеспечивает пошаговую мощность, которая может быть увеличена до 720 МВт (эл.) брутто на одном объекте с двенадцатью модулями. Конфигурация с двенадцатью модулями является эталонным размером предприятия для проектирования и лицензирования. Каждый NPM представляет собой автономный модуль, который работает независимо от других модулей в многомодульной конфигурации. Все модули управляются из единой диспетчерской. Важные конструктивные особенности станции включают изготовленный на заводе компактный модуль, поток теплоносителя с естественной циркуляцией для всех

режимов работы, защитную оболочку высокого расчетного давления, использование проверенной технологии легководного реактора и разработку конструкции на основе испытаний.<sup>[3]</sup>

В конструкции NuScale используется упрощенная конструкция, проверенная технология легководного реактора, модульная ядерная система пароснабжения, энергоблоки заводского изготовления и системы пассивной безопасности, позволяющие неограниченно время восстановления после проектной аварии без электроэнергии, действий оператора и подпиточной воды. NPM предназначен для эффективной работы в режиме полной мощности с использованием естественной циркуляции в качестве средства обеспечения активной зоны поток теплоносителя, что устраняет необходимость в циркуляционных насосах реактора.



Рисунок 1. Дизайн конструкции NuScale Power Module™ (NPM).<sup>[4]</sup>

**BWRX-300** представляет собой экономичный маломощный реактор мощностью 300 МВт с водяным охлаждением и естественной циркуляцией, использующий простой, естественный системы безопасности, управляемые явлениями. Это 10-е поколение реактора с кипящей водой (BWR), представляющее самая простая, но самая инновационная конструкция BWR с тех пор, как General Electric начала разработку ядерных реакторов в 1955. BWRX-300 представляет собой эволюцию лицензированного NRC США ESBWR мощностью 1520 МВт (эл.). Дизайн был разработан в строгом соответствии с основами ядерной безопасности и защиты, которая следует руководящим принципам МАГАТЭ по глубоководной защите.<sup>[5]</sup>

Целевые области применения BWRX-300 включают производство электроэнергии с базовой нагрузкой, генерация в диапазоне от 50% до 100% мощности, централизованное теплоснабжение и технологическое тепло до 287°C. Он разработан обеспечить чистую и

гибкую генерацию энергии, конкурентоспособную по стоимости по сравнению с электростанциями, работающими на природном газе.

Разработанный на основе лицензированного ESBWR, дизайн BWRX-300 оптимизирует стоимость строительства, эксплуатации, техническое обслуживание, укомплектование персоналом и вывод из эксплуатации.

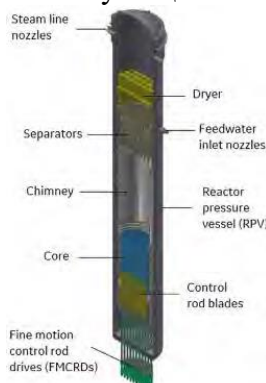


Рисунок 2. Дизайн конструкции BWRX-300.<sup>[6]</sup>

**SMR-160** был разработан Holtec International как усовершенствованный небольшой модульный реактор PWR, производящий тепловую мощность 525 МВт или электрическую мощность 160 МВт. Конструкция установки включает в себя надежные системы пассивной безопасности для достижения высоконадежной конструкции, которая защищает инвестиции владельца от всех предполагаемых несчастных случаев, саботажа или непреднамеренных действий человека. Конструкция SMR-160 "безопасна при отходе" - для устранения проектных аварий и безопасного отвода тепла распада не требуется никаких действий оператора. Растение значительно упрощенный по сравнению с обычными установками для улучшения его технологичности, конструктивности и ремонтпригодности, отчасти благодаря включению полностью пассивных систем безопасности и первичного контура естественной циркуляции.<sup>[7]</sup>

Модульная конструкция SMR-160 предусматривает изготовление самых крупных компонентов, пригодных для отправки, до прибытия на объект. Для каждого единственного в своем роде объекта предусмотрен 24-месячный срок строительства.

