

**Итерационное моделирование.
Логическое упорядочение входных параметров
системы поддержки принятия решений**

С. В. Веретехина

Финансовый университет при Правительстве РФ
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1

Аннотация. Актуальность исследования обоснована необходимостью поиска консенсуса между отечественным производителем наукоемкой продукции и зарубежным заказчиком для достижения удовлетворенности техническими характеристиками, экономическими показателями, стоимостью интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации для ситуации экспорта. Предметом исследования является цифровой двойник системы поддержки принятия решения. В данной статье решается проблема логического обоснования входных изменяемых параметров. Объектами исследования являются математический инструментарий, итерационный алгоритм, логическое упорядочение входных параметров. Эмпирическая аргументация логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров системы обосновывает количество проводимых итераций. Используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасли радиолокации и международного экспортного рынка. В публикации представлены факторы управления стоимостью интегрированной логистической поддержки. Описаны результаты итераций. Определено, что в многофакторной модели управления стоимостью интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации имеет больший вес в части положительного исхода экспорта. Окончательной итерацией является достижение баланса спроса и предложения на международном рынке экспорта наукоемкой продукции.

Ключевые слова: итерационное моделирование, логическое упорядочение, система поддержки принятия решений, мезоэкономика, многофакторная модель управления, стоимость

Поступила 31.07.2023, одобрена после рецензирования 09.08.2023, принята к публикации 10.08.2023

Для цитирования. Веретехина С. В. Итерационное моделирование. Логическое упорядочение входных параметров системы поддержки принятия решения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 69–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-69-87

JEL: C1; C36; F63

Original article

**Iterative modeling.
Logical ordering of the input parameters
of decision support systems**

S.V. Veretekhina

Financial University under the Government of the Russian Federation
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue

Abstract. The relevance of the study is based on the need for finding a consensus between a domestic producer of science-intensive products and a foreign customer to achieve satisfaction with technical characteristics, economic indicators, cost of integrated logistics support for technical operation for the export situation. The subject of the study is the digital twin of the decision support system. This article solves the problem of logical justification of input variable parameters. The objects of the research are mathematical tools, iterative algorithm, logical ordering of input parameters. The empirical argumentation of the logical ordering of the input variable and immutable parameters of the system justifies the number of carried out iterations. The mesoeconomical theory of the interaction of economic systems of the middle hierarchical level, namely, the radar industry and the international export market, is used. The publication presents the cost management factors of integrated logistics support. The results of iterations are described. It is determined that in a multi-factor management model, the cost of integrated logistics support for technical operation has a greater weight in terms of a positive export outcome. The final iteration is achievement of supply and demand balance in the international market of science-intensive products export.

Keywords: iterative modeling, logical ordering, decision support system, mesoeconomics, multifactorial management model, cost

Submitted 31.07.2023,

approved after reviewing 09.08.2023,

accepted for publication 10.08.2023

For citation. Veretekhina S.V. Iterative modeling. Logical ordering of the input parameters of the decision support system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 69–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-69-87

1. ВВЕДЕНИЕ

Цифровой двойник системы поддержки принятия решений (СППР) – инструмент итерационного технико-экономического моделирования. Конечной операцией является достижение консенсуса между зарубежным заказчиком и отечественным производителем на экспорт наукоемкой продукции в зарубежную страну. Поиск консенсуса сводится к балансу технико-экономических показателей, где стоимость является основным фактором в системе управления принятием решения. Цифровой двойник отображен итерационным алгоритмом (Приложение 1). Достоинством итерационного моделирования является использование компьютерной обработки данных и ручной корректировки, что позволяет гибко настраивать входные изменяемые параметры и наблюдать за откликом системы. Откликом системы считается результирующая стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия. Научный подход эмпирической аргументации логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров позволяет сократить количество итераций. Итерационный алгоритм содержит блоки компьютерного технико-экономического моделирования и блоки ручной обработки данных. Результаты итерационного моделирования имеют место в модели общего экономического равновесия спроса зарубежного заказчика на наукоемкую продукцию и предложения только одного отраслевого производителя. Разработка цифрового двойника СППР опиралась на основные принципы математического моделирования, которые содержат следующие постулаты¹:

1) *адекватность* – наукоемкое изделие исследуется по уровням сложности, проводится дробление изделия на его составные части: система – подсистема – агрегат – блок – узел – ячейка;

¹ <https://ecanet.ru/word/Постулат> – положение, выставляемое как истина, не требующая доказательств, из которой выводится какой-нибудь научный закон. Словарь «Экономика-Аналитика-Этимология», <https://ecanet.ru/word>

2) *вариативность* – наукоемкое изделие исследуется по всем тактико-техническим характеристикам, технико-экономическим показателям, создается цифровой двойник СППР непосредственно для ситуации экспорта наукоемкого изделия в отдельно взятую страну (simulation model);

3) *вычислимость (вычислительный эксперимент)* – модель цифрового двойника СППР исследуется программными (инструментальными) методами, имеет многовариантный характер, т.к. достижение консенсуса отечественного производителя и зарубежного заказчика зависит от перечисленных факторов управления стоимостью интегрированной логистической поддержки (ИЛП).

Научная задача проблематики исследования экспорта уникальной наукоемкой продукции в зарубежные страны состоит в том, что зарубежный заказчик хочет знать: сколько раз от стоимости изделия придется заплатить за интегрированную логистическую поддержку технической эксплуатации, чтобы своевременно и качественно поддерживать работоспособность изделия с достижением заданного значения коэффициента готовности.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В модели экономического равновесия спроса и предложения на уникальную наукоемкую продукцию на международном рынке отсутствует ограничение на стоимость уникальной продукции. Стоимость уникальной продукции на международном рынке не является доминирующей, а стоимость технической эксплуатации в виде комплекса мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации многократно превышает стоимость уникальной продукции на международном рынке. Сколько бы изделие ни стоило, для зарубежного заказчика основным условием приобретения является обоснование стоимости технической эксплуатации на длительном жизненном цикле послепродажного обслуживания. Для ситуации экспорта уникальное наукоемкое изделие изготавливается один раз под требования зарубежного заказчика с учетом климатического пояса зарубежной страны.

В исследовании используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасль радиолокации и международный экспортный рынок. Классическая теория макроэкономического равновесия не подходит для ситуации экспорта единичных экземпляров наукоемкой продукции. Классическая теория макроэкономического равновесия в работах Д. Рикардо, А. Смита, Ж.-Б. Сэя, Маршалла, модель общего экономического равновесия Л. Вальраса используют механизмы производства товаров в непродолжительном периоде в условиях меняющихся цен. Для уникальной наукоемкой продукции цена на международном рынке не имеет значения, товар все равно купят. Зарубежный заказчик ищет страны, владеющие технологиями производства наукоемкой продукции и комплексом мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации одновременно.

Мезоэкономическая теория рассматривает уровень взаимодействия отраслевых предприятий с различными странами на международном экспортном рынке. Объектом мезоэкономики выступают «экономические системы среднего иерархического уровня: отрасли, рынки, комплексы и группы предприятий» [1]. В многофакторной модели управления учитывается влияние технических характеристик, экономических показателей, стоимости, где результирующая стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации имеет больший вес в части положительного исхода экспорта.

