

УДК 004:007.51
DOI

МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ

¹Ивашенко А.В., ²Болвашенков И.В.

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»,
Самара, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com;

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», Пенза

В статье рассматривается проблема повышения доступности высокотехнологичной персонализированной медицины в условиях сетевого взаимодействия различных организаций отрасли здравоохранения. Цель исследования состоит в разработке и внедрении на практике модели логистической цепи поставок для персонализированной медицины с учетом современных требований по обеспечению медицинских услуг высокотехнологичными сервисами. Проведенное исследование было направлено на выявление ключевых аспектов построения оптимальной логистической цепи поставок для высокотехнологичных продуктов персонализированной медицины. Для достижения цели были проанализированы современные тенденции рынка медицинских услуг, изучены особенности взаимодействия участников цепи поставок, проведены расчеты экономической целесообразности и выявлены наиболее значимые факторы риска. В результате предложена оригинальная модель логистической цепи поставок для высокотехнологичной персонализированной медицины, отличающаяся от аналогов возможностью постановки и решения оптимизационной многокритериальной задачи планирования и реализации цифрового портфеля медицинских услуг. Цифровой портфель медицинских услуг с результатами планирования и реализации представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются события назначения и реализации медицинских услуг, а ребрами – последовательности их планирования и реализации с учетом функциональных и ресурсных возможностей. Такое представление позволяет реализовать конструктивные алгоритмы планирования ресурсов с учетом временных ограничений и автоматизировать поддержку принятия решений по организации взаимодействия. На базе предложенной модели была разработана цифровая посредническая платформа медицинской цепи поставок, обеспечивающая оптимизацию высокотехнологичных услуг персонализированной медицины по времени и стоимости для пациентов, сохраняя при этом производственную и логистическую эффективность для поставщиков услуг. Реализация предложенного решения на практике повышает доступность высокотехнологичной персонализированной медицины и способствует замещению импортных изделий отечественными разработками в рамках стратегии технологического суверенитета.

Ключевые слова: логистическая цепь поставок, высокотехнологичное здравоохранение, персонализированная медицина, управление в организационных системах, цифровая трансформация, планирование

HEALTHCARE SUPPLY CHAIN LOGISTICS MODEL FOR HIGH-TECH PERSONALISED MEDICINE

¹Ivaschenko A.V., ²Bolvashenkov I.V.

¹Samara State Medical University, Samara, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com;

²Penza State Technological University, Penza

The paper studies the problem of increasing the availability of high-tech personalized medicine in the context of network interaction of various organizations in the healthcare industry. The purpose of the study is to develop and implement in practice a model of the logistics supply chain for personalized medicine, taking into account modern requirements for providing medical services with high-tech services. The study was aimed at identifying the key aspects of building an optimal logistics supply chain for high-tech personalized medicine products. To achieve this goal, modern trends in the medical services market were analyzed, the features of interaction between supply chain participants were studied, economic feasibility calculations were carried out, and the most significant risk factors were identified. As a result, an original model of the logistics supply chain for high-tech personalized medicine was proposed, which differs from analogues in the ability to formulate and solve an optimization multi-criteria problem of planning and implementing a digital portfolio of medical services. The digital portfolio of medical services with the results of planning and implementation is a directed graph, the vertices of which are the events of appointment and implementation of medical services, and the edges of the sequence of their planning and implementation, taking into account the functional and resource capabilities. Such a representation allows you to implement constructive algorithms for resource planning, taking into account time constraints and automate decision-making support for organizing interactions. Based on the proposed model, a digital intermediary platform for the medical supply chain was developed, ensuring the optimization of high-tech personalized medicine services in terms of time and cost for patients, while maintaining production and logistics efficiency for service providers. The implementation of the proposed solution in practice increases the availability of high-tech personalized medicine and promotes the replacement of imported products with domestic developments within the framework of the strategy of technological sovereignty.

Keywords: supply chain logistics, high-tech healthcare, personalized medicine, management in organizational systems, digital transformation, planning

Введение

Современные тенденции в развитии отечественного здравоохранения связаны с предоставлением населению услуг высокотехнологичной персонализированной медицины. Реализация высокотехнологичной медицинской помощи [1, 2] производится с использованием сложных и уникальных медицинских технологий и требует привлечения высококвалифицированных медицинских кадров [3]. Персонализированная медицина [4] представляет собой совокупность методов профилактики, диагностики и лечения, основанных на индивидуальных особенностях пациента. Сложность сочетания этих подходов к организации медицинской помощи приводит к снижению доступности такого рода услуг, что является актуальной проблемой управления в организационных системах.

