

УДК 621.352.49, 303.732, 519.862.5
DOI: [10.26102/2310-6018/2023.40.1.012](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.012)

Комплексная модель поддержки принятия решения по реализации проекта внедрения инновационного изделия «стек проточной батареи»

Е.А. Пахомова¹✉, А.В. Пахомов², А.Н.Воропай^{1,3}

¹Государственный университет «Дубна», Дубна, Российская Федерация

²НПО ВНИТЭП, Дубна, Российская Федерация

³ЗАО «МПОТК «Технокомплект», Дубна, Российская Федерация
uni-dubna@mail.ru✉

Резюме. В работе представлено системное междисциплинарное комплексное исследование, объектом которого является процесс подготовки и принятия решения по реализации проекта внедрения инновационного изделия «стек ванадиевой проточной окислительно-восстановительной батареи», предметом – сочетание методов системного анализа и экономико-математических методов для поддержки принятия такого решения. Цель – финансово-экономическое обеспечение условий проекта внедрения новой продукции, для чего решен ряд задач: разработка комплексной модели, предусматривающей с учетом модели жизненного цикла продукта предпроектную и проектную стадии реализации проекта, распределенный денежный поток, расчет точки безубыточности с учетом и без учета временного фактора, сравнение результатов моделирования и оценку верификации и валидации модели, разработку алгоритма и проведение расчетной реализации каждого этапа модели. С точки зрения практической значимости, интегративно полученный результат является разработанной оперативной, адаптивной, малозатратной в применении человеко-машинной системой поддержки принятия решений для выбора оптимальных вариантов путем имитационного моделирования, что обуславливает ее возможность использования в качестве шаблона как в учебных, так и производственных целях, в том числе, для формулирования требований к технико-экономическим расчетам и обоснованиям заданий на разработку проектных материалов. Научная (академическая) значимость представленного исследования видится в развитии авторского оригинального направления – инструментально-методического подхода к адаптации модели тройной спирали для условий России – на мезо-/ микроуровни (в отраслевом / региональном) разрезе.

Ключевые слова: стек проточной батареи, системный подход, системный анализ, алгоритм, человеко-машинная система, имитационное моделирование, жизненный цикл, распределенный денежный поток, инфляция, точка безубыточности, дисконтирование, дефлирование.

Для цитирования: Пахомова Е.А., Пахомов А.В., Воропай А.Н. Комплексная модель поддержки принятия решения по реализации проекта внедрения инновационного изделия «стек проточной батареи». *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1251> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.012

The integrated decision support model for the implementation of the project to introduce an innovative product "flow battery stack"

Е.А. Pakhomova¹✉, А.В. Pakhomov², А.Н. Voropay^{1,3}

¹Dubna State University, Dubna, Russian Federation

²VNITEP JSC, Dubna, Russian Federation

³JSC TECHNOKOMPLEKT, Dubna, Russian Federation
uni-dubna@mail.ru✉

Abstract. A systematic interdisciplinary comprehensive study is presented. The object is the process of preparation and decision-making related to the implementation of the project to introduce an innovative product “vanadium flow redox battery stack”. The subject is a combination of methods of system analysis along with economic and mathematical methods to support the adoption of such a decision. The goal is the financial and economic support for the conditions of the project to introduce new products. For these purposes, a number of objectives were accomplished. A comprehensive model based on the product life cycle model has been developed, which enables the pre-project and project stages of project implementation with consideration to the model of product life cycle, distributed cash flow, calculation of the break-even point regardless of the time factor. The simulation results were compared, and the model verification and validation were evaluated. An algorithm has been developed, and calculations have been carried out for each stage of the model. In terms of practical significance, the obtained integrated result is a developed operational, adaptive, low-cost human-machine decision support system for choosing optimal options through simulation modeling. This system can be used as a template for both educational and production purposes, including formulating the requirements for technical and economic calculations as well as substantiation of objectives for the development of project materials. The scientific (academic) significance of the presented research is seen in the development of the author's original direction – the instrumental and methodological approach to the adaptation of the triple helix model in the context of Russia – at the meso-/micro-levels (in the sectoral / regional) cross-section.

Keywords: flow battery stack, system approach, system analysis, algorithm, human-machine system, simulation, life cycle, distributed cash flow, inflation, break-even point, discounting, deflation.

For citation: Pakhomova E.A., Pakhomov A.V., Voropay A.N. The integrated decision support model for the implementation of the project to introduce an innovative product "flow battery stack". *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1251> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.012 (In Russ.).

Введение

Стремительные геополитические трансформации четко обозначают суверенным государствам необходимость опоры на свои силы в системе хозяйствования (по-другому – мобилизацию внутренних ресурсов), что, в свою очередь, диктует науке, призванной быть локомотивом экономики, соответствующие акценты. Эти акценты требуют пояснения: с учетом цивилизационных достижений, т. е. накопленного опыта благодаря научно-техническому прогрессу, развитие реального сектора экономики, на котором зиждется социально-экономическое развитие, воспринимается как гармоничное сочетание разработки новых знаний и их внедрение на пользу общества. В свою очередь, это восприятие, с точки зрения моделирования, можно лаконично представить триадой «Знания – Согласие – Инновации», где под элементом «Знания» подразумевается научный фактор (университеты, отраслевые НИИ), под элементом «Инновации» – производственный фактор (промышленность, бизнес), под элементом «Согласие» – институционально-правовой фактор государства, ответственный за организацию механизма внедрения научных разработок.

