



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

КАТАЛОГ

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ, АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СИСТЕМ
ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

Москва
2021



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

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ,
АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СИСТЕМ
ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ОБЪЕКТОВ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ:
КАТАЛОГ**

Москва
2021

УДК 621.039

ББК 31.4

П 78

П 78 Программные комплексы технико-экономического моделирования, анализа и оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии: каталог / Андрианов А.А., Валуев О.Н., Гурин А.В., Квятковский С.А., Косоуров Е.К., Крянев А.В., Купцов И.С., Макеева И.Р., Молоканов Н.А., Мосеев А.Л., Муравьев Е.В., Павлов А.С., Плотников А.С., Птицын П.Б., Родионова Е.В., Теплов П.С., Федоров М.И., Фесенко Г.А.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 86 с.

ISBN 978-5-498-00810-3

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,00.
Тираж 60 экз. Заказ № 6304.

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

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Программные комплексы технико-экономического моделирования, анализа и оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии: каталог.

АВТОРЫ:

Андрианов А.А., Государственная корпорация «Росатом», частное учреждение «Наука и инновации», отраслевой Центр аналитических исследований и разработок, г. Москва, Российская Федерация

Валуев О.Н., Акционерное Общество «Федеральный центр науки и высоких технологий «Специальное научно-производственное объединение «Элерон» Госкорпорация «Росатом», г. Москва, Российская Федерация

Гурин А.В., Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», г. Москва, Российская Федерация

Квятковский С.А., Государственная корпорация «Росатом», частное учреждение «Наука и инновации», отраслевой Центр аналитических исследований и разработок, г. Москва, Российская Федерация

Косоуров Е.К., Акционерное общество «ТВЭЛ», г. Москва, Российская Федерация

Крянев А.В., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация

Купцов И.С., Государственная корпорация «Росатом», частное учреждение «Наука и инновации», отраслевой Центр аналитических исследований и разработок, г. Москва, Российская Федерация

Макеева И.Р., Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск, Российская Федерация

Молоканов Н.А., Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежалы» г. Москва, Российская Федерация, г. Москва, Российская Федерация

Мосеев А.Л., Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского», г. Обнинск, Российская Федерация

Муравьев Е.В., Акционерное общество «Прорыв», г. Москва, Российская Федерация

Павлов А.С., Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций», г. Москва, Российская Федерация

Плотников А.С., Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Отраслевой центр капитального строительства», г. Москва, Российская Федерация

Птицын П.Б., Государственная корпорация «Росатом», частное учреждение «Наука и инновации», отраслевой Центр аналитических исследований и разработок, г. Москва, Российская Федерация

Родионова Е.В., Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», г. Москва, Российская Федерация

Теплов П.С., Акционерное общество «Концерн Росэнергоатом», г. Москва, Российская Федерация

Федоров М.И., Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Российская Федерация

Фесенко Г.А., Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Российская Федерация

РЕФЕРАТ:

В настоящем документе приводятся краткие описания используемых в Российской Федерации программных средств для технико-экономического моделирования, анализа и комплексной оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии с описанием их основных характеристик и областей возможного применения. В каталог включены как национальные, так и международные расчетные инструменты, используемые для сценарного анализа и поддержки принятия решений в приложении к задачам ядерно-энергетического планирования и оценки технологий. Все программы систематизированы по следующим характеристикам: входные и выходные данные, функциональные и пользовательские возможности, используемые математические

методы, особенности реализованных расчетных моделей, язык программирования, взаимосвязи с другими расчетными средствами. В документе представлены описания десяти программных комплексов для сценарно-динамического анализа и технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем и десять описаний программных комплексов технико-экономической оценки объектов использования атомной энергии. Также приводится краткая сравнительная характеристика рассмотренных программных средств технико-экономического моделирования. Каталог подготовлен в рамках реализации меморандума отраслевого семинара «Технико-экономическое моделирование многокомпонентных ядерно-энергетических систем» (Госкорпорация «Росатом», г. Москва, 13 февраля 2020 г., п.2.2).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

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

ЦИТИРОВАНИЕ:

Программные комплексы технико-экономического моделирования, анализа и оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии: каталог. / Андрианов А.А., Валуев О.Н., Гурин А.В., Квятковский С.А., Косоуров Е.К., Крянев А.В., Купцов И.С., Макеева И.Р., Молоканов Н.А., Мосеев А.Л., Муравьев Е.В., Павлов А.С., Плотников А.С., Птицын П.Б., Родионова Е.В., Теплов П.С., Федоров М.И., Фесенко Г.А.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 112 с. – Рус. – Деп. 21.05.21, № 36-В2021.