В частности, одним из важных аспектов решения задачи организации высокотехнологичной и персонализированной медицинской помощи является обеспечение цепочки поставок для каждого отдельного медицинского кейса. Традиционно данные вопросы рассматриваются в рамках теории логистики [5, 6], где цепочка поставок (Supply Chain) задает систему процессов, определяющую формирование информационных, материальных и финансовых потоков от поставщиков до конечных потребителей [7]. С этой точки зрения для медицинской услуги также необходимо обеспечить доступность высокотехнологичного оборудования, медицинского персонала, материалов и комплектующих, изготовленных для конкретного пациента с учетом его индивидуальных особенностей.

Например, для установки персонализированного имплантата [8] необходимо реализовать полный цикл производства, включающего построение трехмерной модели органа по данным КТ, изготовление деталей на различном оборудовании, включая аддитивное, сборку, контроль качества, доставку, собственно оперативное вмешательство и последующую реабилитацию. На практике для реализации такого процесса требуется организация согласованного взаимодействия более десятка производственных предприятий и организаций здравоохранения. Для цепочек поставок национального уровня предполагается создание сложных методов моделирования и планирования [9]. Вместе с тем для развития современной медицины требуется обеспечение отечественным высокотехнологичным медицинским оборудованием и техникой [10, 11].

В логистике для описания такого рода процессов используются различные модели цепочек поставок, от 1PL до 6PL и выше [12, 13].

Они различаются по способу привлечения внешних организаций, реализующих производственные и транспортные услуги. Реализация современных концепций управления цепочками поставок связана с реализацией интеллектуального программного обеспечения цифровых платформ [14, 15]. Современные исследования также подтверждают необходимость сетевой интеграции ресурсов [16]. При этом для цепочек поставок высокотехнологичной персонализированной медицины такая модель отсутствует. В данной статье предлагается решение этой проблемы путем формализации и описания новой модели MPL (Medical Party Logistics), адаптирующей механизмы управления цепочками поставок для отрасли современного здравоохранения.

Цель исследования – разработка и внедрение на практике модели логистической цепи поставок для персонализированной медицины с учетом современных требований по обеспечению медицинских услуг высокотехнологичными сервисами.

Материалы и методы исследования

Проведенное исследование было направлено на выявление ключевых аспектов построения оптимальной логистической цепи поставок для высокотехнологичных продуктов персонализированной медицины. Для достижения цели были проанализированы современные тенденции рынка медицинских услуг, изучены особенности взаимодействия участников цепи поставок, проведены расчеты экономической целесообразности и выявлены наиболее значимые факторы риска.

Методология исследования включала следующие этапы:

1. Описание текущего состояния отрасли, изучение опыта ведущих компаний – производителей медицинских изделий и предприятий сферы медоборудования.
2. Выявление основных характеристик цепочки поставок (количество посредников, типы транспортных маршрутов, стоимость транспортировки).
3. Проведение статистического анализа показателей устойчивости логистических схем в кризисных ситуациях на примере пандемии COVID-19.
4. Создание экономико-математической модели расчета оптимального размера партии заказа (EOQ), учитывающей спрос на продукцию и уровень сервиса.
5. Использование инструментов бизнес-аналитики для оценки финансовых потоков и выявления резервов снижения издержек.

Актуальность данной разработки обусловлена развитием инновационной инфраструктуры учреждений здравоохранения, включая научно-исследовательские

институты, клиники, производственные площадки и медицинские университеты, что позволяет им выступать полноценными участниками логистической цепи поставок в рамках сетевого взаимодействия.

Для организации такого сетевого взаимодействия необходимо обеспечить информационный обмен между этими участниками на базе цифровой платформы, реализующей посреднические услуги. По аналогии с концепцией 5PL такая платформа не должна обладать собственными производственными или транспортными ресурсами, но способна находить заказчиков и исполнителей для отдельных сервисов или их составляющих и выстраивать виртуальные контракты. В целом реализация посреднических цифровых платформ достаточно распространена в настоящее время, существуют программные решения, способные обеспечить такое взаимодействие. Однако для медицинской цепи поставок необходимо учесть специальные требования по надежности, сертифицируемости, соблюдению этических норм и т.п., что сложно обеспечить средствами универсальных решений.