При этом эти элементы, содержательно определенные и оснащенные математическим инструментарием, являются системными, объединение которых позволяет «мыслить так, чтобы видеть целостную картину, при этом опираясь на различные теоретические модели и целостное интуитивное видение сложных объектов», [1], что подразумевает системный подход в научно-практическом смысле [2].

Такие тесные взаимосвязи университетов, производства, власти получили название «тройная спираль», при этом следует иметь в виду важное обстоятельство о том, что «ввиду уникальности каждой инновационной системы ... исчерпывающего

перечня достаточных условий для обеспечения успеха не существует. ... Каждая страна должна сама найти те индивидуальные черты, которые будут соответствовать традициям общества, управления и ведения дел на своей земле» [3]. Принимая во внимание этот тезис для переосмысления содержания [3] и адаптируя под это переосмысление ранее разработанный нами экономико-математический инструментарий [4], нами предложен подход, позволяющий делать количественные оценки такого взаимодействия [5]. Подход в [5] апробирован на макроуровне, однако является гибким и допускает модернизацию на другие уровни: мезо- (отраслевой / региональный уровень), микро- (уровень предприятия). По сути, речь идет о «стыковке алгоритмов» – влиянии выполнения предыдущих алгоритмов в технологической цепочке на условия применимости последующих алгоритмов», что свидетельствует о возросшей «роли моделирования – от отдельных систем аксиом произошел переход к системам моделей» [6].

В этом ключе – в развитии системы моделей, на что ориентировано исследование [5] – логическим расширением подхода на мезо-/микроуровень является представленный в данной работе пример комплексной модели обеспечения финансово-экономических условий проекта внедрения инновационной продукции. Важным элементом для внедрения является расчет экономических условий и оценка эффективности внедрения. В этом случае под вышеупомянутым элементом «Знание» следует понимать не только естественно-научные, технические знания, воплощенные в самом изделии (в данном случае – стек проточной батареи), но и методы, позволяющие сделать экономические оценки.

Предметное поле мезо-/микроуровня представляет собой сегмент буферных накопителей энергии. Современный мир стремительно развивается и требует все больше энергии, поэтому активно встает вопрос о децентрализации энергоснабжения и возрастающей роли буферных накопителей энергии. Особенно остро этот вопрос звучит в контексте возобновляемых источников энергии. На сегодняшний день не так много есть решений в этом направлении [7]: существуют литий-ионные батареи, гидроаккумулирующие электростанции, инерционные накопители энергии и другие. Одним из перспективных накопителей в этой области является ванадиевый проточный аккумулятор [8, 9], который в отличие от классических твердотельных электрохимических накопителей энергии имеет более длительный срок службы (более 20 лет непрерывной работы).

Технология VRFB (Vanadium Redox Flow Battery – ванадиевая проточная окислительно-восстановительная батарея) представляет собой перспективную технологию для крупномасштабных возобновляемых и сетевых накопителей энергии благодаря ее достоинствам – высокой эффективности, хорошей устойчивости к глубокому разряду и длительному сроку службы, с точки зрения как количества циклов, так и срока службы. Технология VRFB более безопасна для окружающей среды по сравнению с другим вариантом крупномасштабного хранения энергии – свинцово-кислотной батареей. По сравнению с обычными батареями накопление и преобразование энергии в проточной батарее выполняются отдельно в стеках и баках с электролитом соответственно. Разделение мощности и емкости в VRFB является привлекательной особенностью в крупномасштабных приложениях для хранения электроэнергии. Мощность может быть увеличена за счет наращивания количества стеков, тогда как емкость – за счет увеличения объема электролита в резервуарах для хранения. Среди разрабатываемых систем проточных окислительно-восстановительных батарей VRFB привлекает наибольшее внимание ввиду ее уникальной особенности – четыре степени окисления одного и того же металла (ванадия) используются для образования двух окислительно-восстановительных пар, разделенных в разных полужайках, т. е. V^{2+}/V^{3+} в отрицательном баке и V^{4+}/V^{5+} в положительном баке. Это устраняет опасность

перекрестного загрязнения, присущего большинству других типов проточных батарей окислительно-восстановительного типа [10].

Ввиду конкурентоспособности технология VRFB важна для России, являющейся одним из ведущих производителей ванадия в мире. При наличии сырого ванадия Россия могла бы производить конкурентоспособные системы VRFB для внутреннего и внешнего рынков, что делает актуальной разработку и производство стеков VRFB малой мощности в качестве имитаторов поведения для оценивания производительности в различных прикладных задачах перед разработкой крупных опытных установок.

Обобщая вышесказанное относительно предметного поля исследования, подчеркнем: с учетом лидерства России в производстве ванадия, а потому несомненной перспективности таких накопителей энергии в нашей стране, необходимо апробировать подход, который позволил бы в современных реалиях экономики России принять решения о целесообразности производства ванадиевых проточных накопителей энергии. Такой подход в этой области на примере стеков малой мощности, учитывающий технические возможности страны, впервые реализован в данной работе.

Материалы и методы

Объектом исследования является процесс подготовки и принятия решения по реализации проекта внедрения инновационного изделия «стек ванадиевой проточной окислительно-восстановительной батареи» мощностью 30 Вт. Стек – это основная инновационная часть батареи, объединяющая в себе большое количество научных разработок. Процесс работы батареи основан на электрохимической реакции ионов ванадия на поверхности электродов при непрерывной прокачке электролита. При технико-экономических расчетах стека были приняты во внимание следующие параметры стека (Таблица 1).