TITLE:

Software tools for techno-economic modelling, analysis and assessment of nuclear energy systems and their components: Catalogue

AUTHORS:

Andrianov A.A., Fedorov M.I., Fesenko G.A., Gurin A.V., Kosourov E.K., Kryanov A.V., Kuptsov I.S., Kvyatkovsky S.A., Makeeva I.R., Molokanov N.A., Moseev A.L., Murayev E.V., Pavlov A.S., Plotnikov A.S., Ptitsyn P.B., Rodionova E.V., Teplov P.S., Valuev O.N.

Rosatom Center for Analytical Research and Developments (CARD), Science and Innovations – Nuclear Industry Scientific Development, Private Enterprise, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

ABSTRACT:

This document provides brief descriptions of software tools most often used in the Russian Federation for technical and economic modelling, scenario analysis and comprehensive assessment of nuclear energy systems and their specific components with a description of their main characteristics and applications areas. The catalogue includes both national and international calculation tools used for performing scenario analyses and providing decision support as applied to nuclear energy planning and technology assessment. All the software tools are systematized according to the following characteristics: input and output data, functional and user capabilities, mathematical methods involved, features of the implemented models, programming language, and relationships with other calculation tools. The catalogue includes descriptions of ten software tools for performing a dynamic scenario analysis and technical and economic modelling of nuclear energy systems as well as ten descriptions of software tools for making technical and economic assessments of specific nuclear energy system components. A brief comparative characteristic of the considered software tools for technical and economic modelling of nuclear energy systems is also given. The catalogue was prepared as part of the memorandum of the Rosatom seminar “Technical and economic modelling of multicomponent nuclear energy systems” (SC “Rosatom”, Moscow, February 13, 2020, item 2.2).

KEY WORDS:

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СЦЕНАРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	11
АТЭК-ЯТЦ (ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ»).....	13
ППМ ЯЭС (ИАТЭ/НИЯУ МИФИ).....	17
СМАК (АО «НИКИЭТ»).....	23
Стратегия-2018 (НИЦ «Курчатовский институт»).....	28
ТЭМ ЯТЦ (АО «ТВЭЛ», НИЦ «Курчатовский институт»)	30
ТЭМ ЯЭС (АО «Концерн Росэнергоатом», НИЦ КИ, ВНИИАЭС).....	33
УСМ-1 (ЧУ «ИТЦП «Прорыв»)	36
CYCLE (АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»).....	39
DESAE (НИЦ «Курчатовский институт»).....	43
MESSAGE (МАГАТЭ).....	46
2. ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	55
ИС TCM NC (ЧУ «ОЦКС»)	51
САПР ПОЛИНОМ (АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»)	56
СППОР (НИЯУ МИФИ, НТЦ ЯРБ).....	58
СУИД «НЕОСИНТЕЗ» (АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»).....	60
COST (АО «ВНИИАЭС»)	65
InterBridge (АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»)	67
FINPLAN (МАГАТЭ)	69
KIND-ET (МАГАТЭ)	71
NEST (МАГАТЭ)	75
ROADMAPS-ET (МАГАТЭ)	79
3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	61
Классификация программных средств технико-экономического моделирования, анализа и комплексной оценки ЯЭС	84
IT-особенности программного обеспечения в области технико-экономического моделирования, анализа и комплексной оценки ЯЭС.....	87
Направления совершенствования программных средств технико-экономического моделирования ЯЭС	89
Актуальные задачи в области технико-экономического моделирования ЯЭС	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	99
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	102
ПРИЛОЖЕНИЕ I	104
ПРИЛОЖЕНИЕ II	108
ПРИЛОЖЕНИЕ III	111



ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-аналитический инструментарий технико-экономического моделирования, анализа и оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии предназначен для решения широкого круга задач, включая обоснование направлений стратегического развития отрасли, проведение комплексной оценки, сопоставления и отбора перспективных ядерных энерготехнологий и технологий топливного цикла для их развертывания в будущем, информационно-аналитическую поддержку экспертизы и подбор новых продуктов и услуг для внутренних и внешних рынков. Подобного рода инструментарий основан на методах математического моделирования и системного анализа, учитывает отраслевые технико-экономические особенности. На международных площадках аналогичные программные средства применяются для решения задач по оценке возможной роли атомной энергетики в обеспечении устойчивого развития, планированию ядерно-энергетических программ и развития ядерной инфраструктуры.