В частности, цифровая посредническая платформа медицинской цепи поставок должна обеспечить оптимизацию высокотехнологичных услуг персонализированной медицины по времени и стоимости для пациентов, сохранив при этом производственную и логистическую эффективность для поставщиков услуг. Решение этой задачи видится в консолидации персонализированных услуг и параметризации используемых компонентов. Для решения этой задачи была разработана формальная модель, представленная в следующем разделе.

Модель логистической цепи поставок для персонализированной медицины

Построим формальную модель логистической цепи поставок для персонализированной медицины. Зададим цифровой портфель медицинских услуг для пациента p_i как

$$S(p_i) = \{s_{i,j}(w_j, t_{i,j})\} = \{0, 1\}, \quad (1)$$

где w_j – вид медицинской услуги, $t_{i,j}$ – необходимое (плановое) время предоставления услуги.

Факт оказания медицинской услуги пациенту конкретным поставщиком услуги v_k обозначим в виде булевой функции реализации:

$$d_{i,j,k} = d_{i,j,k}(w_j, v_k, c_{i,j,k}, t'_{i,j,k}, \phi_{i,j,k}) = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где $c_{i,j,k}$ – стоимость медицинской услуги, $t'_{i,j,k}$ – фактическое время предоставления услуги, $\phi_{j,j,k}$ – функция готовности ресурсов, необходимых для реализации услуг,

например деталей и сборочных единиц для персонализированных имплантатов:

$$\varphi_{i,j,k} = \varphi_{i,j,k}\left(\left\{\left(q_{i,j,k,n}, \Delta\xi_{i,j,k,n}\right)\right\}\right) = \{0, 1\}, \quad (3)$$

где $\{q_{i,j,k,n}\}$ – перечень ресурсов, $\Delta\xi_{i,j,k,n}$ – время, необходимое на их предоставление.

Время, необходимое на реализацию такой услуги:

$$\Delta\tau_{i,j,k} = \max_n \Delta\xi_{i,j,k,n}. \quad (4)$$

Таким образом, задача оптимизации высокотехнологичной персонализированной медицины состоит в сокращении суммарного времени, необходимого на подготовку и реализацию медицинской услуги при выполнении ограничения по стоимости:

$$T_i = \sum_{i,j,k} d_{i,j,k} \cdot |t'_{i,j,k} - t_{i,j}| \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\sum_{i,j,k} d_{i,j,k} \cdot c_{i,j,k} \leq c_{i,j}^*,$$

$$\forall p_i, w_j : \sum_k d_{i,j,k} = 1.$$

Минимизация стоимости при этом может выступать в качестве дополнительного критерия:

$$\sum_{i,j,k} d_{i,j,k} \cdot c_{i,j,k} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Последовательность $d_{i,j,k}$ образует критический путь реализации цифрового портфеля медицинских услуг, где $k = 1 \dots N_d$ – порядковый номер услуги в очереди, при этом время, необходимое на персонализацию, рассчитывается как

$$\Delta T_i = \max(t_{i,j_2} - t_{i,j_1}), \quad (7)$$

где j_1 и j_2 такие, что $w_{j_2} = f(w_{j_1})$, $j_2 > j_1$, то есть реализация услуги w_{j_2} зависит от реализации услуги w_{j_1} . Например, разработка персонализированного имплантата требует построения индивидуальной трехмерной модели по данным компьютерной диагностики.

То есть для выполнения задачи (5) необходимо решить задачу планирования и реализации цифрового портфеля медицинских услуг, то есть выбрать такие $d_{i,j_1,k}$, $d_{i,j_2,k}$, при которых $\Delta T_i > \Delta\tau_{i,j_2,k}$. Вариативность выбора определяется возможностями по привлечению разных поставщиков услуг, а также параметризации ресурсов для организации прогностического производства.

Таким образом, цифровой портфель медицинских услуг с результатами планирования и реализации представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются события назначения и реализации медицинских услуг s_{ij} и d_{ijk} , а ребрами – последовательности их планирования и реализации с учетом функциональных и ресурсных возможностей $\phi_{i,j,k}$. Такое представление позволяет реализовать конструктивные алгоритмы планирования ресурсов с учетом временных ограничений. В этом случае задача (5) и (6) является частным случаем задачи о покрытии. Металогический базис для решения этой задачи приведен в работах [17, 18], а варианты решения построены на базе работ [19, 20].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим типовую модель медицинской логистической цепи поставок, построенной для одного из направлений серийного производства Передовой медицинской инженерной школы Самарского государственного медицинского университета. Этот случай описывает частичную персонализацию имплантатов, когда в основной комплектации имплантата используются параметризованные изделия внутреннего или стороннего производства, а часть деталей, которые должны учитывать параметры конкретного пациента, производятся индивидуально. Описание модели в формате диаграммы VAD приведено на рис. 1. Для каждой операции данной модели в соответствии с введенной выше терминологией установлены следующие временные события:

$t_{i,1}$ – дата назначения врача;

$t_{i,2}^*$ – дата готовности персонализированной трехмерной модели, с учетом времени на проведение дополнительных исследований, медицинских анализов и согласования модели с лечащим врачом; в момент готовности модели производится заказ комплектующих;

$t_{i,3}$ – время готовности материалов и комплектующих для производства;

$t_{i,4}$ – время завершения производства универсальных комплектующих;

$t_{i,5}$ – время завершения производства и готовности специальных комплектующих, произведенных персонально под заказ конкретного пациента;

$t_{i,6}$ – время оперативного вмешательства по установке комплектующих.

Таким образом, критический путь составит

$$\Delta T_i = t_{i,6} - t_{i,1} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Представление данной задачи организации персонализированной медицины на основе концепции MPL позволяет найти пути оптимизации. При использовании стратегии планирования ASAP (As Soon as Possible – «Как можно скорее») оптимизация сводится к минимизации сроков поставки и производства комплектующих, поскольку они обычно больше сроков производства персонализированных частей имплантата. Переход к стратегии JIT (Just in Time – «Точно в срок») позволяет осуществлять предварительные заказы комплектующих на основе объемного планирования за счет того, что $t_{i,2}^* \leq t_{i,2}$.

Оптимизированное решение приведено на рис. 2. Отличительной особенностью является реализация по аналогии с промышленными системами управления инженерными данными (PDM – Product Data Management) отдельной подсистемы назначений и моделирования. Основным отличием от древовидного представления деталей и сборочных единиц в классической модели инженерных данных является разделение каждого исполнения на персонализированные и унифицированные параметризованные комплектующие, а также организация отдельных стадий трехмерного анатомического моделирования в жизненном цикле изделий.