Таблица 1 – Параметры стека

Table 1 – Stack parameters

№	Наименование	Кол-во	Ед. изм.	Стоимость, руб.
1	Биполярные пластины, 5 мм	5	шт.	3 870
2	Углеродный войлок, 4,6 мм	400	см ²	297
3	Мембрана, 86 мкм	237,44	см ²	736
4	Пластины корпуса	8	шт.	490
5	Торцевые пластины	2	шт.	1 586
6	Крепеж, М8	6	шт.	1 031
7	Прокладки	24	шт.	267
8	Логистика	1	шт.	3 000

Внешний вид стека представлен на Рисунке 1. Принята конструкция стека с объемным войлоком, т. к. технологически данная конструкция является проще в реализации, чем конструкция с проточными каналами [11] и не сильно проигрывает второй в технических параметрах.

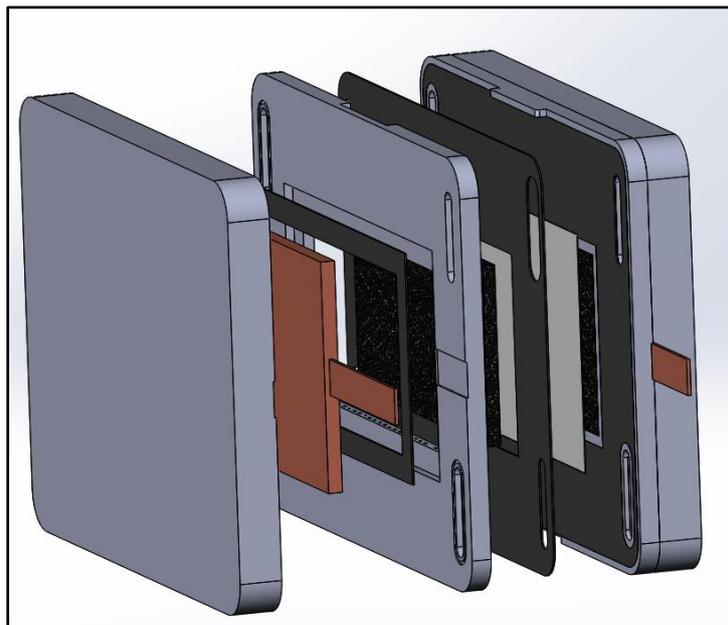


Рисунок 1 – 3D-модель стека
 Figure 1 – 3D stack model

С точки зрения финансово-экономического обеспечения решения задачи разработки и производства наукоемкой продукции, к которой относятся такие стеки, требуется принять во внимание модель жизненного цикла продукта, разработанную Т. Левиттом [12]. Эта модель позволила выделить две стадии проекта с представлением элементов потока, соответствующих каждой стадии – предпроектную и проектную. Это, в свою очередь, означает, что предполагаемый денежный поток будет распределенным, а значит, кроме особенностей исходных данных задачи, требует учета фактора времени и инфляции, т. е. применения соответствующих методов – расчета чистого дисконтированного дохода *NPV (Net Present Value)* с учетом дефлирования – с целью дальнейшего определения безубыточности проекта.

Предпроектная стадия длится указанный заказчиком проекта срок и включает в себя на начальном этапе разработку и через указанный заказчиком проекта срок выпуск прототипа для проведения лабораторных испытаний (заказчиком прототипа). По завершении испытаний вносятся необходимые коррективы в конструкторскую документацию, после чего наступает серийная стадия, предусматривающая регулярный выпуск и реализацию изделий. При этом возникает вопрос серийного количества и цены изделия для безубыточности процесса производства и реализации, на который должно ответить экономико-математическое моделирование процесса. В свою очередь, серийное количество определяется производственными возможностями и суммарными затратами на одно изделие, состоящими из двух компонент – постоянных и переменных затрат, которые также следует определить, для чего нужно провести сметные расчеты с учетом исходных данных заказчика проекта и, при необходимости, дополненных на основе существующего социально-экономического окружения, о чем подробнее будет сказано ниже.

С точки зрения системного анализа, мы фактически описываем систему «совокупности взаимодействующих элементов, составляющих целостное образование», обладающих свойствами выполнения только ему присущей функции, способностью взаимодействия с другими элементами и интегрирования с ними [2]. Эта система, центром исследования которой является объект микроуровня (заказчик проекта), все же

не является замкнутой, а состоит из элементов «заказчик проекта – поставщики комплектующих – заказчик прототипа – социально-экономическое окружение (участники соответствующего сегмента рынка, макроэкономические условия)». С точки зрения классификации по признаку происхождения систем, представленную в [13] систему следует считать *организационной*.