Изменение экономических и внешнеполитических условий, в которых предстоит развиваться атомной отрасли в будущем, сопровождается расширением спектра требований, факторов, целевых ориентиров и показателей эффективности, которые необходимо количественно оценивать и принимать во внимание при проведении соответствующих аналитических исследований, в том числе в рамках усилий по стратегическому и бизнес-планирова-

нию. Параллельно с этим расширяются возможности, предоставляемые современными информационными технологиями и цифровыми платформами, инструментальными средствами работы с большими данными (Big Data), технологиями обработки, анализа и визуализации предметной информации и данных, что необходимо использовать при создании современных программных средств сценарно-динамического анализа и поддержки принятия решений в атомной отрасли. Отмеченные обстоятельства указывают на необходимость своевременного совершенствования существующих и создания новых расчетно-аналитических и программных средств технико-экономического моделирования и комплексной оценки ядерно-энергетических систем в условиях современных вызовов и угроз с целью их последующего целенаправленного практического использования для аналитической поддержки реализации ключевых отраслевых программ.

За более чем полувековую историю развития данной предметной области было создано большое количество программных средств, предназначенных для решения задач, возникавших по мере становления и развития атомной науки и промышленности. Так в 1970–1980-х гг. было разработано значительное количество оптимизационных моделей развивающейся атомной энергетики. Задачи, которые ставились в то время перед разработчиками системных моделей, и ограниченные возможности вычислительной техники обусловили упрощенное описание в соответствующих моделях технологических особенностей переделов ядерного топливного цикла. Основной исследуемой проблемой было обеспечение топливом будущей национальной атомной энергетики: акцент делался на поиск таких структур атомной энергетики на основе тех или иных технологических опций, которые бы обеспечивали либо максимальную экономию природного урана, либо минимум денежных затрат в условиях ограниченности запасов природного урана. В то же время ядерный топливный цикл в деталях не моделировался, а также рассмотрение таких проблем как обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, экологическое воздействие ядерных технологий на окружающую среду, экономические риски, риски несанкционированного распространения ядерных материалов и технологий и ряд других, актуальных на текущий момент, не носило систематического характера в работах того временного периода и обсуждалось лишь в отдельных публикациях.

В 2000-х годах произошел всплеск активности как на международном¹, так и на национальном уровнях в области разработки новых программных

¹ Прежде всего соответствующие инициативы реализовывались по линии Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Агентства по ядерной энергии Организация экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР).

средств для технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем. Популярным становится имитационный подход к моделированию. В общей идеологии того этапа развития мировой атомной энергетики, получившего название «ренессанс атомной энергетики», конечная цель исследований такого рода виделась в предоставлении всесторонней, прозрачной, воспроизводимой и поддающейся проверке информации и данных, характеризующих эффективность атомной генерации по ключевым аспектам устойчивого развития: для экспертов, стейкхолдеров и представителей общественности. На этом этапе программные средства технико-экономического моделирования и сценарно-динамического анализа развивались и совершенствовались в рамках разнообразных национальных и международных инициатив и проектов в следующих направлениях: повышение точности расчетов процессов в объектах и на переделах ядерного топливного цикла, повышение степени детализации описания структуры и организации топливного цикла (включая стадию окончательного захоронения), увеличение интервала прогнозирования до 100 и более лет, расчет экономических, экологических и социально-политических показателей эффективности, учет региональных факторов организации ядерного топливного цикла (включая экспортно-импортные операции с продуктами и услугами топливного цикла), многофакторная оценка вариантов развития ядерно-энергетических систем². Тем не менее соответствующие программные разработки и выполняемые на их основе исследования в большей степени носили «академический» характер и не составляли основу реальных управленческих решений.

Для текущего момента развития данной предметной области характерен тренд на сближение в прошлом чисто научного программно-методического обеспечения технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем с аналитическими подходами, которые используются в стратегическом менеджменте и бизнес-планировании. В рамках данной парадигмы сценарно-динамическому анализу отводится ключевая роль генерации данных по эволюции структуры реакторного парка, материальных потоков в топливном цикле, ключевых показателей эффективности, и эти данные представляются в виде инфопанелей (дашборды), которые удобны для бизнес-планирования и восприятия ответственными лицами и, тем самым, становятся основой реальных управленческих решений.

В соответствии с этим трендом рабочие группы на национальном и международном уровнях ведут разработку новых программных комплексов, обеспечивающих расчетное обоснование облика атомной

2 Под ядерно-энергетической системой понимается система атомных электростанций и связанных с этой системой предприятия ядерного топливного цикла.

