

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.36.1.027](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.36.1.027)

Оптимизация цифровой нити логистических цепочек в практике управления организационными системами

В.В. Муха

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме: В статье рассматривается подход, основанный на использовании методов моделирования, оптимизации и экспертного оценивания при формировании цифровой нити логистических цепочек в практике управления организационными системами. Показано, что цифровая нить должна обеспечить, с одной стороны, перемещение материальных потоков в рамках логистической цепочки, а с другой – обмен информационными потоками при взаимодействии цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы. Задача заключается в принятии управленческого решения о необходимости модернизации эксплуатируемой системы цифрового управления логистическим процессом в сравнении с результатами многовариантного моделирования и оптимизации структуры цифровой нити. В первую очередь, осуществляется модельная оценка показателей эффективности информационного обмена в случае базовых структур взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов, образующих логистическую цепочку: централизованной и децентрализованной. С целью расширения возможностей экспертного оценивания нового варианта цифрового управления логистическим процессом осуществляется имитационное моделирование процессов перемещения материальных потоков и обмена данными для оптимизации трехуровневой кластерной структуры цифровой нити. Все эти этапы принятия управленческого решения объединены в структурную схему выбора эффективного варианта реализации цифровой нити логистических цепочек.

Ключевые слова: организационная система, управление, логистический процесс, цифровая нить, оптимизация, имитационное моделирование, экспертное оценивание.

Для цитирования: Муха В.В. Оптимизация цифровой нити логистических цепочек в практике управления организационными системами. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1132> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.027

Optimization of a supply chain digital thread in the practice of managing organizational systems

V.V. Mukha

*Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: The article discusses an approach based on the use of methods for modeling, optimization and expert assessment in the development of a supply chain digital thread in the practice of managing organizational systems. It is shown that a digital thread needs to ensure, on the one hand, the movement of material flows within the supply chain and, on the other hand, the exchange of information flows during the interaction of the control center digital platforms and objects of the organizational system. The task is to make a managerial decision regarding the necessity to modernize the operating system of the logistics process digital control in comparison with the results of multivariate modeling and optimization of the digital thread structure. First of all, a model assessment of information exchange efficiency indicators is carried out in the case of basic structures of interaction between digital platforms

of the control center and objects that form the supply chain: centralized and decentralized. In order to expand the expert evaluation possibilities of the new version of the logistics process digital management, simulation of the material flows movement processes and data exchange is undertaken to optimize the three-level cluster structure of the digital thread. All these stages of making a managerial decision are combined into a structural scheme for choosing an effective option for implementing a digital thread of supply chains.

Keywords: organizational system, management, logistics process, digital thread, optimization, simulation, expert assessment.

For citation: Mukha V.V. Optimization of a supply chain digital thread in the practice of managing organizational systems. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1132> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.027 (In Russ).

Введение

Цифровое управление [1] логистическим процессом в организационных системах реализуется с использованием цифровой логистики [2-4], под которой понимается часть логистических функций и операций, основанных на цифровых преобразованиях с использованием информационных технологий.

Цифровая трансформация логистического процесса базируется на формировании взаимодействия между цифровыми платформами управляющего центра и объектов организационной системы, входящих в логистическую цепочку [5]. Для достижения эффективности такого взаимодействия создается сквозная цифровая нить, объединяющая в виртуальном пространстве точки данных, которые определяют перемещение материальных потоков. Цифровая нить характеризуется следующими свойствами [6]:

- обеспечивает синхронизацию информационных и материальных потоков при перемещении результатов деятельности объектов организационной системы;
- предоставляет прослеживаемость и комплексное управление данными;
- служит средством обратной связи для принятия управленческого решения;
- выступает эффективным инструментом цифрового управления логистическим процессом, позволяющим достичь нового уровня экономических, временных и надежностных показателей в ходе перемещения результатов деятельности объектов организационной системы.

В работах [5, 7, 8] показано, что оптимизация цифровой нити логистических цепочек основана на многовариантном выборе структурных решений взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы.

