



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ОПИСАНИЯ ДВАДЦАТИ
ЗАРУБЕЖНЫХ
ПРОГРАММНЫХ
СРЕДСТВ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯЭС

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ
ЗАРУБЕЖНОГО
ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
РОССИЙСКИМ
СПЕЦИАЛИСТАМ

АКТУАЛЬНЫЕ
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯЭС

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

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

ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Москва
2022

УДК 621.311

ББК 31.4

З 35

З 35 Зарубежные программные средства технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем. Информационно-аналитический отчет / Андрианов А.А., Гурин А.В., Купцов И.С., Птицын П.Б. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 112 с.

ISBN 978-5-498-00896-7

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022

Подписано в печать 2.09.2022. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.
Гарнитура Rosatom. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,02.
Тираж 100 экз. Заказ № 6173.

Отпечатано в ООО «Элефант»:
610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,
www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ: Зарубежные программные средства технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем.

АВТОРЫ:

Андрианов А.А., руководитель группы разработки АИ и ИИ отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Гурин А.В., советник группы разработки АИ и ИИ отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Купцов И.С., советник группы разработки АИ и ИИ отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Птицын П.Б., заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

РЕФЕРАТ:

В настоящем документе представлены краткие описания 20 зарубежных и международных программных средств технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем, включая информацию об организации-разработчике, функциональные возможности, список объектов моделирования, ключевые приближения, ссылки на публикации, области применения. Также приводятся оценка доступности зарубежного программного обеспечения технико-экономического моделирования российским специалистам и результаты сопоставления степени «завершенности» отечественного и зарубежного программного обеспечения технико-экономического моделирования. Обозначены актуальные направления развития программного обеспечения технико-экономического моделирования. Более подробную информацию об описанных в настоящем документе программных средствах можно получить на отраслевом портале технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем: <https://ukssm.rosatom.ru/sites/nii-tem/>.

Работа выполнена в рамках Плана деятельности отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР) на 2021 г. (п. 4.5).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

технико-экономическое моделирование, сценарный анализ, атомная энергетика, ядерно-энергетическая система, ядерные реакторы, ядерный топливный цикл, программное обеспечение.

ЦИТИРОВАНИЕ:

Зарубежные программные средства технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем. / Андрианов А.А., Гурин А.В., Купцов И.С., Птицын П.Б. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 112 с. – Рус. – Деп. 28.04.2022, № 13-В2022.

TITLE:

Non-Russian software tools for technical and economic modelling of nuclear energy systems.

AUTHORS:

Andrianov A.A., Gurin A.V., Kuptsov I.S., Ptitsyn P.B., Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise “Science and Innovations”, State Atomic Energy Corporation “Rosatom”.

ABSTRACT:

This report provides brief descriptions of 20 non-Russian software tools for technical and economic modelling of nuclear energy systems, including information about the developer, functionality, modelling objects, key assumptions, references, and areas of application. The results of assessing the availability of foreign and international software tools for technical and economic modelling to Russian specialists and comparing the level of completeness of national and foreign software tools for technical and economic modelling are also discussed. The current trends in the development of software tools for technical and economic modelling are considered. The report was prepared as part of the Rosatom Center for Analytical Research and Developments Action Plan for 2021 (item 4.5).

KEYWORDS:

technical and economic modelling, scenario analysis, nuclear energy, nuclear energy system, nuclear technologies, nuclear fuel cycle, software tool.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
----------------------	----------

1. ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	11
---	-----------

ANICCA.....	11
CAFCA.....	16
COSI.....	19
CYCLUS.....	26
DANESS.....	31
DYMOND.....	34
FAMILY21.....	37
FCOPT.....	40
MARKAL.....	43
MESSAGE.....	46
NMB.....	50
NES simulators.....	54
NFCSim.....	57
NFCSS (VISTA).....	60
ORION.....	65
ROADMAPS-ET.....	68
SMAFS.....	71
TR_EVOL.....	73
VEGAS.....	76
VISION.....	79

2. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	83
Сопоставление отечественного и зарубежного программного обеспечения технико-экономического моделирования ЯЭС.....	83
Оценка доступности зарубежного программного обеспечения технико-экономического моделирования ЯЭС российским специалистам.....	89
Актуальные направления развития программного обеспечения технико-экономического моделирования ЯЭС.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	99
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Расширенный реестр программного обеспечения технико-экономического моделирования ЯЭС, разработанного за рубежом.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Крупнейшие международные конференции и семинары, рабочие группы и совместные инициативы по тематике технико-экономического моделирования ЯЭС.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Отраслевой ресурс по программным средствам технико-экономического моделирования ЯЭС.....	108





ВВЕДЕНИЕ

Последние несколько лет наблюдается устойчивый рост интереса во всем мире к программным средствам, используемым для проведения технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем (ЯЭС) и сценарных (системных) исследований в области ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Такого рода программные средства позволяют оценивать изменение во времени объемов материальных потоков по переделам ЯТЦ, потребности в разнообразных услугах и товарах ЯТЦ, показатели эффективности и конкурентоспособности варианта ЯЭС с учетом многообразных внешних и внутренних факторов. Соответствующие расчетные модели могут конструироваться на уровне энергокомпании, страны, региона или даже всего мира и предполагают репрезентативное представление ключевых переделов сопряженного ЯТЦ и физических процессов, происходящих с ядерными материалами в процессе их циркуляции в топливном цикле ЯЭС.