2.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Основными факторами управления системы принятия решения выступают: 1) значения тактико-технических характеристик, которые зарубежный заказчик выставляет как желаемые значения; 2) стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия в стране экспорта при выставленных (согласованных с зарубежным заказчиком) технических характеристиках.

Следовательно, чем выше значения тактико-технических характеристик и длиннее период гарантийного обслуживания, тем сложнее отечественному производителю гарантировать зарубежному заказчику высокий уровень технической эксплуатации в зарубежной стране.

Формулировка основной задачи, стоящей перед отечественным производителем: каким образом провести конструирование уникального наукоемкого экспортируемого изделия таким образом, чтобы обеспечить его транспортирование составными частями и выдержать расчетные значения тактико-технических характеристик изделия, параметров, характеристик и коэффициентов интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации на длительном этапе послепродажного обслуживания в зарубежной стране?

Формулировка основной задачи, стоящей перед зарубежным заказчиком: как дорого придется заплатить за интегрированную логистическую поддержку технической эксплуатации, если приобретаемое наукоемкое изделие планируется использовать на длительном жизненном цикле с высоким значением технического коэффициента готовности?

Две стороны заинтересованы найти обоюдое выгодное решение в части согласования технических характеристик, экономических показателей, суммарной стоимости затрат на интегрированную логистическую поддержку на длительном интервале послепродажного обслуживания.

2.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Итерационное моделирование включает в себя последовательность $\{X^*\}$ приближенных решений системы, сходящейся к точному решению зависимых значений, которыми являются тактико-технические характеристики, технико-экономические показатели и стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации изделия в зарубежной стране (стране экспорта). Первым элементом X^* является первое приближение. Последовательность, построенная с помощью итерационных методов, является последовательностью векторов.

Определение. Последовательность сходится к значению X , если

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|X - X^*\| = 0. \quad (1)$$

В качестве нормы вектора принимается норма:

$$\|X\|_p = (\sum |X_i|^p)^{1/p}, \quad p - \text{натуральное число,}$$

$$\|X\| = \max |X_i|, \quad (\text{предельный случай } p \rightarrow \infty).$$

$$\|X\| = \max |X_i|, \quad (\text{предельный случай } p \rightarrow \infty).$$

Теоретической основой в разработке итерационного алгоритма в части сходимости (поиска обоюдое выгодного решения для зарубежного заказчика и отечественного производителя по тактико-техническим характеристикам наукоемкого изделия, экономическим показателям эксплуатационно-экономической эффективности применения изделия в

стране экспорта и стоимости интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации) послужил математический инструментальный итерационного моделирования². Скорость сходимости последовательности не критична.

Определение. Последовательность $\{X^k\}$ сходится к значению X с порядком p , если существуют числа $p > 1$, $c > 0$ такие, что начиная с некоторого номера $KY_k > K$,

$$\|X^{k+1} - X^*\| \leq c \|X^k - X^*\|^p$$

для случая $p = 1$, $c < 1$ сходимость будет линейной, что является достаточным условием для итерационного метода.

2.3. ЛОГИЧЕСКОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Основной решаемой задачей проводимого исследования является логическое упорядочение входных данных для следующего шага итерации. Автором используется научный подход эмпирической аргументации логического упорядочения изменяемых и неизменяемых входных параметров. Для поиска консенсуса между отечественным производителем и зарубежным заказчиком в части проектирования наукоемкой продукции экспортного варианта требуется двустороннее согласование технических характеристик, экономических показателей, суммарной стоимости интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации.

В работах [2, 3] и других работах отечественных авторов представлены модели, используемые для решения серийных задач. Экспорт наукоемкой продукции является единичной задачей поиска консенсуса в модели равновесия, где *объектом мезоэкономики выступает экономическая система среднего иерархического уровня, а именно: отрасль радиолокации и международные рынки наукоемкой продукции.*

С этой целью автором разработан итерационный алгоритм системы поддержки принятия решения с автоматизированной и ручной обработкой данных, где аргументированно доказаны входные изменяемые и неизменяемые параметры.

Для *первой итерации* входными параметрами являются значения тактико-технических характеристик изделия, которые зарубежный заказчик выставляет как желаемое значение. Результатом первой итерации являются выходные результирующие значения технико-экономического моделирования с расшифровкой по статьям. Первая итерация не устраивает заказчика результирующей стоимостью ИЛП, т.к. расшифровка стоимости ИЛП по статьям расходов не соответствует планируемому зарубежным заказчиком распределению затрат.

В процессе моделирования имеется возможность пересчитать результирующую стоимость затрат ИЛП, но требуется обосновать изменение входных параметров системы и провести следующую итерацию. Общее количество итераций зависит от научного подхода, который объясняет (доказывает) необходимость (возможность) изменения входных параметров. В итерационном алгоритме используется автоматизация расчетов в лицензионном программном обеспечении технико-экономического моделирования «Mercury» <https://cals.ru/products/mercury>.

Ручная обработка данных возникает как следствие неопределенности. В связи с отсутствием географических данных о стране экспорта, местах размещения базы материально-технического обслуживания (МТО), транспортной инфраструктуре, GIS-локации размещения изделия, складах длительного и промежуточного хранения; складах запасных частей, ин-

² Iterative methods – Methods of optimal solutions in economics and finance // Electronic Resource, 2023. https://bstudy.net/682715/ekonomika/iteratsionnye_metody#679

струментов и принадлежностей группового и одиночного (ЗИП), местах проживания персонала в алгоритме управления блок «GIS-локация» обрабатывается в ручном режиме. Проектирование месторасположения проводится алгоритмами Дейкстры в ручном режиме. Алгоритм Дейкстры удобен тем, что позволяет рассчитать кратчайший путь от места дислокации изделия до мест проживания технического персонала, складов, базы МТО.

Научный подход к эмпирической аргументации логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров позволяет сократить количество итераций.

Неизменяемыми входными параметрами являются: состав изделия с разукрупнением по составным частям; логистическая структура; структурная и функциональная схемы изделия; анализ деревьев отказов; адаптированная по уровню унификации стоимость составных частей изделия; данные отечественного квалификационного справочника перечня должностей инженерно-технических работников (рис. 1).

Основными изменяемыми входными параметрами для первой итерации являются: значение коэффициента готовности, которое зарубежный заказчик выставляет как желаемое; сценарий материально-технического обеспечения; блок «GIS-локация». В программном обеспечении технико-экономического моделирования отображаемая панель управления показывает входные данные, к которым относятся: структура изделия; логистическая структура; функциональная структура; анализ деревьев отказов; *сценарии МТО (изменяемый параметр)*; стоимость составной части изделия (СЧИ); среднее время восстановления СЧИ (рис. 1).