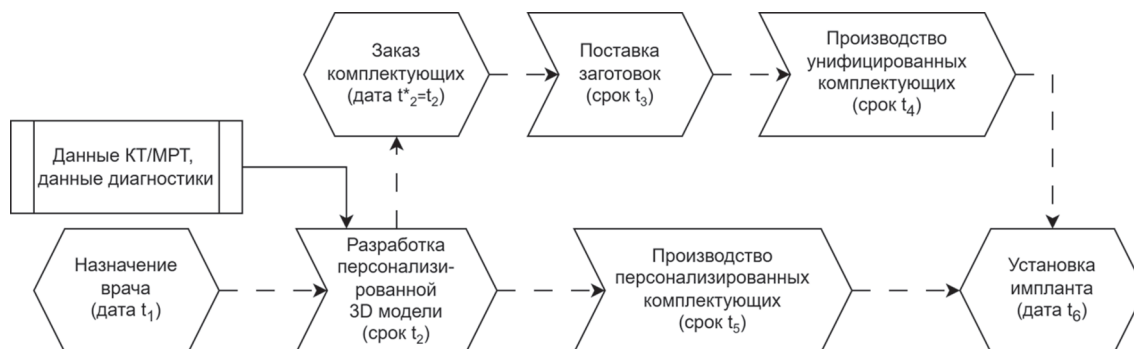


Рис. 1. Пример логистической цепи поставок персонализированных имплантатов

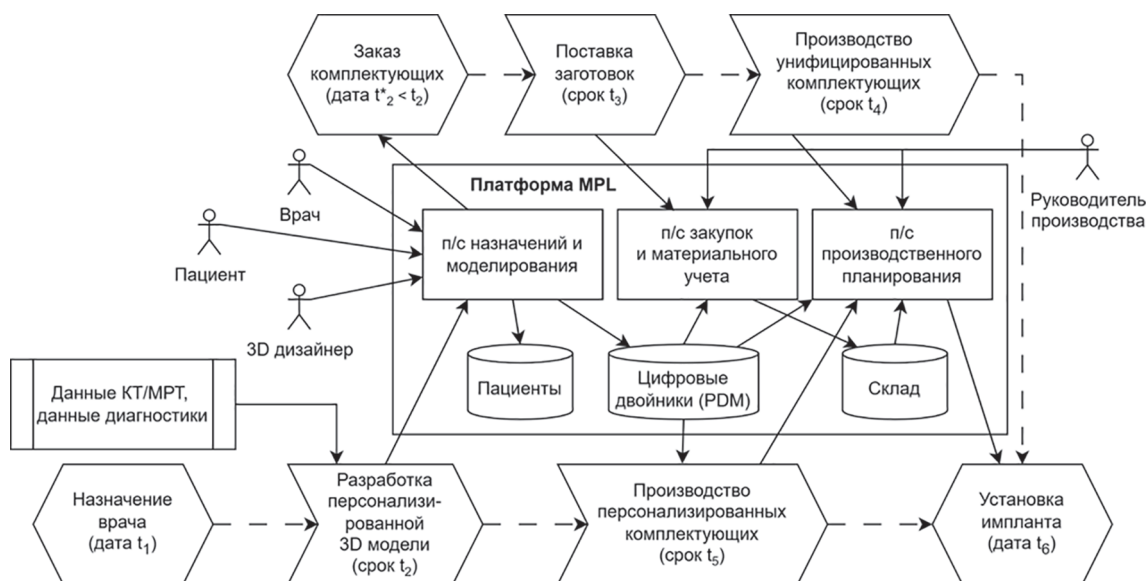


Рис. 2. Модель MPL для производства персонализированных имплантатов

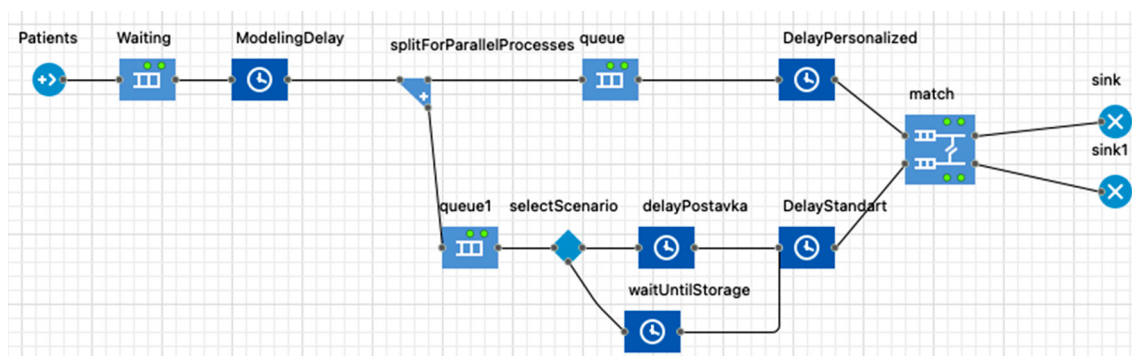


Рис. 3. Реализация MPL модели для производства персонализированных имплантатов

В составе MPL платформы также рассмотрены подсистемы закупок и материального учета, а также производственного планирования, позволяющие организовать управление складскими запасами и производственными ресурсами на разных этапах цепочки поставок. В настоящее время данная модель использована в качестве основы для архитектуры аппаратно-программного комплекса информационного сопровождения цепочки поставок.

Реализация MPL модели позволяет разорвать прямую логическую связь между завершением разработки персонализированных трехмерных моделей и точкой перезаказа комплектующих и перейти, таким образом, от стратегии производственного планирования ASAP к стратегии JIT, что соответствует современным концепциям организации бережливого производства.

Предложенное решение было исследовано в ходе имитационного моделирования,

для чего модель цепочки поставок для персонализированных имплантатов была реализована в стратегиях планирования ASAP и JIT (рис. 3). Здесь параллельно реализованы две ветви цепочки поставок для персонализированных и серийных комплектующих эндопротезов и показано, что формирование запаса серийных комплектующих позволяет повысить производительность медицинских услуг.

Результаты моделирования представлены на рис. 4. В модели использованы в качестве эмпирических данных типовые значения параметров производственных процессов (объемы заказов, задержки, временные параметры) на разных стадиях жизненного цикла производства имплантатов. Формирование запаса серийных комплектующих позволяет сократить среднее время выполнения заказов на 33% и повысить долю пациентов, обслуженных в срок, с 53,5 до 96,4%.