энергетики будущего, усовершенствование методов расчета технологических процессов на переделах топливного цикла с целью оптимизации их характеристик, а также методов обоснования конкурентоспособности, безопасности и экологической приемлемости атомной энергетики. Практически во всех современных сценарно-динамических моделях развития атомной энергетики предполагается детальное описание основных переделов открытых и замкнутых ядерных топливных циклов, рассматривается широкий спектр перспективных ядерно-энергетических установок и технологий топливного цикла, реализуются возможности детального описания внешнего окружения национальной ядерно-энергетической системы и взаимосвязи между ними. Популярными становятся «гибридные» имитационно-оптимизационные и прочие альтернативные подходы к моделированию. Осознание вызовов и угроз, стоящих перед ядерными технологиями в новых условиях развития, ставит перед разработчиками программных средств задачу создания инструментария, который мог бы быть использован для поиска таких решений, которые представлялись бы наиболее приемлемыми не только с точки зрения традиционного экономического критерия, но и с учетом более широкого спектра показателей эффективности, характеризующих в том числе экологические и социально-политические факторы.

Тем не менее несмотря на видимые успехи, необходимо признать наличие «белых пятен» и проблемных мест в области технико-экономического моделирования, анализа и комплексной оценки ядерно-энергетических систем. К их числу следует отнести отсутствие единообразного описания многих разнородных объектов и технологий, что не позволяет объединять и интегрировать частные технологические модели в одну систему. Обычно, группы экспертов, специализирующиеся в области технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем, разрознены и не взаимодействуют между собой, а сами группы создаются при руководителях, как правило преследующих различные стратегические цели. Также следует отметить тот факт, что имеет место отсутствие общедоступных математических описаний и инструкций для пользователей, непрозрачность используемых расчетных алгоритмов и исходных данных, а также и то обстоятельство, что для программ данного класса типична неотчуждаемость от своих разработчиков, при этом сам разработчик и является основным пользователем программы. Надо отметить, что указанные проблемы не являются характерными и специфическими исключительно для современных программных средств в данной предметной области, напротив, эти проблемы были унаследова-

ны от прошлых этапов, на которых они не только имели место, но и были выражены в значительно большей степени³.

С целью частично восполнить указанные пробелы была выполнена каталогизация и систематизация актуальных на текущий момент программных средств технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем, разрабатываемых и используемых разными группами отраслевых специалистов. В настоящем каталоге приводятся краткие описания программных средств для технико-экономического моделирования, анализа и комплексной оценки систем ядерной энергетики и объектов использования атомной энергии. В описания включены основные характеристики (разработчик, специализация, расчетные параметры и пр.) и области возможного использования программных средств для целей технико-экономического моделирования и комплексной оценки ядерных энерготехнологий и технологий топливного цикла. В каталог включены как национальные, так и международные расчетные инструменты, которые можно использовать для сценарного анализа и поддержки принятия решений в приложении к задачам ядерно-энергетического планирования в Российской Федерации. Описания программ приводятся в алфавитном порядке в соответствии со следующей логикой: сначала указываются программы, имеющие названия на русском языке, затем – на английском. Текст описаний приведен в редакции экспертов, предоставивших описания программных средств.

В каталог включены описания десяти программных комплексов для сценарно-динамического анализа и технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем и десять описаний программных комплексов технико-экономической оценки объектов использования атомной энергии. Все программы систематизированы по следующим характеристикам: входные и выходные данные, функциональные и пользовательские возможности, используемые математические методы, достоинства и недостатки, язык программирования, возможность взаимосвязи с другими расчетными средствами. Также приводится краткая сравнительная характеристика рассмотренных программных средств технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем.

В приложении I приводится меморандум отраслевого семинара «Технико-экономическое моделирование многокомпонентных ядерно-энергетических систем» (Госкорпорация «Росатом», г. Москва, 13 февраля 2020 г., п.2.2), в соответствии с которым был подготовлен настоящий каталог (п.2.2).

3 Следует отметить, что аналогичная ситуация в принципе имеет место в отношении и зарубежных программных средств технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем, однако за рубежом тренд на преодоление изоляции разработчиков и пользователей различного программного обеспечения в рассматриваемой предметной области уже наметился.

Список экспертов, предоставивших описания программных средств указан в приложении II. Краткое описание отраслевого ресурса по программным средствам технико-экономического моделирования ядерно-энергетических систем приводится в приложении III.

Каталог может быть полезен лицам, вовлеченным в процесс проведения системно-аналитических и прогнозных исследований в обоснование приоритетов развития ядерных технологий. Предполагается дальнейшая актуализация, пополнение и расширение каталога посредством дополнения описаний уже включенных в каталог расчетных средств, а также внесением в него информации о новых программных средствах.

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)