Структура	Цена	Количество	Расчетная наработка на отказ	Среднее время вос
1: Блок 1:1	560 000	1	22 000	0,5
Излучатель 1: Излучатель 1:1-1	300 000	2	200 000	0,5
Излучатель 2: Излучатель 2:1-2	250 000	2	50 000	0,5
Согласующее устройство: Согласно устройству: 1-3	12 000	2	50 000	0,5
2: Блок 2:2	520 000	1	16 121	0,5
Блок 2.1: Блок 2.1:2-1	130 000	1	28 000	0,5
Блок 2.2: Блок 2.2:2-2	370 000	1	38 000	0,5
3: Блок 3: Блок 3 (98) каналов	12 000 000	1	1 000 000	0,5
канал: канал: 3-1	110 000	98	53 306,94	0,5
подключатель: подключатель: 3-1-1	40 000	2	1 625 000	0,5
сумматор: сумматор: 3-1-2	10 000	1	3 115 000	0,5
вибратор: вибратор: 3-1-3	50 000	2		0,5
4: Блок 4:4	520 000	1	12 380	0,5
Блок 4.1: Блок 4.1:4-1	86 000	1	37 500	0,5
Блок 4.1-01: Блок 4.1.1:4-1-1	27 000	1	46 512	0,5
Блок 4.1-02: Блок 4.1.2:4-1-2	35 000	1	42 512	0,5
Блок 4.2: Блок 4.2:4-2	410 000	1	36 000	0,5
Блок 4.2-01: Блок 4.2.1:4-2-1	2 000	1	110 000	0,5
АРМ: АРМ: 4-2-2	50 000	3	110 000	0,5
ИБП: ИБП: 4-2-3	330 000	1	110 000	0,5
Блок 4.3: Блок 4.3:4-3	50 000	1	38 000	0,5
5: Блок 5: 5	700 000	1	12 500	0,5
6: Изделие: 6	415 000	1	2 500	0,5

Рис. 1. Видимая панель управления, отображающая используемые основные неизменяемые входные параметры, имеющие отношение к составу изделия и его функциям (разработано автором)

Fig. 1. Visible control panel showing the main non-changeable input parameters used, related to the composition of the product and its functions (designed by the author)

Вспомогательными изменяемыми входными параметрами системы управления являются: стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия; квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников; проектная норма прибыли; гарантийный период; периодичность обслуживания; процентное соотношение стоимости затрат на здания, сооружения, оборудование и средства МТО (рис. 2).

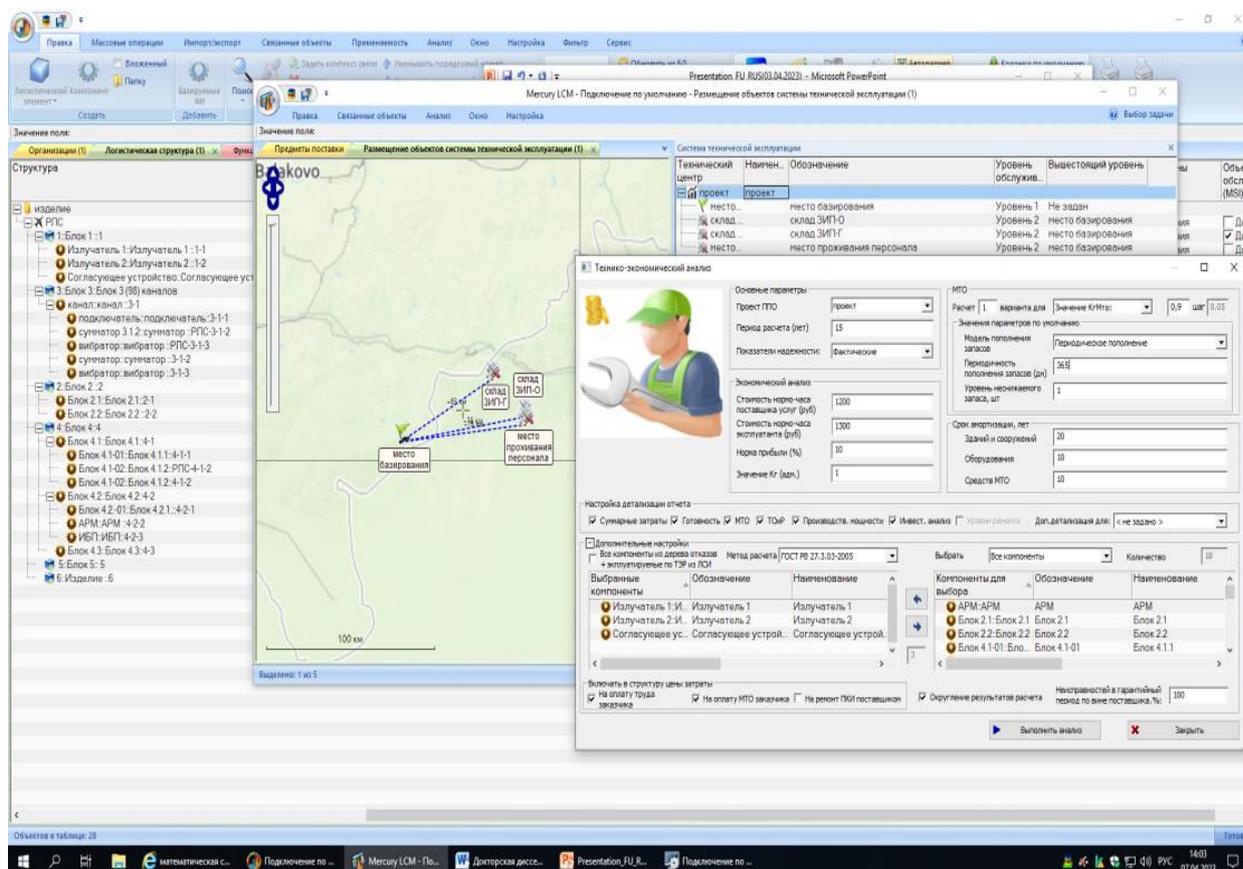


Рис. 2. Видимая панель управления, отображающая значения изменяемых входных параметров: технические характеристики; сценарий МТО; стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия; квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников; проектная норма прибыли; гарантийный период; периодичность обслуживания (разработано автором)

Fig. 2. Visible control panel displaying the values of the variable input parameters: technical characteristics; MTO scenario; the cost of a standard hour for performing maintenance operations on the component parts of the product; qualification list of positions of engineering and technical workers; project rate of return; warranty period; frequency of maintenance (developed by the author)

Преимуществом проведения итерационного моделирования является возможность детального изучения поведения системы и выявление влияния основных и вспомогательных изменяемых входных параметров системы на результирующую стоимость ИПП. В итерационном моделировании вычислительный эксперимент является единственным возможным вариантом исследования сложных технико-экономических систем [9]. Система поддержки принятия решений включает в себя цифровую модель изделия реального мира и итерационный алгоритм. Цифровая модель изделия отображена разбиение изделия на его составные части со схмотехническим отображением логистических и

функциональных связей составных частей изделия, имеет деревья отказов по каждой составной части изделия. В цифровой модели изделия применяется адаптированная по уровню унификации стоимость СЧИ с указанием наработку на отказ по каждой СЧИ. Система поддержки принятия решения использует цифровую модель изделия и итерационный алгоритм обработки данных.