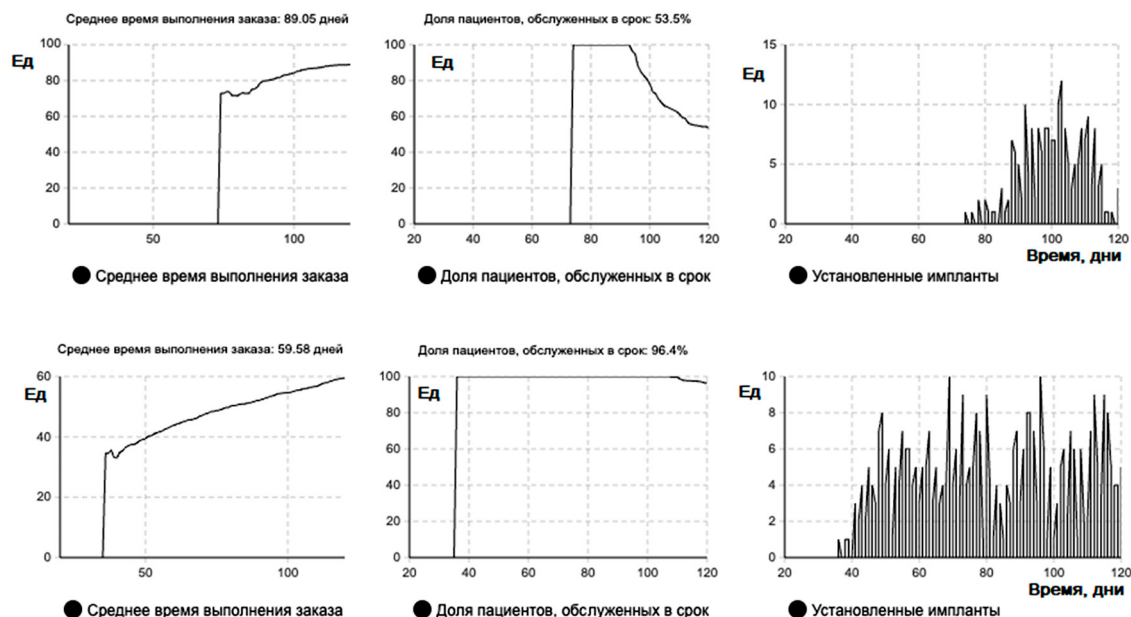


Рис. 4. Исследование возможных стратегий планирования логистической цепи поставок в условиях реализации модели MPL

Таким образом, проведение имитационного моделирования MPL позволяет определить предельные показатели эффективности логистической цепи поставок в условиях известных или прогнозируемых нагрузок и подобрать ее параметры для производства персонализированных имплантатов.

С использованием предложенной модели был исследован рынок поставщиков и потребителей услуг высокотехнологичной персонализированной медицины. На основе сравнительного анализа крупнейших производителей российского рынка медицинского оборудования и изделий было установлено, что ключевой фактор успеха заключается в сотрудничестве с поставщиками, обеспечивающими стабильные объемы качественных материалов и своевременную поставку (пример: использование аутсорсинга исследований компаниями типа «Лаборатория Гемотест»). Рассматривались такие показатели, как объем выпуска, репутация производителя, возможность оперативного пополнения запасов и гарантии качества.

Так, по данным Минпромторга [21], доля медицинской техники отечественного производства в 2023 г. достигла 29%, показывая рост последние несколько лет, что связано с импортозамещением и поддержкой отечественного производителя. Однако это все еще достаточно невысокий процент. Аналитики РБК подсчитали, что в физическом выражении внутреннее производство меньше

объема импорта медицинского оборудования в 471 раз.

Организация современного научно-производственного комплекса, специализирующегося на разработке и производстве биотехнологических лекарственных препаратов, складского и распределительного центра. Расчеты показали, что оптимальное расположение производства и склада вблизи крупных городов-миллионников существенно сокращает сроки доставки готовой продукции. Была разработана концепция производственной площадки и логистического хаба в Санкт-Петербурге, позволяющая снизить затраты на перевозку и сократить среднее время доставки с трех суток до одного дня. Важно отметить необходимость оснащения хранилищ специальными системами климат-контроля для поддержания температуры хранения биологически активных веществ.

Например, ГК «Фармасинтез-Норд» организовала специализированный современный фармацевтический научно-производственный комплекс мирового уровня, специализирующийся на разработке и производстве биотехнологических лекарственных препаратов и препаратов для лечения онкологических, аутоиммунных заболеваний и сахарного диабета в Санкт-Петербурге [22] с системой охлаждения, что позволило увеличить срок годности препаратов.