Оптимизационный характер принятия управленческих решений определяется:

- наличием двух множеств показателей, характеризующих эффективность перемещения материальных потоков $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ и информационного обмена между цифровыми платформами при управлении этими перемещениями $\Psi_{j, j'} = \overline{1, J'}$;
- возможностью многовариантного выбора либо на фиксированном множестве структурных решений, характеризующих взаимодействие цифровых средств управляющего центра и цифровизированных компонентов логистического процесса, либо на варьируемом множестве структурных решений, характеризующих число уровней цифрового

управления и распределение цифровизированных компонентов между этими уровнями;

- необходимостью привлечения информации в виде оценок экспертов управляющего центра значимости показателей эффективности $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ и $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$ с учетом многокритериальности выбора оптимального структурного решения.

В практике перехода к управлению логистическим процессом в организационных системах с использованием цифровой нити имеется возможность мониторинга реальной эксплуатации цифровизированного логистического процесса. Использование разработанных программных средств для его модельной оптимизации позволяет экспертам управляющего центра организационной системы принять решение о модернизации системы цифрового управления на основе модельного структурного решения.

Целью настоящей работы является формирование подхода к оптимизации цифровой нити логистических цепочек организационной системы на основе оценки показателей варианта, находящегося в эксплуатации, и последующего использования оптимизационных моделей для выбора более эффективного варианта.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

- модельная оценка показателей эффективности логистического процесса с использованием цифровой нити логистических цепочек;
- структуризация принятия управленческих решений по выбору эффективного варианта реализации цифровой нити.

Модельная оценка показателей эффективности логистического процесса с использованием цифровой нити логистических цепочек

Модельная оценка показателей эффективности цифровизированного процесса осуществляется для двух наиболее распространенных вариантов реализации цифровой нити: централизованного и децентрализованного взаимодействия между цифровыми платформами управляющего центра (платформа ERP) и объектов (платформа WMS) организационной системы, входящих в логистическую цепочку.

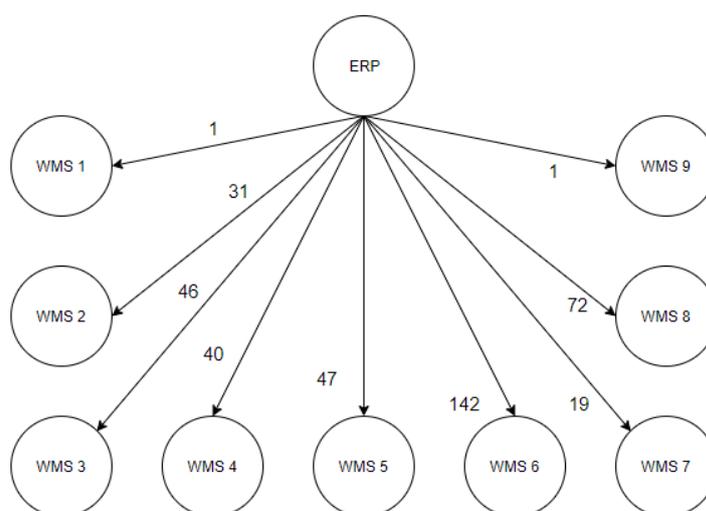


Рисунок 1 – Схема децентрализованного обмена
 Figure 1 – Decentralized communications flowchart

Предлагается провести модельное оценивание следующих показателей:

Ψ_1 – скорость передачи информации;

Ψ_2 – объем передаваемой информации;

Ψ_3 – затраты на обработку одной единицы информационного обмена.

Для критерия оценки скорости передачи данных будет важна скорость обмена пакетами XML между ERP и WMS. Для сравнения расчетов скорости обмена данными опытным путем были проведены замеры с помощью пинг-тестов. Модель обмена данными для децентрализованной цифровой нити представлена в виде графа на Рисунке 1. Каждое ребро графа представляет собой межсистемный интерфейс (шлюз) между ERP и каждой локальной WMS в распределенной системе. Вес каждого ребра – время обмена пакетами XML. Матрица смежности для графа при децентрализованной схеме обмена имеет вид:

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ 1 & 0 & \dots & A_{2n} \\ 31 & 0 & \dots & A_{3n} \\ 46 & 0 & \dots & A_{4n} \\ 40 & 0 & \dots & A_{5n} \\ 47 & 0 & \dots & A_{6n} \\ 142 & 0 & \dots & A_{7n} \\ 19 & 0 & \dots & A_{8n} \\ 72 & 0 & \dots & A_{9n} \\ 1 & 0 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, \quad n=1, \dots, 10 \quad (1)$$

Модель обмена данными для централизованной схемы цифровой нити представлена в виде графа на Рисунке 2.