Исходные данные от заказчика проекта, состоявшие из расходов на материалы и изготовление в расчете на определенное заказчиком количество изделий на начальном этапе предпроектной стадии, недостаточны для указанных выше сметных расчетов. Эти данные требуется дополнить расходами на разработку, включающими разработку концепта изделия, поиск и анализ аналогов на рынке, разработку конструктива изделия, анализ потребности материалов, разработку конструктива документации, а также предусмотренными через указанный заказчиком срок расходы на лабораторные испытания прототипа и на основе их результатов расходами на внесение изменений в конструкторскую документацию (КД). Обозначим расходы на испытания прототипа с последующими изменениями в КД через *PTC (Prototype Testing Costs)*. Следует также добавить административные расходы (расходы на средства связи, административно-управленческий персонал, аренду помещения и соответствующие налоговые отчисления), расходы на амортизацию оборудования (станки для выполнения производственных работ, офисная оргтехника). Дополненные данные снабдим количественными оценками, исходя из социально-экономического окружения мезоуровня (отраслевой принадлежности / регионального расположения заказчика проекта), а также микроуровня (нормативов, принятых на предприятии).

С учетом логики составления структуры сметных расходов вышеперечисленные позиции распределим по разделам: «Раздел 1» – расходы на разработку, включая расходы на *PTC*; «Раздел 2» – материалы; «Раздел 3» – изготовление; «Раздел 4» – административные расходы; «Раздел 5» – расходы на амортизацию. Здесь следует отметить, что это не смета в обычном понимании специалистов-экономистов (потому что смета – это «мгновенная фотография»), а в нашем случае мы имеем дело с «фотографиями в динамике», т. е. расчетами элементов, относящихся к разным моментам времени, как показано ниже.

Опишем логику сметных расчетов для получения переменных и постоянных затрат с одновременным формированием распределенного по времени потока затрат (часть распределенного денежного потока, состоящего из элементов-затрат). К начальному этапу предпроектной стадии (разработка изделия и выпуск прототипа) относятся расходы по разделу 1 за вычетом *PTC*, а также расходы по разделам 2-5, пересчитанные на одно изделие; обозначим расходы этого этапа C_0 . К следующему этапу предпроектной стадии (запуск прототипа в эксплуатацию) относятся *PTC*. Далее следует проектная (серийная) стадия, к которой относятся разделы 2-3 как переменные затраты VC (в пересчете на одно изделие), разделы 4-5 – как постоянные затраты FC ; тогда суммарные затраты серийной стадии $TC = FC + VC \cdot Q$, где Q – серийное количество изделий.

Для полного формирования распределенного денежного потока надо определить еще перечень элементов-доходов (часть распределенного денежного потока, состоящего из элементов-доходов). Такими элементами является выручка от запуска в эксплуатацию прототипа (от заказчика прототипа) через n периодов (месяцев) после разработки КД, выручка от реализации изделий на серийной стадии. Цену изделия обозначим P . Полностью сформированный распределенный денежный поток включает в качестве его элементов доходы и расходы, отнесенные к соответствующим моментам времени, и может быть представлен временной схемой (Рисунок 2).

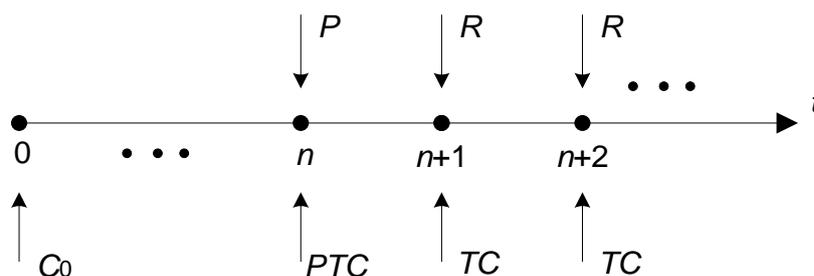


Рисунок 2 – Временная схема распределенного денежного потока
Figure 2 – Time scheme of distributed cash flow

Разность доходов и расходов, отнесенных к одному и тому же моменту времени, представляет собой сальдо, используемое для последующего расчетного этапа – определение точки безубыточности в двух вариантах – без учета фактора времени и с его учетом. В первом варианте анализируется функция разности выручки $R = P \cdot Q$ и суммарных затрат TC в зависимости от количества выпущенных изделий; во втором – адаптирована к условиям задачи методика расчета показателя NPV , после чего результаты сравниваются и интерпретируются.

Опишем методику определения NPV . Элементы денежного потока, представляющие собой сальдо, далее следует очистить от инфляции по методике [14]. Методы учета инфляции подразумевают, исходя из данных о темпах инфляции, последовательные расчеты цепного индекса инфляции и затем на его основе базисного индекса инфляции GJ . Далее элементы денежного потока дефлируются, т. е. делятся на базисный индекс инфляции, после чего дисконтируются по процентной ставке r для учета временного фактора. Сумма дисконтированных дефлированных элементов денежного потока дает показатель NPV как дисконтированное дефлированное сальдо и имеет вид, где T – срок проекта:

$$NPV = -C_0 + \frac{P - PTC}{GJ(n)(1+r)^n} + \sum_{i=n+1}^T \frac{R - TC}{GJ(i)(1+r)^i}.$$

Макропараметры социально-экономического окружения, т. е. данные по процентным ставкам и темпам инфляции, взяты из открытой отчетности [15]; их годовые значения пересчитаны в месячные, поскольку срок проекта измеряется в месяцах.

Результаты

Алгоритм, реализующий поэтапно комплексную модель обеспечения финансово-экономических условий реализации проекта, представлен на Рисунке 3. Постановка задачи и информация от заказчика проекта приводят к разработке временной схемы и вкуче с дополненными данными микроуровня позволяют реализовать сметные расчеты. Далее результаты сметных расчетов совместно с информацией о макропараметрах и ценой изделия используются для оценки безубыточности и подсчета показателя чистого дисконтированного дохода. Результаты расчетов по обоим методикам сравниваются, при необходимости корректируется цена изделия, а расчеты повторяются до получения требуемого результата.