Использование цифровых платформ и ERP-систем для автоматизации процессов

обработки заказов и мониторинга показало высокую эффективность в ускорении цикла оформления заявок и упрощении процедуры контроля исполнения контрактов. Например, внедрение информационной платформы SAP позволило компании «Биокад» сократить цикл принятия решения о закупке на 10–15% [23], уменьшив средние операционные расходы на процесс закупок. Точность учета запасов повысилась благодаря внедрению RFID-технологий, что снизило процент потерь продукции при перемещениях внутри складов.

В рамках управления рисками и реализации стратегии адаптации к изменениям проведенный стресс-тест показал уязвимость традиционной схемы снабжения в условиях глобальных сбоев. К примеру, остановка контейнерных перевозок между Китаем и Европой в марте 2020 г. и ввод в 2022 г. против России санкций со стороны иностранных государств привели к дефициту оборота и производства лекарственных средств, расходных материалов и запасных частей для медтехники в России. Поэтому была предложена стратегия диверсификации источников сырья и создания страховых запасов, позволившая частично избежать остановки производственной деятельности ряда отечественных фармпредприятий. Однако реализуемая импортозамещающая промышленная политика довольно фрагментарна и носит догоняющий характер [24].

Экономический расчет продемонстрировал прямую зависимость между уровнем автоматизации управленческих процессов и снижением административных издержек. Так, автоматизация управления запасами позволила снизить долю расходов на управление товародвижением на 8–10%. Разработанная модель расчета оптимального объема партий закупки показала, что переход на систему периодических регулярных поставок вместо разовых больших объемов способен уменьшить общую себестоимость продукции на 15–20%. Таким образом, реализация предложений по реорганизации логистической цепи приведет к увеличению прибыли предприятий отрасли примерно на 10–15% ежегодно.

Результаты проведенного исследования показывают перспективность внедрения современных подходов к построению логистических цепей поставок в секторе персонализированной медицины. Основными факторами успешного функционирования логистической инфраструктуры становятся цифровизация, повышение гибкости каналов распределения и адаптация структуры цепей поставок к возможным сбоям в глобальной экономике.

Важно отметить, что высокая степень интеграции ИТ-решений позволяет эффективно управлять большими потоками информации и оперативно реагировать на запросы клиентов. Вместе с тем дальнейшее развитие данной темы предполагает углубленное исследование вопросов стандартизации процедур обмена информацией между участниками рынка, гармонизации нормативной базы и дальнейшего изучения новых форм сотрудничества.

Заключение

Предложенная в статье модель логистической цепи поставок для персонализированной медицины позволяет по-новому поставить и решить задачу многокритериальной оптимизации по планированию и реализации медицинских услуг в распределенной сети взаимодействующих организаций здравоохранения. Инструментом такого взаимодействия является посредническая цифровая платформа, обеспечивающая конкурентную среду для поиска вариантов реализации медицинских услуг и заключения виртуальных контрактов.

Реализация предложенного решения на практике повышает доступность высокотехнологичной персонализированной медицины и способствует замещению импортных изделий отечественными разработками в рамках стратегии технологического суверенитета. Дальнейшие исследования заключаются в реализации алгоритмов решения поставленной оптимизационной задачи для повышения эффективности цифровой платформы, а также расширение области ее внедрения в здравоохранении.

Список литературы

1. Присяжная Н.В., Садыкова М.Ф., Голикова Н.С., Борисова П.М. Высокотехнологичная медицинская помощь в практике российского здравоохранения // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2024. № 46 (3). С. 70–81. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/meditsinskie-tehnologii-otsenka-i-vybor/2024/3/1221906782024031070> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.17116/medtech20244603170.
2. Реутский И.А., Артюх Л.Ю., Гафиагулина К.А., Щеглова Л.В., Ерина М.Ю. Высокотехнологичная медицинская помощь в Марининской больнице // Медицина: теория и практика. 2025. № 9 (4). С. 29–36. URL: <https://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/6354> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.56871/MTP.2024.33.65.005.
3. Antipova T. (ed.) Digital Science. DSIC 2023. 51 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://ics.events/dsic-2023> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.33847/978-5-6048575-1-9.
4. Дедов И.И., Тюльпаков А.Н., Чехонин В.П., Баклаушев В.П., Арчаков А.И., Мошковский С.А. Персонализированная медицина: современное состояние и перспективы // Вестник РАМН. 2012. № 12. С. 4–12. URL: <https://vestnikramn.spr-journal.ru/jour/article/view/229> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.15690/vramn.v67i12.474.
5. Anca V. Logistics and supply chain management: an overview // Studies in Business and Economics. 2019. Vol. 14,