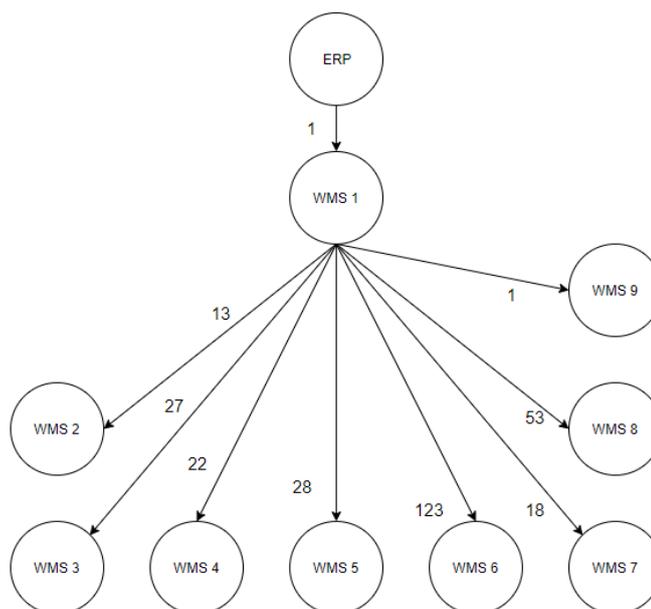


Рисунок 2– Схема централизованного обмена
Figure 2 – Centralized communications flowchart

Вес каждого ребра – время обмена пакетами XML между ERP и главной WMS, и между главной WMS и локальными WMS. Матрица смежности для графа при централизованной схеме обмена имеет вид:

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ 1 & 0 & 0 & \dots & A_{2n} \\ 0 & 13 & 0 & \dots & A_{3n} \\ 0 & 27 & 0 & \dots & A_{4n} \\ 0 & 22 & 0 & \dots & A_{5n} \\ 0 & 28 & 0 & \dots & A_{6n} \\ 0 & 123 & 0 & \dots & A_{7n} \\ 0 & 18 & 0 & \dots & A_{8n} \\ 0 & 53 & 0 & \dots & A_{9n} \\ 0 & 1 & 0 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, \quad n=1, \dots, 10 \quad (2)$$

Проведем сравнение маршрутов графов от вершины ERP до вершины каждой локальной WMS. В Таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа.

Таблица 1 – Сравнение скорости передачи
Table 1 – Comparison of transmission speed

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Увеличение скорости обмена
WMS 1	1	1	0
WMS 2	31	14	17
WMS 3	46	28	18
WMS 4	40	23	17
WMS 5	47	29	18
WMS 6	142	124	18
WMS 7	19	19	0
WMS 8	72	54	18
WMS 9	1	2	-1

При централизованной схеме обмена данными скорость обмена пакетами XML возросла для шести локальных WMS, для двух локальных WMS скорость осталась неизменной, и для одной локальной WMS скорость упала. Таким образом, при частичной централизации обмена скорость передачи пакетов XML возрастает в среднем на 65 %, что является весьма хорошим показателем для распределенной реализации цифровой нити, в которой физически локальные WMS территориально значительно отдалены друг от друга.

Следующий критерий оценки эффективности централизации – объем передаваемой через сетевой шлюз информации.

Используя графовые модели, аналогичные представляемым на Рисунках 1, 2, проведем сравнения объемов передаваемых пакетов в Таблице 2. В таблице отображены маршруты графов от вершины ERP до вершины каждой локальной WMS.

Для всех локальных WMS объем передаваемых пакетов XML увеличился в 2 раза. Лишь для системы инициатора объем пакетов остался неизменным, т. к. именно в системе инициатора (главной WMS) происходит обмен с ERP.

Таблица 2 – Сравнение объемов передаваемых пакетов
Table 2 – Comparison of the transmitted packet volumes

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Увеличение пакетов обмена
WMS 1	1	1	0
WMS 2	1	3	2
WMS 3	1	3	2
WMS 4	1	3	2
WMS 5	1	3	2
WMS 6	1	3	2
WMS 7	1	3	2
WMS 8	1	3	2
WMS 9	1	3	2

Следующий критерий оценки эффективности централизации – трудозатраты на обработку одной единицы справочника. К одной единицы справочника в данном случае относятся все результаты деятельности объектов организационной системы, включенные в логистическую цепочку.