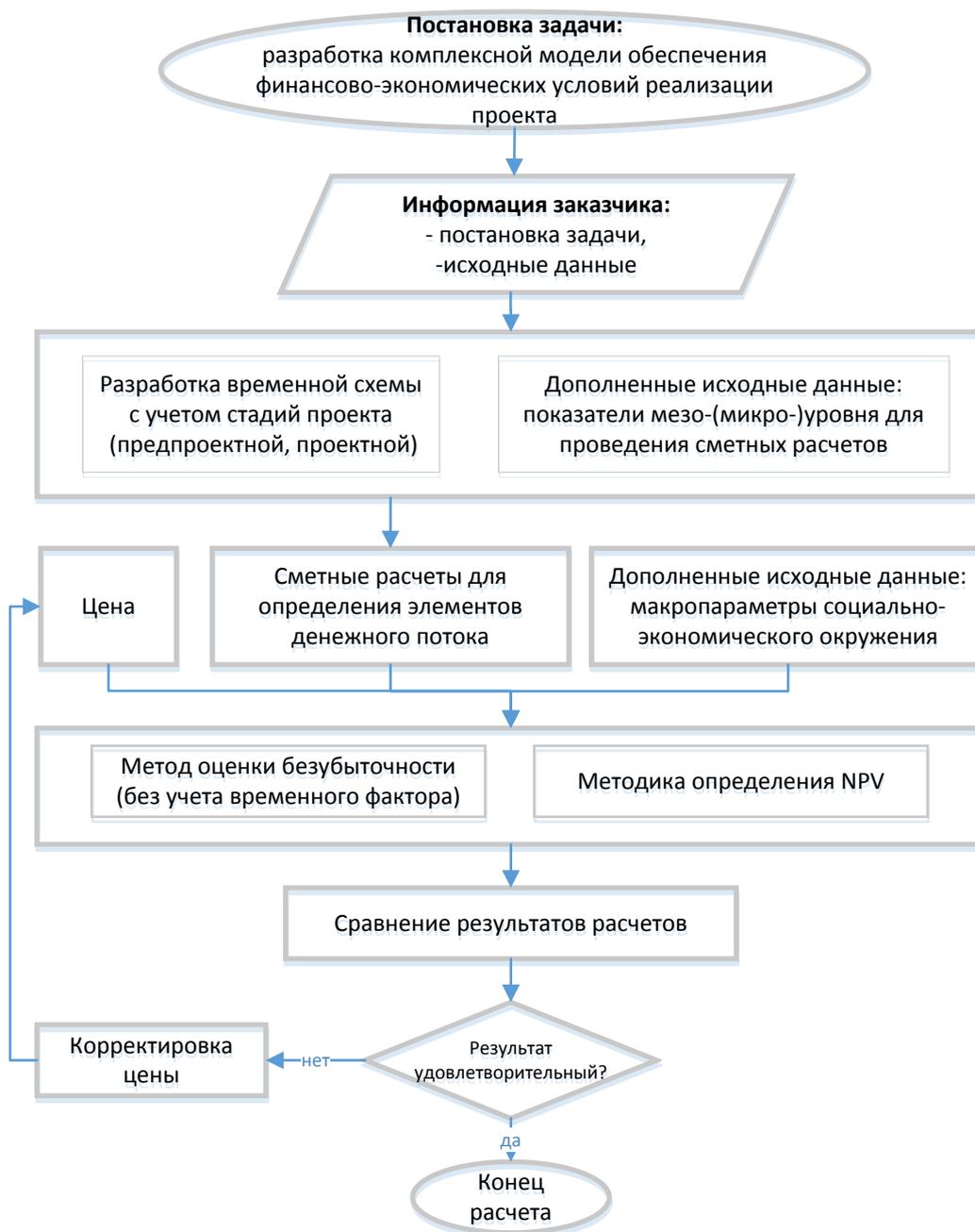


Рисунок 3 – Алгоритм реализации комплексной модели
 Figure 3 – Algorithm for implementing a complex model

При сравнении результатов расчетов и принятии решения о корректировке цены изделия принимаются следующие факторы: себестоимость изделия в качестве нижнего порога цены, рыночная стоимость аналогов или альтернативных решений как верхний порог цены, зависимость стоимости комплектующих и производимых работ от серийности изготовления изделий, готовность покупателя / заказчика приобрести заданное количество изделий при установленной цене и др.

Представленный алгоритм не претендует на полноту учета всех критериев, необходимых для принятия решения. Некоторые критерии являются слабо формализуемыми, выбираются на основании опыта, интуиции лица, принимающего

решения. Излишняя алгоритмизация модели с введением в нее слабо формализуемых критериев делает ее чрезмерно усложненной и поэтому непригодной для применения.

Для реализации алгоритма разработан информационный макет в прикладном программном пакете *Excel*. Макет состоит из трех взаимосвязанных листов – сметные расчеты, методика *NPV*, сравнение результатов двух методик. Фиксируя один из параметров (например, цену) и меняя другой (например, количество выпускаемых изделий на предпроектной стадии), добиваемся неотрицательности показателя *NPV*. Либо, наоборот, фиксируя количество выпускаемых изделий и меняя цену, добиваемся неотрицательности показателя *NPV*. Выбор вариантов расчета диктуется пожеланиями заказчика. Примеры результатов таких расчетов представлены на Рисунке 4.