Программные средства технико-экономического моделирования ЯЭС и сценарных исследований в области ЯТЦ используются профильными специалистами в аналитических центрах при правительствах, в корпоративном секторе, на предприятиях атомной промышленности, в организациях по управлению НИР/НИОКР, в структурах, ответственных за об-

ращение с радиоактивными отходами (РАО), независимыми экспертами в области атомной науки и техники, прочими заинтересованными сторонами с целью:

- комплексного анализа и технико-экономической оценки возможных вариантов развертывания ЯЭС;
- оптимизации вариантов ЯЭС по набору показателей эффективности с учетом ресурсных и инфраструктурных ограничений;
- сопоставления альтернативных вариантов ЯЭС, способов организации ЯТЦ, подходов к обращению с РАО и выбора из них наиболее приемлемых в данных условиях;
- исследования влияния технологических усовершенствований и новых разработок на конкурентоспособность, устойчивость и эффективность ЯЭС.

Соответствующие программные средства позволяют экспертам оценивать изменяющиеся во времени характеристики и показатели эффективности как отдельных составляющих системы, так и всей ЯЭС при:

- выполнении технико-экономических исследований и обоснований применительно к объектам и технологиям ЯЭС на глобальном, региональном, национальном или корпоративном уровнях;
- осуществлении количественного инвентаризационного анализа в отношении потоков материалов на ключевых переделах ЯТЦ (от добычи урана/тория до окончательного захоронения РАО) для разнообразных комбинаций энергетических реакторов и сопряженных с ними объектов ЯТЦ;
- оптимизации технологических схем объектов и технологий ЯТЦ;
- моделировании эволюции ЯЭС на различных уровнях и с различной степенью детализации: от одного ядерного реактора на протяжении его жизненного цикла до глобального, изменяющегося во времени парка ядерных реакторов в составе единой ЯЭС нескольких регионов, стран и/или энергокомпаний.

Программные средства для технико-экономического моделирования ЯЭС и сценарных исследований в области ЯТЦ позволяют выполнять сравнительную оценку и отбор вариантов структурных компонентов ЯЭС с учетом общесистемного окружения:

- при сравнении эффективности ядерных реакторов и сопряженных с ними вариантов реализации ЯТЦ, различных вариантов обращения с РАО;
- для артикуляции требований к новым ядерным энерготехнологиям и технологиям ЯТЦ при их проектировании;

■ с целью проведения инвестиционного анализа и анализа денежных потоков применительно к новым реакторным установкам и объектам ЯТЦ.

Соответствующие расчетные инструменты интегрируют в себе субмодели различных уровней: физические модели, позволяющие осуществить оценку изменения изотопного состава и характеристик ядерного топлива в реакторах и во внешней части ЯТЦ в процессе эволюции ЯЭС; модели динамики движения ядерных материалов в топливном цикле; модели оценки показателей экономической эффективности ЯЭС; модели рынков АЭС, товаров и услуг ЯТЦ. Программные средства используются совместно со специализированными базами данных, содержащими информацию о текущем состоянии и предыстории развития ЯЭС на соответствующем уровне (глобальном, региональном, страновом, корпоративном), а также технико-экономические параметры действующих и запланированных к вводу реакторных установок и установок ЯТЦ.

Несмотря на существующий арсенал моделей, подходов, программных средств для системных исследований перспектив развития ядерной энергетики, разработанных российскими специалистами, в настоящее время ведется планомерная работа по их дальнейшему развитию и совершенствованию. В связи с чем представляется целесообразным наравне с российскими практиками также учитывать опыт создания и эксплуатации зарубежного программного обеспечения (методические подходы, расчетные модели, исходные данные, объекты моделирования, функциональные возможности и пр.).

Опыт, приобретенный при создании и использовании зарубежных инструментов, может оказаться полезным для артикуляции требований к отечественным расчетным инструментам технико-экономического моделирования ЯЭС нового поколения, а сами зарубежные программные средства (или результаты, полученные с их использованием) могут быть задействованы для верификации и валидации отечественных разработок.

Будучи соответствующим образом адаптированными, зарубежные расчетные инструменты, распространение которых допускается их разработчиками, могут быть также использованы отечественными специалистами для решения конкретных задач в рамках комплексных технико-экономических исследований по обоснованию перспективной структуры национальной ЯЭС.

Одновременно с этим необходимо отметить, что на русском языке публикаций, в которых содержались бы описания функциональных и модельных особенностей наиболее известных зарубежных программных

средств, на текущий момент нет. Цель данного аналитического отчета – восполнить имеющийся информационный пробел. Отчет может быть полезен лицам, вовлеченным в процесс разработки и совершенствования отечественных программных средств технико-экономического моделирования ЯЭС, а также участникам работ по системно-аналитическим и прогнозным исследованиям в обоснование приоритетов развития ядерных технологий.

В настоящем документе представлены краткие описания 20 зарубежных и международных программных средств технико-экономического моделирования ЯЭС¹, включая информацию об организации-разработчике, функциональные возможности, список объектов моделирования, ключевые приближения, приводятся визуальные отображения, порождаемые программой, ссылки на публикации, области применения. Программы в отчете расположены в алфавитном порядке. Также приводятся результаты оценки доступности зарубежного программного обеспечения технико-экономического моделирования российским специалистам и проводится сопоставление степени «завершенности» отечественного и зарубежного программного обеспечения данной категории. Обсуждаются актуальные направления развития программного обеспечения технико-экономического моделирования.

Более подробную информацию об описанных в настоящем документе программных средствах, а также ссылки на первичные информационные источники, которые были использованы для подготовки настоящего отчета, можно найти на отраслевом портале технико-экономического моделирования ЯЭС: <https://ukssm.rosatom.ru/sites/nii-tem/>.

¹Ряд программных средств, описанных в настоящем отчете, отраслевой Центр аналитических исследований и разработок имеет право распространять в научном дивизионе и обучать использовать их для целей проведения стратегического планирования в атомной отрасли.

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)