2.4. АНАЛИЗ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ИТЕРАЦИЙ

При проведении первой итерации использовались желаемые значения технических характеристик. Сценарий материально-технического обеспечения и блок «GIS-локация» выступали как «не определено» и вынесены на ручную обработку данных (см. Приложение). Выходной отклик системы показывает результаты технико-экономического анализа, где стоимость интегрированной логистической поддержки разбита по статьям расходов на: транспортирование; оплату труда персонала; текущий ремонт; проведение технического обслуживания и ремонта; оборотные фонды; приобретение оборудования; создание инфраструктуры (рис. 3). Первая итерация не устраивает заказчика результирующей стоимостью ИЛП, т.к. расшифровка стоимости ИЛП по статьям расходов не соответствует планируемому зарубежным заказчиком распределением затрат по статьям расхода.

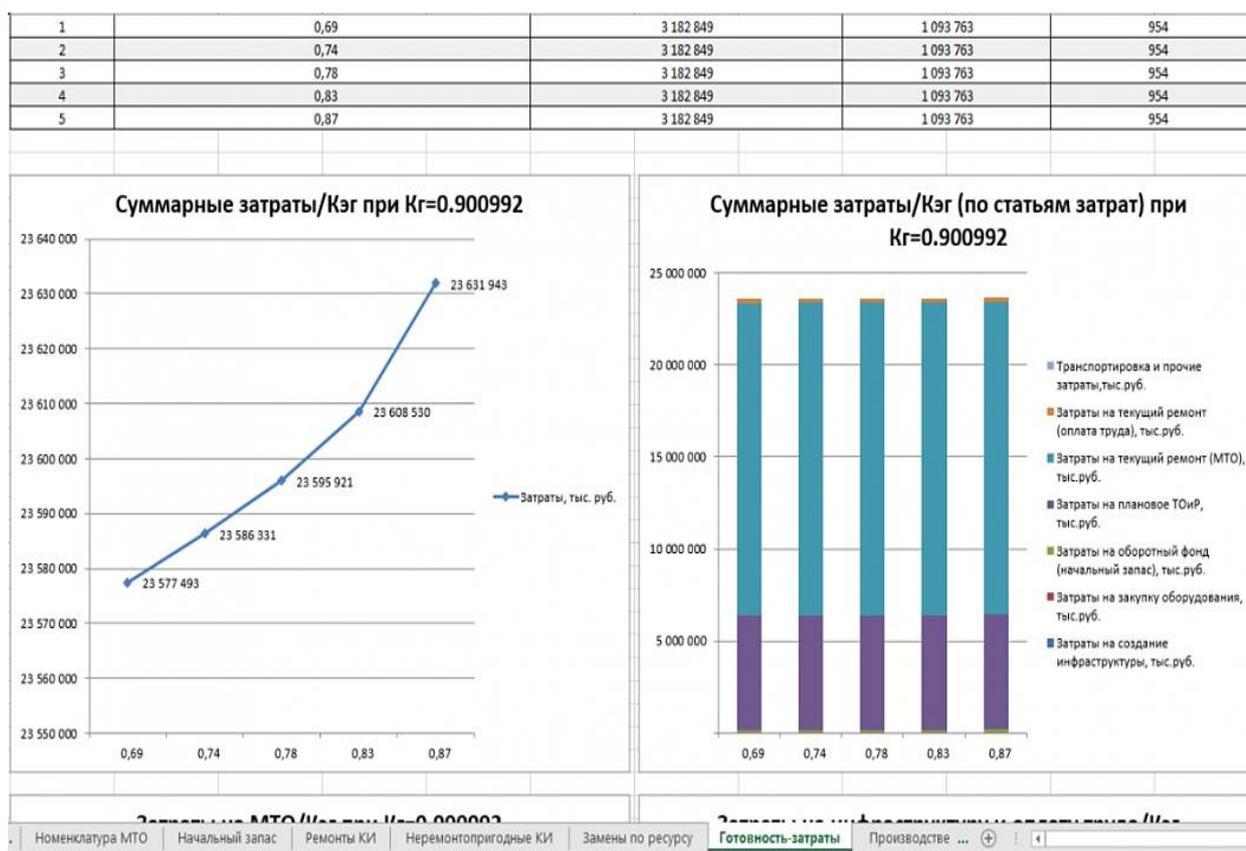


Рис. 3. Технико-экономический анализ. График суммарных затрат по статьям расходов при установленных зарубежным заказчиком желаемых численных значениях коэффициента готовности. <https://cals.ru/products/mercury>

Fig. 3. Technical-economical analysis. Graph of total costs by items of expenditure with the desired numerical values of the availability factor set by the foreign customer. <https://cals.ru/products/mercury>

При проведении второй итерации технико-экономический анализ стоимости ИЛП показал включение стоимости транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, что неприемлемо для ситуации экспорта. Отечественный производитель и зарубежный заказчик соглашаются, что автоматизированный расчет технико-экономического анализа включает стоимость транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, и это юридически неприемлемо. Транспортирование экспортируемого изделия имеет отдельную стоимость, оформляется отдельным договором по правилам международной торговли Инкотермс 2023. Транспортирование оформляется отдельным соглашением на перевозку товара с распределением ответственности между отечественным производителем и зарубежным заказчиком за утрату и повреждение товара в процессе доставки [7–8].

Третья и последующие итерации дают возможность проведения бесконечного количества вычислительных экспериментов. С целью оптимизации затрат по вычислительной мощности и ресурсам, а также сокращения количества итераций автором применяется научный подход к моделированию *изменяемых и неизменяемых входных данных* для последующих итераций.

В результате проведенной первой итерации консенсус не найден в силу отсутствия понимания удовлетворенности отечественного разработчика и зарубежного заказчика в части согласования тактико-технических характеристик изделия и результатов технико-экономического анализа.

В результате второй итерации консенсус не найден, т.к. технико-экономический анализ показал включение стоимости транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, что юридически неприемлемо для ситуации экспорта. Отечественный производитель и зарубежный заказчик соглашаются исключить стоимость транспортирования, разграничить юридическую ответственность, риски и санкции, вынести стоимость транспортирования из суммарной стоимости ИЛП.

Для проведения последующих итераций требуется научно обосновать изменения входных параметров системы. В монографии автора была выявлена регрессионная зависимость тактико-технических характеристик и показателя эксплуатационно-экономической эффективности [9]. По номенклатуре показателей эксплуатационно-технических характеристик применительно к уникальному наукоемкому изделию автором разработана базовая система показателей (рис. 4). На предпроектном этапе исследования автором проанализирован 31 показатель эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации единичного экземпляра наукоемкого изделия. Номенклатура показателей отображена диаграммами Исикавы. На основании проведенных расчетов автором выявлено влияние коэффициента готовности на комплексный показатель, указаны границы численных значений коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (ТЗ). Определено влияние циклов анализа на численное значение коэффициента готовности при эксплуатации изделия на объекте заказчика в стране экспорта [10].

Представленная на диаграммах Исикавы номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия является результатом исследования автора (рис. 4) [4–8].