Модель представления трудозатрат, необходимых для обработки одной единицы справочника для децентрализованной схемы обмена отображена в виде графа на Рисунке 3. Ребра графа от ERP к локальным WMS представляют собой трудозатраты на передачу пакета XML. Вес каждого ребра – условная единица трудозатрат, необходимых для обмена. Петли графа для вершин локальных WMS представляют собой трудозатраты на обработку одной единицы справочника администратором справочника. Очевидно, что при такой схеме необходимы трудозатраты 9 администраторов, без учета администрирования справочников в ERP.

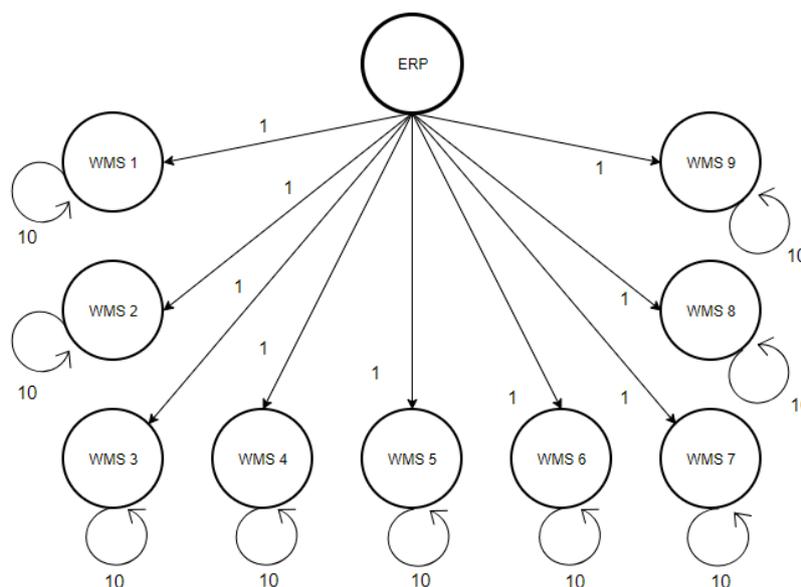


Рисунок 3 – Схема децентрализованного обмена
Figure 3 – Decentralized communications flowchart

Формулой 3 задана матрица смежности для графа при децентрализованной схеме обмена.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Модель представления трудозатрат, необходимых для обработки одной единицы справочника для централизованной схемы обмена отображена в виде графа на Рисунке 4. Ребра графа представляют собой трудозатраты на передачу пакета XML. Вес каждого ребра – условная единица трудозатрат, необходимых для обмена.

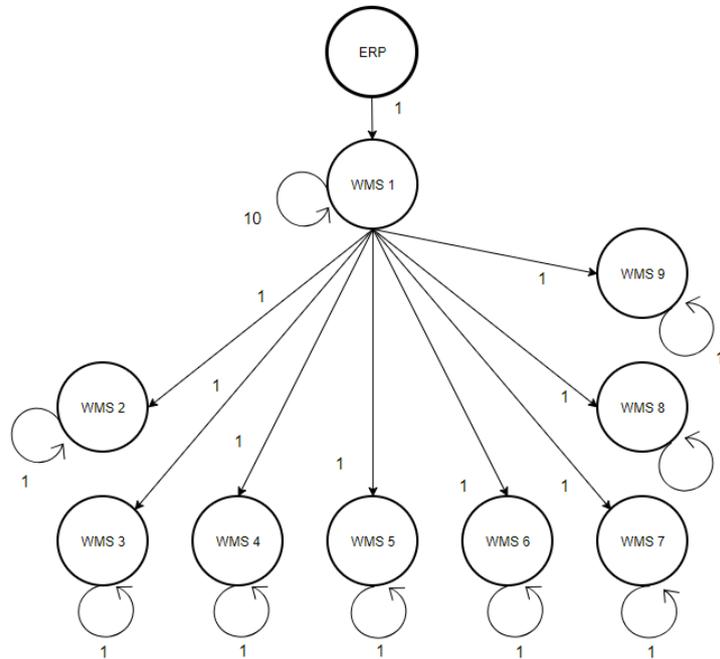


Рисунок 4 – Схема централизованного обмена
Figure 4 – Centralized communications flowchart