Основным применением SMR-160 является производство электроэнергии с помощью дополнительного когенерационного оборудования (например, производство водорода, централизованное теплоснабжение и опреснение морской воды). Конструкция легко настраивается для установки в местах с дефицитом воды с использованием конденсаторной технологии Holtec International с воздушным охлаждением. SMR-160 способен как к "черному запуску", так и к изолированной работе, что делает установку идеальной для мест с нестабильными электросетями или автономных применений.



Рисунок 3. Дизайн конструкции BWRX-300.<sup>[8]</sup>

Ключевыми движущими силами развития ММР являются удовлетворение потребности в гибком производстве электроэнергии для более широкого круга пользователей, замена устаревших блоков ТЭЦ, работающих на ископаемом топливе, повышение показателей безопасности и повышение экономической доступности.

Республика Казахстан имеет огромную территорию и большие расстояния между населенными пунктами, что делает передачу электроэнергии по сетям очень затратной. Внедрение малых модульных реакторов в энергетическую систему открывает возможность их широкого применения для удаленных регионов с менее развитой инфраструктурой и открывает возможности создания синергетических гибридных энергетических систем, сочетающих ядерные и альтернативные источники энергии, в том числе возобновляемые.

#### **Список использованных источников**

1. Промежуточный отчет Специального комитета президента Американского ядерного общества по вопросам лицензирования реакторов малой и средней мощности (ММР), Американское ядерное общество (июль 2010 г.)
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission (2022), “Application Documents for the NuScale Design”, [www.nrc.gov/reactors/new-reactors/smr/licensing-activities/nuscale/documents.html](http://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/smr/licensing-activities/nuscale/documents.html) (данные от 12 марта 2023 г.)
3. МАГАТЭ, Water cooled reactors, <https://www.iaea.org/topics/water-cooled-reactors>, (данные от 15 марта 2023 г.)
4. POWER (2018), “NuScale and Ontario Power Generation Sign MOU to Support SMR Expansion to Canadian Market”, [www.powermag.com/press-releases/nuscale-and-ontario-power-generation-sign-mou-to-support-smr-expansion-to-canadian-market/](http://www.powermag.com/press-releases/nuscale-and-ontario-power-generation-sign-mou-to-support-smr-expansion-to-canadian-market/), (данные от 28 марта 2023 г.)
5. Thermal Power (MWth): Fermi (n.d.), “BWRX-300 Linda”, <https://fermi.ee/en/bwr-x-300/>, (данные от 28 марта 2023 г.)
6. Outlet Temperature (°C): Hyvärinen, J. and J. Vihavainen (2022), “BWRX-300 Isolation Condenser System Analysis”, Lahti University of Technology LUT, [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164715/Pomogaev\\_thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164715/Pomogaev_thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y), (данные от 28 марта 2023 г.)
7. American nuclear society, <https://www.ans.org/news/article-2719/overview-of-holtecs-smr160/>, (данные от 15 марта 2023 г.)
8. U.S. Nuclear Regulatory Commission (2021), <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/smr/licensing-activities/pre-application-activities/holtec.html>, (данные от 15 марта 2023 г.)

**ӘОЖ 536.25**

### **БЕЛСЕНДІ ТОТЫҚТЫРҒЫШЫ БАР АУА АҒЫНЫНДАҒЫ РЕАКТИВТІЛІГІ ТӨМЕН КӨМІРДІҢ ТҮТАНУЫ МЕН ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ**

**Нұрғалиева Аяжан Ғалымжанқызы**

[nurgalieva\\_ayazhan@mail.ru](mailto:nurgalieva_ayazhan@mail.ru)

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ

М098 (7М07717) Жылу энергетика- ББТ магистранты, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі –Сабденов К.О.

Реактивтілігі төмен қатты отынның тұтану және жану процестеріндегі құбылыстардың табиғаты өте күрделі және аз зерттелген. Осыған байланысты көрсетілген процестерді математикалық модельдеу әдістері ерекше мәнге ие болады [1, 2].

Бұл жұмыста көміртек реакциясының күрделі химиялық механизмін, ұшқыш заттардың бөліну және жану кинетикасын, жанып тұрған бөлшектердің жылу және масса алмасу ерекшеліктерін және т.б. ескеретін математикалық модельді белсендірілген