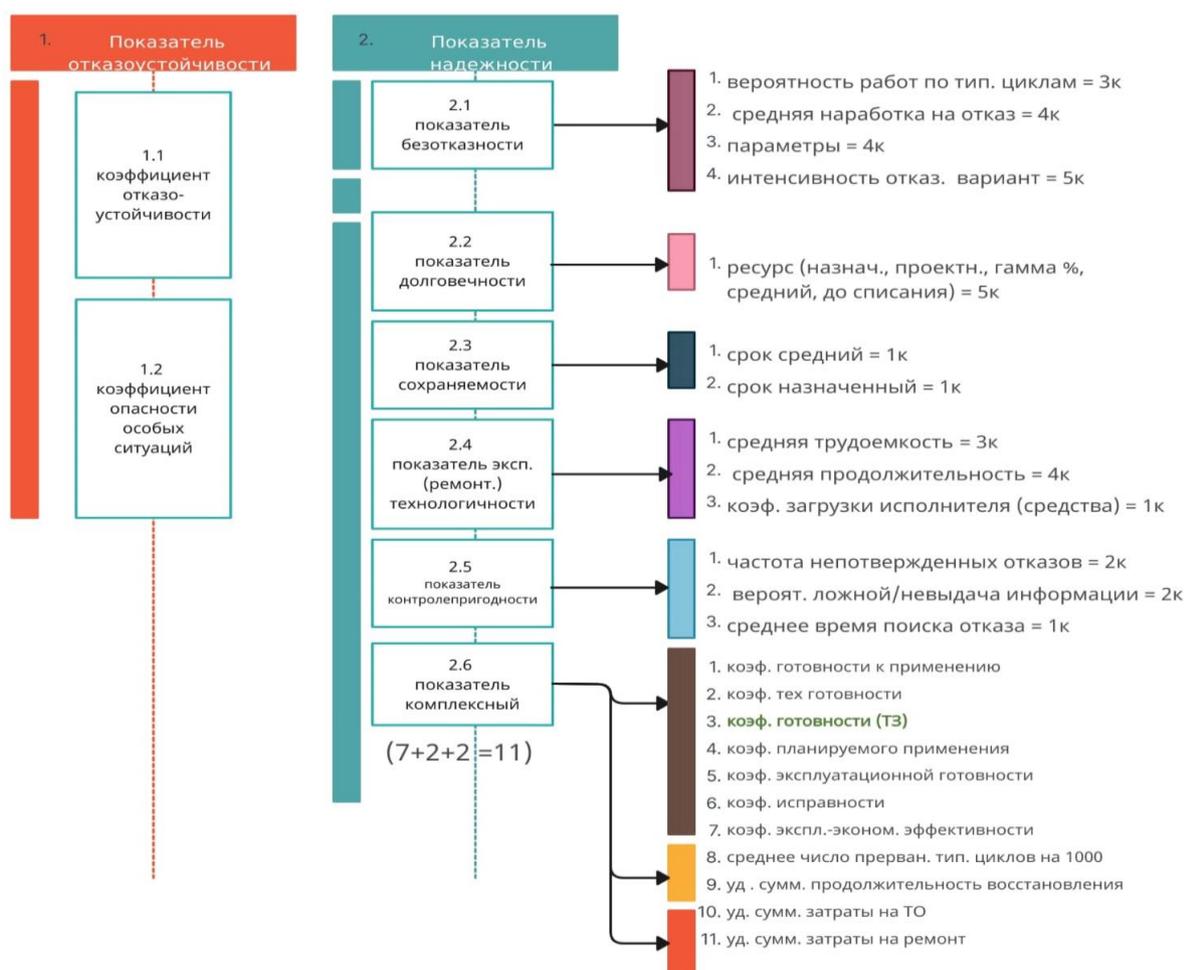


Рис. 4. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия

Fig. 4. Indicators nomenclature of operational and technical characteristics of the integrated logistic support for the technical operation of the exported science-intensive product

На диаграммах Исикавы от входа (слева) до выхода (справа) стрелками указана значимость показателей: от малозначимых до значительно влияющих на характеристики ИЛП – это первый слой визуализации данных (рис. 5). На рисунке (второй слой визуализации данных) отображены выявленные численные значения, которые являются неизменяемыми входными параметрами. Второй слой визуализации данных отображает **9 характеристик показателя надежности**, к которым относятся:

- 1) среднее время восстановления работоспособности составной части изделия;
- 2) средняя наработка на отказ составных частей изделия;
- 3) коэффициент готовности изделия при наличии ЗИП (одиночный и групповой);
- 4) среднее время восстановления составной части изделия;
- 5) общее время работы изделия (в сутках);
- 6) средняя наработка на отказ изделия;
- 7) срок службы;
- 8) гарантийный срок службы;
- 9) ресурс.

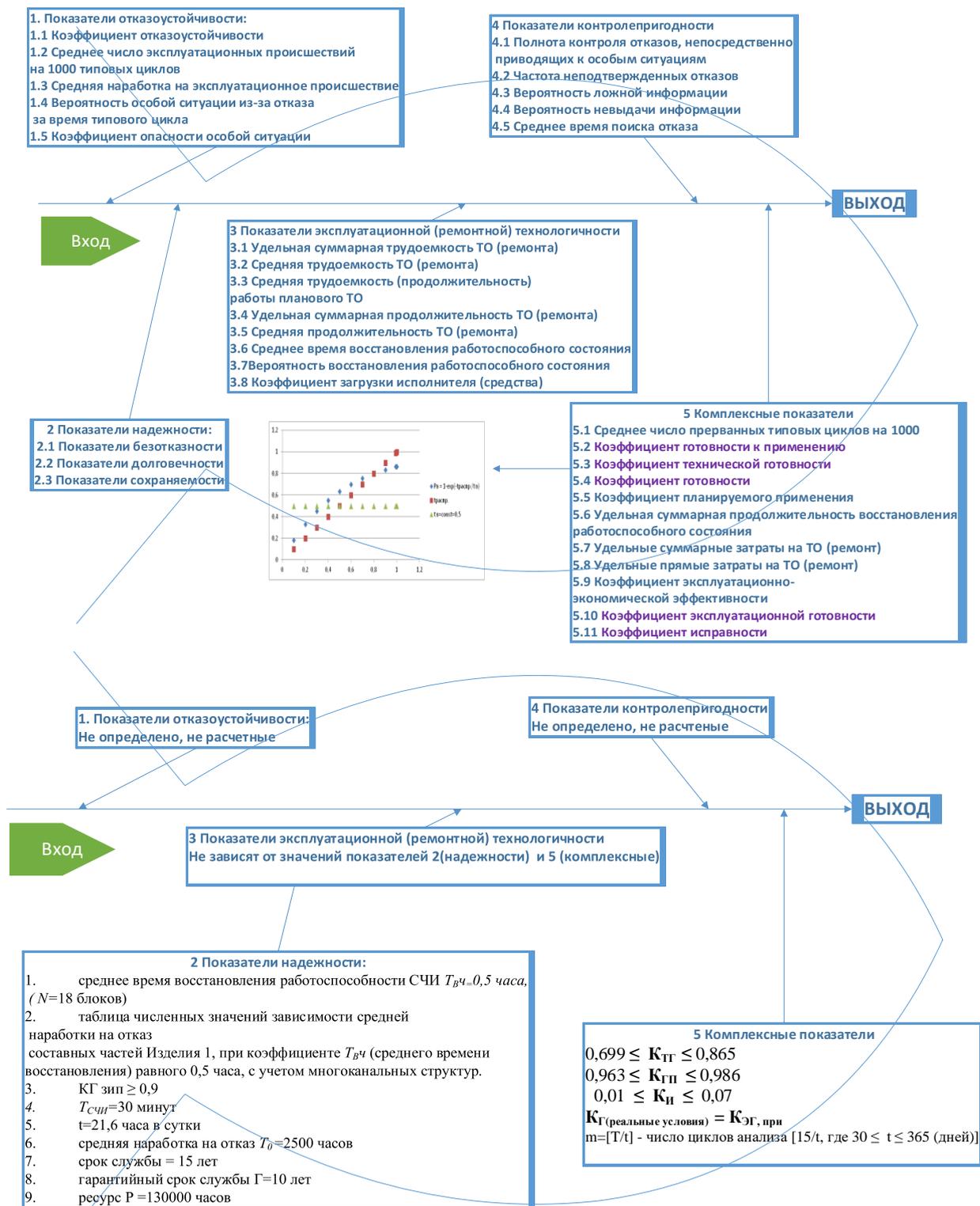


Рис. 5. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия. Первый и второй слой визуализации данных (разработано автором)