Петля для вершины WMS 1 представляет собой трудозатраты на обработку одной единицы справочника администратором. Формулой 4 задана матрица смежности для графа при централизованной схеме обмена.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Петли вершин локальных WMS представляют трудозатраты на обработку одного пакета XML. В централизованной схеме обмена требуется ручная работа только одного администратора главной WMS – системы инициатора. Он задает все атрибуты, необходимые для корректной работы WMS, и в дальнейшем в пакете XML передаются уже готовые обработанные данные.

Расчет трудозатрат при децентрализованной и централизованной схеме обмена показан в Таблице 3. Трудозатраты на администрирование справочников в распределенной системе необходимо рассматривать в виде суммы всех трудозатрат, требуемых для администрирования справочников каждой локальной WMS.

В Таблице 3:

T_p – трудозатраты,

$n = 1, \dots, 9$ – номер локальной WMS по порядку.

При децентрализованной и централизованной схеме обмена трудозатраты на администрирование справочников WMS 1 (или системы инициатора) остаются неизменными.

Таблица 3 – Сравнение трудозатрат

Table 3 – Comparison of labor costs

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Разница трудозатрат
WMS 1	11	11	0
WMS n	$\sum_{1}^n T_p = 99$	$\sum_{1}^n T_p = 27$	72

Для администрирования справочников распределенной WMS при централизованной схеме обмена необходима работа лишь 1 администратора.

Расчеты позволяют сделать заключение, что общие трудозатраты на администрирование справочников распределенной WMS системы при централизованной схеме обмена сокращаются на 73 % (Таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение схем обмена

Table 4 – Comparison of communications flowcharts

Критерий	Децентрализованная схема	Централизованная схема
Скорость передачи информации	Средняя, относительно невысокая	Увеличивается на 65 %
Объем передаваемой информации	Небольшой размер пакетов XML	Увеличивается в 2 раза
Трудозатраты на обработку одной единицы справочника	Значительные	Уменьшаются на 73 %

Полученные модельные оценки далее используются при принятии управленческих решений, связанных с многовариантным оптимизационным выбором эффективной структуры цифровой нити.

Структура принятия управленческих решений по выбору эффективного варианта реализации цифровой нити

Для принятия управленческих решений по выбору эффективного варианта реализации цифровой нити в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе предлагается следующая последовательность этапов:

1. Мониторинг реальной эксплуатации цифровизированного логистического процесса с фиксированной централизованной и децентрализованной структурой для определения:

- **характеристик многофазной системы массового обслуживания**, отражающей преобразование материальных потоков,

$$\begin{aligned} i &= \overline{1, I}, i_r = \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R}; \\ \lambda_r, r &= \overline{1, R}, \lambda_{i_r}, i_r = \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R}; \\ \mu_{i_r}, i_r &= \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $i = \overline{1, I}$ – нумерационное множество объектов организационной системы, входящих в логистическую цепочку с информационным обменом в рамках цифровой нити;

$r = \overline{1, R}$ – нумерационное множество фаз логистического процесса;

$i_r = \overline{1, I_r}$ – нумерационное множество объектов, входящих в r -ю фазу логистического процесса;

x_r – интенсивность материального потока на входе r -й фазы;

x_{i_r} – интенсивность материального потока на входе i_r – объекта;

μ_{i_r} – интенсивность обслуживания материального потока в рамках i_r – объекта;

- **характеристик системы массового обслуживания**, отражающей информационный обмен между цифровыми платформами:

$$\begin{aligned} i &= \overline{1, I}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}; \\ \lambda_m, \mu_{1m}, \mu_{2m}, m &= \overline{1, M}; \\ \lambda_{i_m}, \mu_{1i_m}, \mu_{2i_m}, \lambda_{i_m}^{\text{отк}}, \tau_{i_m}^{\text{ож}}, \tau_{i_m}^{\text{в}}, i_m &= \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $m = \overline{1, M}$ – нумерационное множество кластеров на втором уровне цифровой нити (Рисунок 5);