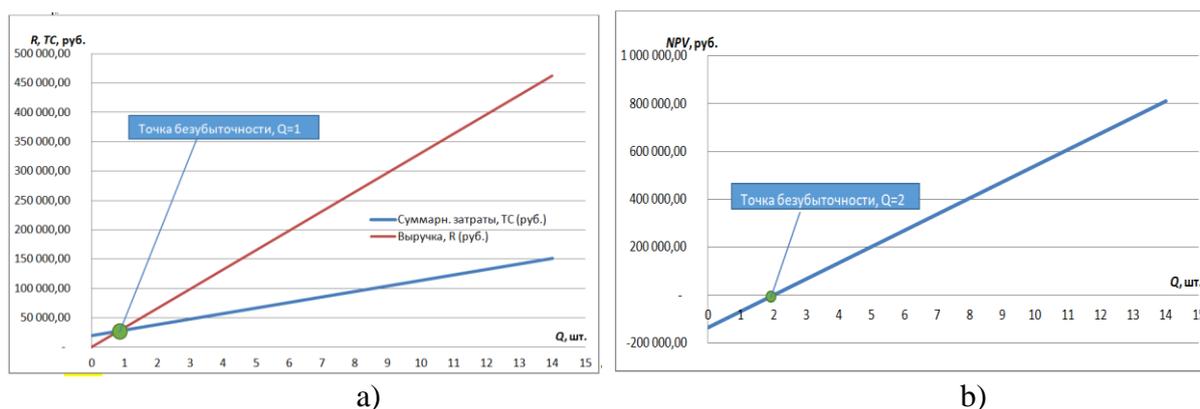


Рисунок 4 – Определение точки безубыточности: а – без учета временного фактора, б – с учетом временного фактора

Figure 4 – Break-even point determination: a – without a time factor, b – with time factor

Зафиксировав указанное заказчиком количество изделий (2 шт.), получаем точку безубыточности (*NPV* близкий к нулю) при цене более низкой, чем желаемая заказчиком, так что норма прибыли (прибыль на одно изделие) составила 5,5 %. При этой цене проведена оценка безубыточности без учета временного фактора, занижающая результат по сравнению с методикой оценки *NPV*, что подчеркивает необходимость учета фактора времени.

Фактически этот макет представляет собой человеко-машинную систему поддержки принятия решений, обладающую важными качествами (оперативностью, адаптивностью, малозатратностью в применении), сочетающую системный анализ и имитационное моделирование. Полученный результат находится в согласии со следующими достижениями отечественных исследователей.

Так, согласно упорядоченному списку четырех основных классов ситуаций (вытекающих из существа решаемой задачи, которое, в свою очередь, определяет структуру и типы используемых моделей), с которыми приходится сталкиваться при социально-экономической оптимизации, ситуация в данном исследовании, образующая множество вариантов и предпочтений, относится к третьему классу, имеющему формулировку «множество вариантов описано плохо, а предпочтений хорошо» [16]. Согласно [17] «решение третьей группы проблем возможно путем сочетания формализованных и неформализованных методов и процедур (системный анализ, имитационное моделирование)».

Кроме того, важно дать пояснение к пониманию, почему полученный результат следует трактовать как «человеко-машинный». Дело в том, что в системном анализе, особенно при решении социально-экономических задач, ввиду присутствия слабоструктурируемых факторов (например, отдельных людей, коллективов, социума в

целом), приходится учитывать в качестве существенного элемента «человеческий фактор», под которым понимается «интуиция людей, человеко-машинные процедуры поиска оптимальных (или хотя бы допустимых рациональных) решений, что является системным единством объекта и субъекта» [18].

Обсуждение

Ввиду коммерческой направленности проекта экономические показатели для его реализации являются определяющими, поэтому достигнутые результаты можно считать удовлетворительными. Другими словами, осуществлена верификация (проверка правильности реализации частей модели по отношению к концептуальным условиям заказчика) и валидация модели (проверка соответствия модели реальной системе, т. е. возможности ее использования для заданной цели).

Таким образом, представленная комплексная модель состоит из следующих этапов.

Этап 1. Сбор данных от заказчика (о ценах на комплектующие, изготовление, особенности производства, наличие конкурентов), выделение предпроектной и проектной стадии реализации проекта с учетом модели жизненного цикла продукта и особенностей производства.

Этап 2. Проведение сметных расчетов для формирования элементов денежного потока.

Этап 3. Формирование распределенного денежного потока на основании результатов этапов 1-2.

Этап 4. Проведение имитационного эксперимента – расчет точки безубыточности с учетом и без учета временного фактора.

Этап 5. Сравнение результатов моделирования, оценка верификации и валидации модели

Этап 6. Корректировка ценовых / количественных параметров под требования заказчика, принятие окончательного решения.

Обращает на себя внимание тот факт, что в структуре сметных расходов (сальдо по разделам 1-5) наибольшая часть принадлежит разделу 1, отвечающему за разработку (от концепта изделия до лабораторных испытаний прототипа и внесенных изменений в конструкторскую документацию) и составляющему 66 %. Полученный результат можно интерпретировать следующим образом: высокотехнологичные разработки в своих расходах имеют существенный вес интеллектуальной составляющей, без достойного учета которой невозможно развитие науки. Это, в свою очередь, означает весомость наукоемкого фактора, или элемента «Знания» в модели тройной спирали.