Fig. 5. Indicators nomenclature of operational and technical characteristics of integrated logistical support for the technical operation of a science-intensive product. First and second layer of data visualization (developed by the author)

С использованием научного подхода к моделированию изменяемых и неизменяемых входных параметров определены границы показателя комплексного. На диаграмме показатель комплексный представлен системой взаимозависимых коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (реальные условия), исправности; циклы анализа, в течение которых анализируется фактическое количество исправных составных изделий. Определено незначительное влияние циклов анализа на коэффициент исправности. Применять изменение входного параметра коэффициента исправности нецелесообразно, т.к. экспортируемое наукоемкое изделие является единственным экземпляром наукоемкой продукции, поставляемой на экспорт в зарубежную страну. Коэффициент исправности применяется для серийных изделий. Разработанная автором базовая система показателей ИЛП технической эксплуатации представлена системой взаимозависимых показателей, коэффициентов, характеристик [4]. В техническом задании на проектирование зарубежный заказчик определяет значение коэффициента готовности как нестрогое неравенство, а именно: коэффициент готовности изделия при наличии в зарубежной стране одиночного и группового ЗИП: если $K_{Г\text{зип}} \geq 0,9$, то коэффициенты технологической готовности, готовности к применению, коэффициент исправности имеют нестрогие предельно допустимые расчетные значения (система показателей 2) [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{Г\text{зип}} \geq 0,9 \\ 0,699 \leq K_{ГГ} \leq 0,865 \\ 0,963 \leq K_{ГП} \leq 0,986 \\ 0,01 \leq K_{И} \leq 0,07 \\ K_{Г(\text{реальные условия})} = K_{ЭГ}, \\ \text{при } m = \left[\frac{T}{t} \right] - \text{число циклов анализа.} \end{array} \right. \quad (2)$$

В итерационном алгоритме блок «Планирование, размещение ЗИП». Планирование ЗИП реализуется авторской методикой расчета номенклатуры одиночного и группового ЗИП. Ведомость ЗИП отображает количественные и стоимостные значения составных частей изделия. Стоимость комплектования запасными частями и принадлежностями выражается функцией $f(x) = \sum_{i=1}^n C_i$, зависит от номенклатуры составных частей, их количества и стоимости каждого элемента одиночного комплекта ЗИП. Для группового комплекта ЗИП функция $g(x) = \sum_{i=1}^{n+m} C_i$ зависит от номенклатуры составных частей, их количества и стоимости по каждому элементу составной части изделия одиночного комплекта ЗИП, дополнительно добавляются элементы $+m$. Таким образом, формируется групповой комплект ЗИП, который разрабатывается на группу агрегатов, блоков, узлов и ячеек для технического обслуживания наукоемкого изделия ремонтными органами непосредственно в процессе эксплуатации в стране экспорта силами и средствами обученного технического персонала на послепродажных стадиях жизненного цикла. Групповой комплект ЗИП по стоимости выше, т.к. по номенклатуре составных частей, по количеству элементов повторяет комплект одиночного ЗИП (n) плюс m , где m – добавленное число элементов запасных частей и принадлежностей, выработка на отказ которых происходит значительно позднее этапов гарантийного и послегарантийного обслуживания (система показателей 3).

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{i=1}^n C_i, \\ g(x) = \sum_{i=1}^{n+m} C_i. \end{cases} \quad (3)$$

Научный подход доказывает, что стоимость комплектов одиночного и группового ЗИП является неизменяемыми входными параметрами [8].

Блок «Формирование результирующей стоимости ИЛП» отображает суммарную стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации единичного экземпляра наукоемкого изделия, проектируемого на экспорт в определенную страну, представляет собой калькуляцию затрат и определяется

$$\sum_{\text{илп}} = \sum_{\text{изд}} + \sum_{\text{зип}} + \sum_{\text{иэтр}} + \sum_{\text{транс}} + \sum_{\text{мто}} + \sum_{\text{пер}}, \quad (4)$$

где:

$\sum_{\text{изд}}$ – стоимость изделия;

$\sum_{\text{зип}}$ – стоимость (окончательная) одиночного и группового комплектов запасных частей и принадлежностей, приблизительно составляет 20 % от стоимости изделия;

$\sum_{\text{иэтр}}$ – стоимость интерактивной формы представления технической документации, информационно-компьютерной поддержки отечественного производителя и международного заказчика;

$\sum_{\text{транс}}$ – стоимость транспортирования изделия составными частями согласно правилам международной торговли и экспорта;

$\sum_{\text{мто}}$ – стоимость планирования МТО, распределения и управления запасами;

$\sum_{\text{пер}}$ – стоимость оплаты труда технического персонала.

Для серийных изделий отрасли машиностроения стоимость жизненного цикла наукоемких изделий машиностроения определяется формулой (4.35) [10, с. 148]. Формула стоимости ЖЦ серийных изделий неэкспортного варианта и уникальных образцов техники экспортного варианта имеют ряд принципиальных отличий. Для экспортируемого наукоемкого изделия стоимость транспортирования и утилизации исключается из общей стоимости. Исключение из общей формулы стоимости ЖЦ объясняется следующим научным подходом:

1. *Транспортирование.* В формуле стоимости жизненного цикла для серии однотипной продукции неэкспортного варианта отрасли машиностроения стоимость транспортирования изделий включается в общую стоимость ЖЦ. Для экспортируемого единичного экземпляра наукоемкой продукции разрабатывается последовательность процедур кастомизации процессов экспорта на основе современной теории управления социально-экономическими системами. Процессы экспорта описаны в Положении внешнеторгового контракта, в котором учитывается юридическая ответственность отечественного разработчика и зарубежного заказчика за транспортирование изделия с этапа на этап: отгрузка/погрузка – таможня – разгрузка/погрузка – доставка на объект эксплуатации в стране экспорта; риски своевременного выставления инвойса (товаросопроводительной документации), форс-мажор.