$i_m = \overline{1, I_m}$ – нумерационное множество объектов логистической цепочки, объединенных цифровой платформой m – го кластера;

λ_m – интенсивность входного потока XML – документов, поступающих от цифровой платформы цифрового центра для объекта в цифровой платформе m -го кластера;

μ_{1m} – интенсивность выполнения подготовительного этапа к обслуживанию заявки в m -м канале;

μ_{2m} – интенсивность обслуживания XML документов в m -м канале;

λ_{i_m} – интенсивность входного потока XML – документов, поступающих в рамках цифровой нити для обработки в цифровой платформе i_m -го объекта;

μ_{1i_m} – интенсивность выполнения подготовительного этапа для обслуживания заявки в i_m -м канале;

μ_{2i_m} – интенсивность обслуживания XML документов в i_m -м канале;

$\lambda_{i_m}^{\text{отк}}$ – интенсивность отказов цифровой нити в i_m -м канале;

$\tau_{i_m}^{\text{ож}}$ – среднее время ожидания восстановления информационного обмена после отказа в i_m -м канале;

$\overline{\tau}_{i_m}^B$ – среднее время восстановления цифрового обмена с i_m -м каналом.

2. Модельная оптимизация выбора гибкой кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием режима имитационного моделирования [9].
3. Принятие решения экспертами управляющего центра организационной системы о необходимости модернизации эксплуатируемой системы цифрового управления логистическим процессом [10].

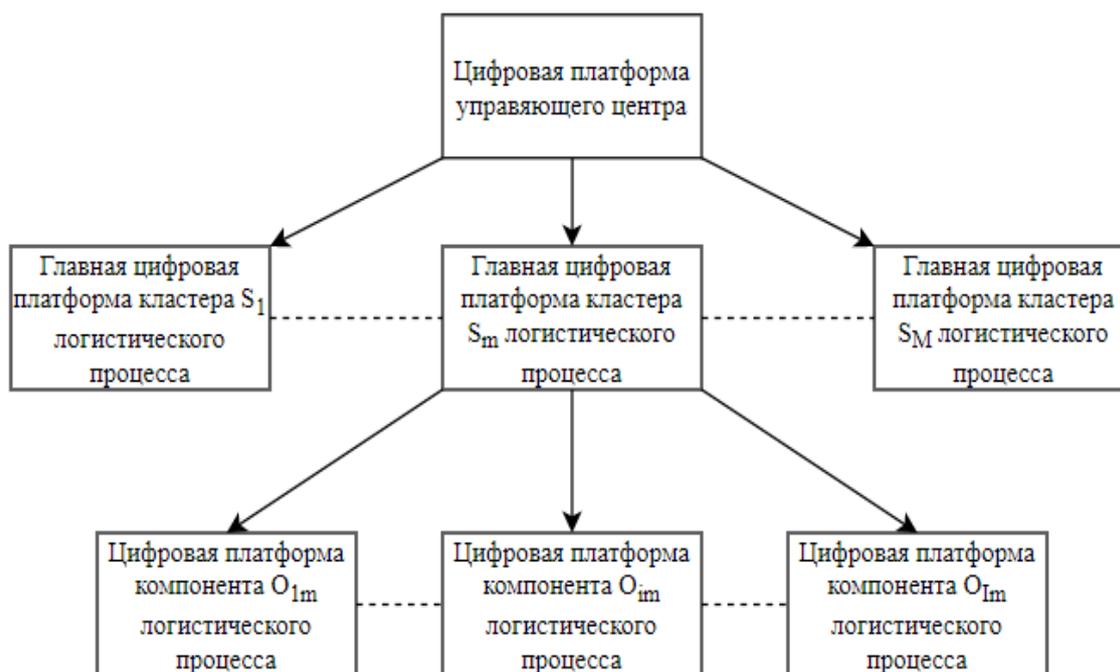


Рисунок 5 – Структура цифровой нити кластерного взаимодействия цифровых платформ
Figure 5 – The digital thread structure of digital platform cluster interaction

С этой целью значения показателей сравниваются со значениями показателей вариантов структуры цифрового управления, полученных при оценке централизованной и децентрализованной структур и на этапе для кластерной структуры.