Представляется уместным, как с целью акцентирования целостности представленного исследования, так и сообразуясь с необходимостью научной преимственности, подчеркнуть, что, с точки зрения системного анализа, используемая в исследовании модель жизненного цикла продукта и разработанный алгоритм представляют собой *процессные* системы в классификации по признаку происхождения систем, представленной в [13]. В проведенном исследовании реализованы цели, характерные для системного исследования: «описание функционирования системы, прогноз функционирования при различных воздействиях, поиск наилучшего варианта функционирования» [19]. Исследование является не только системным, но и междисциплинарным (причем, именно системный подход вносит свой вклад в характер междисциплинарности [20]), комплексным, включающим ряд этапов. С позиций же ракурсов системного мышления, сформулированных в [2], прослеживается ракурс

«второй цепи», которая выглядит так: «системный анализ – кибернетика – адаптивное регулирование – автоматическое управление – синергетика».

Заключение

В проведенном исследовании разработана комплексная модель, которая на основе модели жизненного цикла продукта предусматривает предпроектную и проектную стадии реализации проекта, распределенный денежный поток, расчет точки безубыточности с учетом и без учета временного фактора; разработан алгоритм и проведена апробация модели, в т. ч. расчеты по каждому этапу модели, сравнение результатов моделирования, оценка верификации и валидации модели.

Практическая значимость разработанной оперативной, адаптивной, малозатратной в применении человеко-машинной системы поддержки принятия решений (алгоритма и информационного макета) состоит в возможности их использования в качестве шаблона как в учебных, так и в производственных целях, в том числе, для формулирования требований к технико-экономическим расчетам и обоснованиям заданий на разработку проектных материалов.

Академическая (научная) значимость представленного исследования видится в развитии авторского направления – инструментально-методического подхода к адаптации модели тройной спирали для условий России – в отраслевом (с точки зрения характера производства) / региональном (с точки зрения частичного наполнения количественными оценками) разрезе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прангишвили И.В. *Системный подход и общесистемные закономерности*. М.: Синтег; 2000. 522 с.
2. Лившиц В.Н. *Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992–2013*. М.: URSS; 2013. 640 с.
3. Ицковиц Г. *Тройная спираль. Университеты – предприятия – государство. Инновации в действии*. Пер. с англ. под. ред. А.Ф. Уварова. Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники; 2010. 238 с.
4. Пахомова Е.А. *Методологические основы оценки влияния вуза наукограда на эффективность регионального развития*. Saarbrücken; LAP LAMBERT Academic Publishing; 2011. 418 с.
5. Пахомова Е.А. (ред.) *Инструментально-методический подход к адаптации модели тройной спирали для условий России с учетом исторической ретроспективы: монография*. М.: ИНФРА-М; 2021. 278 с. DOI: 10.12737/1371304.
6. Орлов А.И. О новой парадигме математических методов исследования. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016;(122):807–832.
7. Логачева А.Г., Зацаринная Ю.Н., Степанова Е.Г., Репьев Е.В., Федотов Е.А. Обзор электромеханических и других способов преобразования энергии с целью эффективного использования ресурсов. *Труды Академэнерго*. 2020;61(4):57–73.
8. Skyllas-Kazacos M. Review–Highlights of UNSW all-vanadium redox battery development: 1983 to present. *J. Electrochem. Soc.* 2022;169(7):070513. DOI: 10.1149/1945-7111/ac7bab.
9. Воропай А.Н., Кузьмин И.Н., Лоскутов А.Б., Осетров Е.С. Источник питания для автономных систем электроснабжения на базе проточной аккумуляторной батареи. *Электричество*. 2022;(9):45–52. DOI: 10.24160/0013-5380-2022-9-45-52.

10. Skyllas-Kazacos M., Chakrabarti M., Hajimolana S., Mjalli F., Saleem M. Progress in low battery research and development. *Journal of the Electrochemical Society*. 2011;158(8):R55–R79.
11. Белов Д.В., Воропай А.Н., Кузьмин И.Н., Лоскутов А.Б. Исследование влияния характеристик и конструкции накопителей электрической энергии на работу систем бесперебойного питания. *Электричество*. 2020;(10):4–11.
12. Levitt T. Exploit the product life cycle. *Harvard Business Review*. 1965;43:81–94.
13. Тарасенко Ф.П. *Прикладной системный анализ: учебное пособие*. М.: КНОРУС; 2010. 224 с.
14. Лившиц В.Н., Лычагина Т.А., Пахомова Е.А. *Финансовый менеджмент. Основы оценки эффективности инвестиционных проектов*. Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна»; 2011. 183 с.
15. Инфляция в России. Доступно по: <https://rosstat.gov.ru/ps/inflation/> (дата обращения: 05.10.21).
16. Данилов-Данильян В.И. Методологические аспекты теории социально-экономического оптимума. *Экономика и математические методы*. 1980;16(1):146–164.
17. Гранберг А.Г. *Математические модели социалистической экономики: Общие принципы моделирования и статистические модели народного хозяйства*. М.: Экономика; 1978. 352 с.
18. Лившиц В.Н., Лившиц С.В. *Макроэкономические теории, реальные инвестиции и государственная российская экономическая политика*. М.: URSS; 2008. 248 с.
19. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. *Введение в прикладной системный анализ*. Ростов-на-Дону: АО «Книга»; 1996. 132 с.
20. Лефевр В.А. *Конфликтующие структуры*. М.: Высшая школа; 1967. 86 с.