2. *Утилизация*. В формуле стоимости жизненного цикла для изделий машиностроения неэкспортного варианта добавлена стоимость утилизации. Для эскортируемой отечественной наукоемкой продукции утилизация рассматривается после полной (окончательной) выработки ресурса изделия. В будущем решением зарубежного заказчика модернизация техники может иметь вторую жизнь. Утилизация наукоемких изделий в странах экспорта рассматривается как составная часть контроля экологии живой природы, экономической эффективности вторичной переработки, соблюдение норм экологической безопасности. Требования зарубежных стандартов утилизации с точки зрения экономической эффективности вторичной переработки предусматривают утилизацию (изъятие) драгоценных металлов, содержащихся в микроэлектронике. Отдельно утилизации подлежат ядерные, радиоактивные, химические элементы, если такие имеются в составе изделия. Утилизация наступает после последнего внепланового ремонта составных частей изделия. Утилизация имеет высокую стоимость. Зарубежный заказчик по истечении десятков лет эксплуатации наукоемкой продукции самостоятельно принимает решение об утилизации. Стоимость работ по утилизации изделия определяется зарубежным заказчиком и решается за счет средств будущих периодов.

2.5. ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ

Факторами управления стоимостью, влияющими на результирующую суммарную стоимость ИЛП, являются следующие переменные:

- базовая система показателей ИЛП по номенклатуре показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия (рис. 4);
- характеристики показателя надежности;
- границы показателя комплексного (значения системы показателей (2));
- норма планируемой прибыли;
- стоимость нормо-часа в оплате труда;
- гарантийный период;
- периодичность обслуживания;
- процентное соотношение стоимости затрат на здания, сооружения, оборудование и средства МТО в долях: для отечественного производителя и зарубежного заказчика – 50/50 или 20/80, если зарубежный заказчик имеет *другие целевые источники финансирования* на строительство дорог, складов промежуточного и длительного хранения, зданий и сооружений для проживания технического персонала; *способов размещения ремонтной базы; сроков ввода изделия в эксплуатацию.*

Факторами управления стоимостью, не влияющими на суммарную стоимость ИЛП, являются следующие переменные, которые определяются и согласовываются с зарубежным заказчиком заранее, до момента подписания экспортного контракта: стоимость $\Sigma_{ЗИП}$, $\Sigma_{ИЭТР}$, $\Sigma_{пер}$ (см. формулу 4). Факторы управления стоимостью не влияют потому, что комплект запасных частей одиночного и группового ЗИП изначально рассчитывается и принимается зарубежным заказчиком как величина постоянная, т.е. поддает-

ся предварительному расчету и согласованию с зарубежным заказчиком. Следовательно, факторами управления стоимостью, не влияющими на суммарную стоимость ИЛП, являются:

- 1) стоимость $\sum_{\text{ЗИП}}$ определяется системой показателей (2);
- 2) стоимость $\sum_{\text{ИЭТР}}$ определяется общим количеством модулей данных технической документации. Графики зависимости стоимости от количества модулей данных в Интерактивном электронном руководстве (ИЭТР) [11];
- 3) стоимость $\sum_{\text{пер}}$ оплаты труда отечественного технического персонала согласно тарифной сетке оплаты труда специалистов по квалификационному справочнику перечня должностей инженерно-технических работников Российской Федерации.

В цифровом двойнике СППР неизменяемыми входными параметрами являются:

- 1) среднее время восстановления работоспособности составной части изделия;
- 2) средняя наработка на отказ составных частей изделия;
- 3) коэффициент готовности изделия при наличии ЗИП (одиночный и групповой);
- 4) среднее время восстановления составной части изделия;
- 5) общее время работы изделия (в сутках);
- 6) средняя наработка на отказ изделия;
- 7) срок службы;
- 8) гарантийный срок службы;
- 9) ресурс.

Указаны границы показателя комплексного. На диаграмме показатель комплексный представлен системой взаимозависимых коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (реальные условия).

В цифровом двойнике СППР изменяемыми входными параметрами являются основные и вспомогательные входные параметры, а именно:

1. *Основными изменяемыми входными параметрами* являются численные значения коэффициентов технологической готовности, готовности к применению, коэффициента исправности, коэффициента готовности (система показателей (1)).

2. *Вспомогательными изменяемыми входными параметрами* системы управления являются: стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия, квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников, проектная норма прибыли, гарантийный период, периодичность обслуживания; процентное соотношение стоимости затрат на здания и сооружения; оборудование и средства МТО (рис. 2).

Применение научного подхода логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров сократило количество итераций. Требуется отметить, что цифровой двойник системы управления принятием решения автоматизирует только часть расчетов. По стоимости затрат в (4) стоимость $\sum_{\text{МТО}}$ имеет весомую часть затрат, которую зарубежный заказчик и отечественный производитель могут в различных долях делить между собой. Стоимость планирования материально-технического обеспечения зарубежный заказчик может решать самостоятельно, за счет других привлеченных средств. Стоимость планирования материально-технического обеспечения

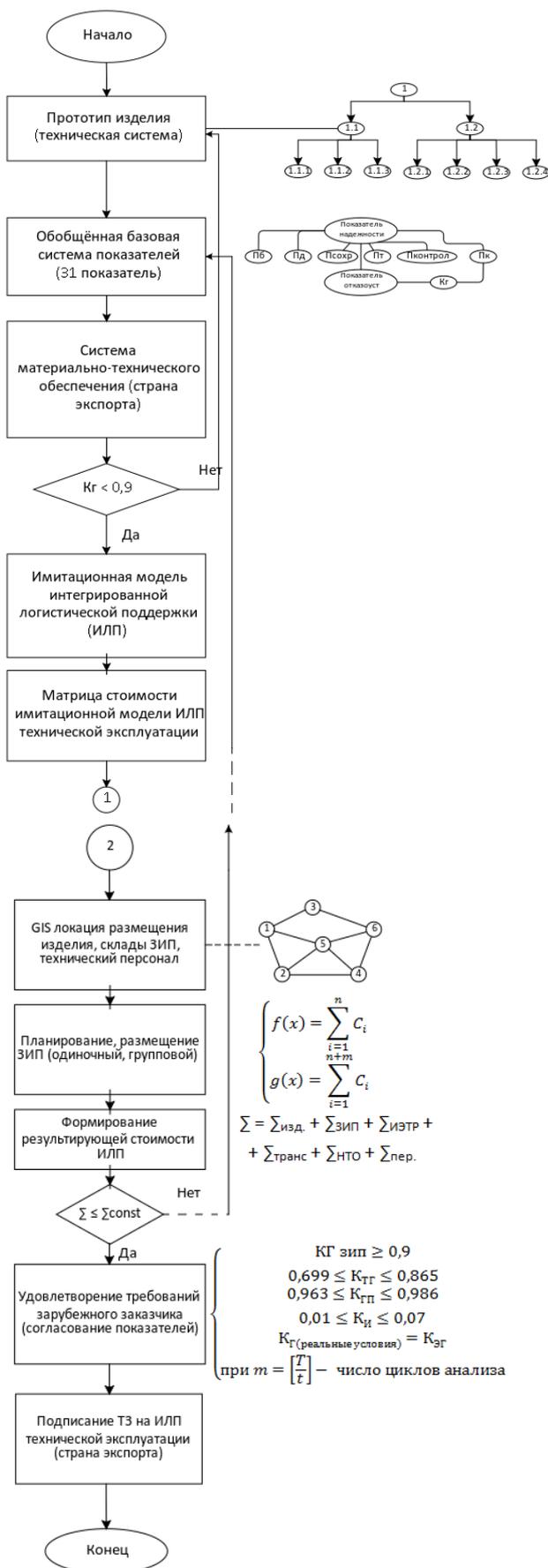
зависит от следующих внешних факторов: наличия у зарубежного заказчика *других целевых источников финансирования* на строительство дорог, складов промежуточного, длительного хранения, зданий и сооружений для проживания технического персонала; *способов размещения ремонтной базы; сроков ввода изделия в эксплуатацию.*