Если при сравнении окажется, что эти значения устраивают экспертов управляющего центра, продолжается использование эксплуатируемой системы цифрового управления, в противном случае применяется решение о модернизации системы по приоритетному варианту с учетом объема капитальных вложений при модернизации.

Структурная схема принятия управленческого решения по результатам применения программных средств оптимизации в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе приведена на Рисунке 6.

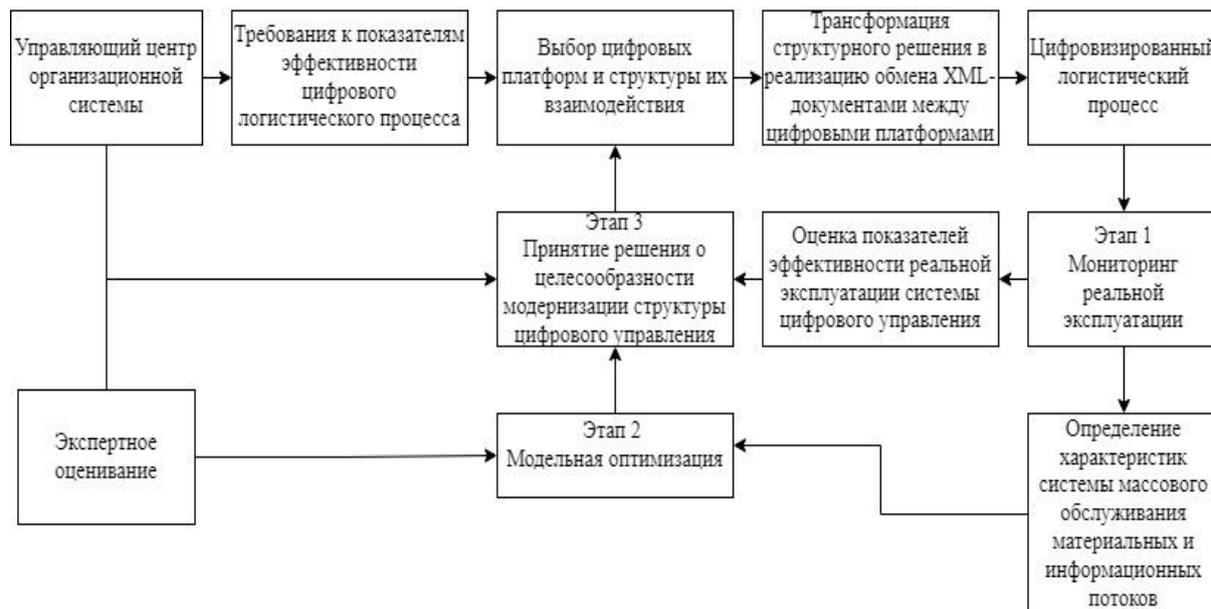


Рисунок 6 – Структурная схема принятия управленческого решения по выбору эффективного варианта реализации цифровой нити логистических оценок

Figure 6 – Block diagram of managerial decision-making on choosing an effective option for implementing the digital thread of logistic assessments

Заключение

Поскольку в практике цифрового управления логистическим процессом необходимым является требование повышения эффективности его реализации, возникает необходимость модернизации эксплуатируемой системы. Принятие управленческого решения, связанного с возникшей необходимостью модернизации, целесообразно основывать на сравнительном экспертном оценивании с новыми вариантами цифровой нити логистической цепочки.

Разнообразие структур реализации цифровой нити, показателей эффективности перемещения материальных потоков между объектами организационной системы, входящими в логистическую цепочку, и информационного обмена между цифровыми платформами управляющего центра и этих объектов определяет подход, который основан на модельной оценке базовых вариантов и вариантов, полученных на основе имитационного моделирования и оптимизации. При этом в качестве базовых вариантов следует рассматривать структуры централизованного и децентрализованного построения цифровой нити. Другие варианты формируются на основе оптимизационного моделирования трехуровневого кластерного взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы.

При осуществлении предлагаемого подхода в рамках системы принятия управленческого решения по выбору эффективного варианта реализации цифровой нити логистической цепочки обеспечивается полноценное использование разработанных средств многовариантного моделирования и оптимизации во взаимодействии с экспертами управляющего центра организационной системы и обратной связью на основе данных мониторинга цифровизированного логистического процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Львович Я.Е., Львович И.Я. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах: коллективная монография*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга»; 2021. 191 с.