REFERENCES

1. Prangishvili I.V. *System approach and systemic patterns*. М.: Sinteg; 2000. 522 p. (In Russ.).
2. Livshits V.N. *System analysis of non-stationary economy market reforming in Russia: 1992–2013*. Moscow, URSS; 2013. 640 p. (In Russ.).
3. Etzkowitz H. *Triple Helix: Universities – Enterprises – State. Innovations in actions*. Translated from English, A.F. Uvarov (Ed.). Tomsk, TSUSMR Publishing; 2010, 238 p. (In Russ.).
4. Pakhomova E.A. *Methodological background of assessing the impact of a nauograd on regional development*. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic; 2011, 418 p. (In Russ.).
5. Pakhomova E.A. (Ed.). *Instrumental and methodological approach to the adaptation of the triple helix model for the conditions of Russia taking into account historical retrospect: a monograph*. Moscow, INFRA-M; 2021. 278 p. DOI: 10.12737/1371304. (In Russ.).
6. Orlov A.I. About the new paradigm of mathematical methods of research. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;(122):807–832. (In Russ.).
7. Logacheva A.G., Zatsarinnaya Yu.N., Stepanova E.G., Rep'ev E.V., Fedotov E.A. Overview of electromechanical and other methods of energy conversion for efficient use of resources. *Trudy Akademenergo = Transactions of Academenergo*. 2020;61(4):57–73. (In Russ.).

8. Skyllas-Kazacos M. Review–highlights of UNSW all-vanadium redox battery development: 1983 to present. *J. Electrochem. Soc.* 2022;169(7):070513. DOI: 10.1149/1945-7111/ac7bab.
9. Voropaj A.N., Kuz'min I.N., Loskutov A.B., Osetrov E.S. A flow battery based source for autonomous power supply systems. *Elektrichestvo = Electrical Technology Russia.* 2022;(9):45–52. DOI: 10.24160/0013-5380-2022-9-45-52. (In Russ.).
10. Skyllas-Kazacos M., Chakrabarti M., Hajimolana S., Mjalli F., Saleem M. Progress in flow battery research and development. *Journal of the Electrochemical Society.* 2011;158(8):R55–R79.
11. Belov D.V., Voropaj A.N., Kuz'min I.N., Loskutov A.B. Studying the effect the characteristics and design of electric energy storage devices have on the operation of uninterruptible power supply systems. *Elektrichestvo = Electrical Technology Russia.* 2020;(10):4–11. (In Russ.).
12. Levitt T. Exploit the product life cycle. *Harvard Business Review.* 1965;43:81–94.
13. Tarasenko F.P. *Applied system analysis: a handbook.* Moscow, KNORUS; 2010. 224 p. (In Russ.).
14. Livshic V.N., Lychagina T.A., Pahomova E.A. *Financial management. Principles of assessing the efficiency of investment projects.* Dubna, International institute of nature, science and humanity “Dubna”. 2011. 183 p. (In Russ.).
15. Inflation in Russia. Available from: <https://rosstat.gov.ru/ps/inflation/> (accessed on 05.10.21). (In Russ.).
16. Danilov-Danil'yan V.I. Metodologicheskie aspekty teorii social'no-ekonomicheskogo optimuma. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods.* 1980;16(1):146–164. (In Russ.).
17. Granberg A.G. *Mathematical models of a socialist economy. General principles of modeling and statistical models of a national economy.* Moscow, Ekonomika; 1978. 351 p. (In Russ.).
18. Livshic V.N., Livshic S.V. *Macroeconomics, real investments and Russian state economic policies.* Moscow, URSS; 2008. 248 p. (In Russ.).
19. Gorstko A.B., Ugol'nickij G.A. *Introduction to applied system analysis.* Rostov-on-Don, АО “Книга”; 1996. 132 p. (In Russ.).
20. Lefevr V.A. *Conflicting Structures.* Moscow, Vysshaya shkola; 1967. 86 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Пахомова Елена Анатольевна, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры цифровой экономики и управления, Государственный университет «Дубна», Дубна, Российская Федерация.

e-mail: uni-dubna@mail.ru

ORCID: [0000-0002-3572-9614](https://orcid.org/0000-0002-3572-9614)

Elena Anatolievna Pakhomova, Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Digital Economics and Management, Dubna State University, Dubna, Russian Federation.

Пахомов Александр Вячеславович, кандидат экономических наук, доцент, руководитель проекта АО «ВНИТЭП», Дубна, Российская Федерация.

e-mail: dubna@list.ru

Aleksandr Vyacheslavovich Pakhomov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Project Manager at VNITEP JSC, Dubna, Russian Federation.

Воропай Александр Николаевич, кандидат химических наук, доцент кафедры

Aleksandr Nikolaevich Voropay, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the

нанотехнологий и новых материалов, Department of Nanotechnology and New
Государственный университет «Дубна», Materials, Dubna State University, Dubna,
Дубна, Российская Федерация. Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 21.10.2022; одобрена после рецензирования 12.12.2022;
принята к публикации 15.02.2023.*

*The article was submitted 21.10.2022; approved after reviewing 12.12.2022;
accepted for publication 15.02.2023.*