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Принципиальную роль в международной торговле играет наличие у продавца технологии (комплекса мероприятий) интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкой продукции. Наибольший вес добросовестного поставщика на международном рынке имеет экспортер, который владеет комплексом мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации. Для зарубежного заказчика затраты на техническую эксплуатацию наукоемкой продукции очень значимы, т.к. стоимость интегрированной логистической поддержки (ИЛП) технической эксплуатации превышает стоимость изделия. Автором предложен алгоритм итерационного моделирования. Обоснован научный подход к логическому упорядочению изменяемых входных параметров. В итерационном алгоритме конечной итерацией считается достижение консенсуса между отечественным разработчиком и зарубежным заказчиком.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В модели общего экономического равновесия применительно к экспорту уникального наукоемкого изделия имеет место использование результатов модели цифрового двойника СППР и итерационного алгоритма моделирования результирующей стоимости ИЛП. Эмпирическая аргументация научного обоснования изменяемых входных основных и вспомогательных параметров итерационного моделирования проводится на стыке технических характеристик и экономических показателей. Автором используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасли радиолокации и международного экспортного рынка. Включением в модель общего экономического равновесия спроса и предложения на экспортном рынке отечественной наукоемкой продукции цифрового двойника системы поддержки принятия решения решается научная задача исследования формирования результирующей стоимости интегрированной логистической поддержки. Как следствие поиск консенсуса между отечественным производителем и зарубежным заказчиком решается итерационным моделированием с логическим упорядочением входных параметров. Проводя итерационное моделирование, отечественный разработчик и зарубежный заказчик достигают консенсуса в части согласования технических характеристик, экономических показателей, результирующей стоимости ИЛП.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клейнер Г. Б. Интеллектуальная теория фирмы // Вопросы экономики. 2021. № 1. С. 73–97.
2. Бозиева А. М., Дзамихова Ф. Х. Модель интеллектуальной системы, основанной на нечеткой логике, в задачах оценки деятельности высшего учебного заведения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 1(111). С. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17.
3. Котлярова И. О. Технологии искусственного интеллекта в образовании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. 2022. Т. 14. № 3. С. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307.
4. Веретехина С. В. Регрессионный анализ зависимости тактико-технических характеристик и показателя эксплуатационно-экономической эффективности: монография. Москва: Директ-Медиа, 2023. 72 с.
5. Веретехина С. В. Последовательность процедур кастомизации процессов экспорта на основе теории управления социально-экономическими системами // Вопросы новой экономики. 2022. Т. 4(64). С. 46–56.
6. Веретехина С. В. Технология поддержки экспорта: экономико-математическое моделирование внешнеторгового контракта // Вопросы новой экономики. 2022. Т. 3(63). С. 108–166.
7. Веретехина С. В. Концепция эконометрического моделирования интегрированной логистической поддержки экспорта наукоемких изделий // Model Economy Success. 2021. Т. 5. С. 116–120.
8. Веретехина С. В. Методика расчета комплектов запасных частей и принадлежностей, экспортируемых наукоемких изделий // Russian Economic Bulletin. 2021. Т. 4(5). С. 108–121.
9. Истратов В. А. О развитии компьютерного алгоритма формирования привычки // Искусственные общества. 2020. Т. 15. № 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6.
10. Судов Е. В., Левин А. И., Петров А. В., Чубарова Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. Москва: ИнформБюро, 2006. 232 с.
11. Веретехина С. В. Методика разработки интерактивной электронной технической документации для наукоемких изделий отрасли связи и информатизации: автореф. дисс... канд. экон. наук. Москва, 2008. 16 с.

REFERENCES

1. Kleiner G.B. Intellectual theory of the firm. *Questions of economics*. 2021. No. 1. Pp. 73–97. <http://elib.fa.ru/art2021/bv51.pdf>. (In Russian)
2. Bozieva A.M., Dzamikhova F.Kh. A model of an intelligent system based on fuzzy logic in the tasks of evaluating the activities of a higher educational institution. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 1(111). Pp. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17. (In Russian)
3. Kotlyarova I.O. Artificial intelligence technologies in education. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie. Pedagogicheskie nauki* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical Sciences]. 2022. Vol. 14. No. 3. Pp. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307. (In Russian)
4. Veretekhina S.V. *Regressionnyy analiz zavisimosti taktiko-tekhnicheskikh kharakteristik i pokazatelya ekspluatatsionno-ekonomicheskoy effektivnosti* [Regression analysis of the dependence of tactical and technical characteristics and the indicator of operational and economic efficiency]: monograph. Moscow: Direct-Media, 2023. 72 c. (In Russian)

5. Veretekhina S.V. The sequence of procedures for customization of export processes based on the theory of management of socio-economic systems. *Issues of the new economy*. 2022. Vol. 4(64). Pp. 46–56. (in Russian)
6. Veretekhina S.V. Export support technology: economic and mathematical modeling of a foreign trade contract. *Issues of the new economy*. 2022. Vol. 3(63). Pp. 108–166. (in Russian)
7. Veretekhina S.V. The concept of econometric modeling of integrated logistics support for the export of knowledge-intensive products. *Model Economy Success*. 2021. Vol. 5. Pp. 116–120. (in Russian)
8. Veretekhina S.V. Methodology for calculating sets of spare parts and accessories exported knowledge-intensive products. *Russian Economic Bulletin*. 2021. Vol. 4(5). Pp. 108–121.
9. Istratov V.A. On the development of a computer algorithm for habit formation [Artificial Societies]. 2020. Vol. 15. No. 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6. (in Russian)
10. Sudof E.V., Levin A.I., Petrov A.V., Chubarova E.V. *Tekhnologii integrirovannoy logisticheskoy podderzhki izdeliy mashinostroyeniya* [Technologies of integrated logistics support of machine–building products]. Moscow: InformByuro, 2006. 232 p. (in Russian)
11. Veretekhina S.V. *Metodika razrabotki interaktivnoy elektronnoy tekhnicheskoy dokumentatsii dlya naukoymkikh izdeliy otrasli svyazi i informatizatsii* [Methodology for the development of interactive electronic technical documentation for knowledge-intensive products of the communications and informatization industry]: avtoref. diss... kand. ekon. nauk. Moscow, 2008. 16 c. (in Russian)

Информация об авторе

Веретехина Светлана Валерьевна, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный социальный университет; докторант, Финансовый университет при Правительстве РФ;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1;
Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>

Information about the author

Veretekhina Svetlana Valerievna, Candidate of Economics, Associate Professor, Russian State Social University; Doctoral Student, Financial University under the Government of the Russian Federation;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Build.;
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue;
Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>