2. Афанасенко И.Д., Борисова В.В. *Цифровая логистика*. Санкт-Петербург: Питер; 2019. 272 с.
3. Еловой И.А., Лебедева И.А. *Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: (теория, методология, организация)*. Минск: Право и экономика; 2011. 460 с.
4. Сердюкова Л.О., Баширадзе Р.Р., Пахомов А.В. Формирование инновационной транспортно-логистической системы на цифровой платформе. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2020; 13(2). Доступно по: <https://economy.spbstu.ru/article/2020.82.6/>. DOI: 10.18721/JE.13206 (дата обращения: 13.02.2022).
5. Борзова А.С., Львович Я.Е., Муха В.В. Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=942>. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.005 (дата обращения: 13.02.2022).
6. Логунова И.В., Трощенко Д.В. Модель логистической системы предприятия в условиях цифровой экономики. *Экономинфо*. 2019;16(2-3):81–86.
7. Борзова А.С., Львович Я.Е., Муха В.В. Оптимизация выбора структуры гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств управления логистическим процессом в организационной системе. *Вестник Российского нового университета: Сложные системы: модели, анализ, управление*. 2021;2:35–44.
8. Борзова А.С., Муха В.В. Особенности построения системы принятия решений при многовариантной оптимизации структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе имитационного моделирования. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=1048> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.021 (дата обращения: 13.02.2022).
9. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. *Моделирование и управление в сложных системах*. М.: Сов. радио; 1974. 264 с.
10. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.И. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга»; 2016. 444 с.

REFERENCES

1. L'vovich Ya.E., L'vovich I.Ya. *Optimization of digital control in organizational systems: a collective monograph*. Voronezh: CPI "Scientific Book"; 2021. 191 p. (In Russ.)
2. Afanasenko I.D., Borisova V.V. *Digital logistics*. St. Petersburg: Peter; 2019. 272 p. (In Russ.)
3. Elovoi I.A., Lebedeva I.A. *Integrated logistics systems for resource delivery: (theory, methodology, organization)*. Minsk: Law and Economics; 2011. 460 p. (In Russ.)
4. Serdyukova L.O., Bashiradze R.R., Pakhomov A.V. Formation of an innovative transport and logistics system on a digital platform. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki*. 2020;13(2). Available from: <https://economy.spbstu.ru/article/2020.82.6/> (accessed on: 13.02.2022). (In Russ.)
5. Borzova A.S., L'vovich Ya.E., Mukha V.V. Multi-criteria modeling of the choice of the variant of the logistics process management structure in the organizational system. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnyetehnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2021; 9(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=942> (accessed on: 13.02.2022). (In Russ.)

6. Logunova I.V., Troshchenko D.V. Model of the logistics system of an enterprise in a digital economy. *Ekonominfo*. 2019;16(2-3):81–86. (In Russ.)
7. Borzova A.S., L'vovich Ya.E., Mukha V.V. Optimization of the choice of the structure of flexible cluster interaction of digital means of managing the logistics process in the organizational system. *Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta: Slozhnyesistemy: modeli, analiz, upravlenie = Vestnik of Russian New University*. 2021;2:35–44. (In Russ.)
8. Borzova A.S., Mukha V.V. Features of building a decision-making system for multivariate optimization of the structure of digital control of the logistics process in the organizational system based on simulation. *Modelirovanie, optimizatsiyai informatsionnye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2021;9(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=1048> (accessed on: 13.02.2022). (In Russ.)
9. Snapelev Yu.M., Starosel'skii V.A. *Modeling and control in complex systems*. M.: Sov. radio; 1974. 264 p. (In Russ.)
10. L'vovich I.Ya., L'vovich Ya.E., Frolov V.I. *Information technology modeling and optimization: a brief theory and applications: monograph*. Voronezh: CPI «Scientific Book»; 2016. 444 p. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Муха Владимир Владимирович, аспирант, **Vladimir V. Mukha**, postgraduate student, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация. Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.
e-mail: vladimirmyxa@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.01.2022; одобрена после рецензирования 17.03.2022; принята к публикации 30.03.2022.

The article was submitted 12.01.2022; approved after reviewing 17.03.2022; accepted for publication 30.03.2022.