- Is. 2. P. 209–215. URL: <https://sciendo.com/article/10.2478/sbe-2019-0035> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.2478/sbe-2019-0035.
6. Dadzie E.B., Richard A. Evaluating the role of logistics in supply chain management // *Dama Academic Scholarly & Scientific Research Society*. 2025. Vol. 10 (1). P. 112–133. URL: <https://www.ajol.info/index.php/dasjr/article/view/288243> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.4314/dasjr.v10i1.5.
7. Anaba D.C., Kess-Momoh A.J., Ayodeji S.A. Optimizing supply chain and logistics management: A review of modern practices // *Open Access Research Journal of Science and Technology*. 2024. № 11 (2). P. 020–028. URL: <https://oarjst.com/sites/default/files/OARJST-2024-0083.pdf> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.53022/oarjst.2024.11.2.0083.
8. Колсанов А.В., Николаенко А.Н., Иванов В.В., Гранкин И.О., Исайкин П.Ю., Дороганов С.О., Згирский Д.О., Котельников Г.П. Анализ биомеханики первого плюснефалангового сустава после эндопротезирования // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2023. № 5. С. 58–64. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/khirurgiya-zhurnal-im-n-i-pirogova/2023/5/1002312072023051058> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.17116/hirurgia202305158.
9. Соболев Л.Б., Новиков С.В. Компонентная база высокотехнологичных отраслей цифровой экономики // *СТИН*. 2024. № 4. С. 47–52. EDN: YFNXNX.
10. Сумин Н.А., Гудкова С.Б. Высокотехнологичное медицинское оборудование и техника: реалии, перспективы, производство // *Экономические науки*. 2023. № 219. С. 145–150. URL: <https://ecsru.ru/wp-content/uploads/202302.pdf> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.14451/1.219.145.
11. Ганус Ю.А., Порфирьев А.С. Теоретические основы моделирования интегрированной логистической поддержки // *Экономика высокотехнологичных производств*. 2023. Т. 4. № 1. С. 51–72. URL: <https://1economic.ru/lib/119518> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.18334/evp.4.1.119518.
12. Hofmann E., Osterwalder F. Third-party logistics providers in the digital age: towards a new competitive arena? // *Logistics*. 2017. № 1 (2). 9. P. 1–28. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/1/2/9> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.3390/logistics1020009.
13. Xiong G., Nyberg T.R., Dong X., Shang X. Intelligent technologies and systems of material management // *Intelligent Techniques in Engineering Management. Intelligent Systems Reference Library*. 2015. Vol. 87. P. 295–330. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-17906-3_13 (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.1007/978-3-319-17906-3_13.
14. Ivaschenko A. Multi-agent solution for business processes management of 5PL transportation provider // *Lecture Notes in Business Information Processing*. 2014. Vol. 170. P. 110–120. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06065-1_7 (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.1007/978-3-319-06065-1_7.
15. Иващенко А.В., Андреев М.В. Программная платформа для оператора 6PL // *Программные продукты и системы*. 2015. № 3 (111). С. 171–174. URL: <https://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=4047&lang=> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.15827/0236-235X.111.171-174.
16. Islam R., Monjur E.I., Akon T. Supply chain management and logistics: how important interconnection is for business success // *Open Journal of Business and Management*. 2023. Vol. 11. P. 2505–2524. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=128009> (дата обращения: 27.05.2025). DOI: 10.4236/ojbm.2023.115139.
17. Еремеев А.В., Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования // *Дискретный анализ и исследование операций*. 2000. Сер. 2. Т. 7. № 2. С. 22–46.
18. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Глава 16. Жадные алгоритмы // *Алгоритмы: построение и анализ*. 1-е изд. М.: Московского центра непрерывного математического образования, 2001. С. 889–892. URL: <https://www.williamspublishing.com/PDF/5-8459-0857-4/part.pdf> (дата обращения: 27.05.2025).
19. Катаев А.В., Катаева Т.М. Управление проектами на базе динамической сети партнеров: монография. Ростов-на-Дону. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 125 с.
20. Ivaschenko A., Frolova M. Intelligent intermediaries for multiple logistics parties // *In Next Generation Logistics: Technologies and Applications. Scientific Monograph*. SPH – Scientific Publishing Hub, 2017. P. 21–42.
21. Рынок медицинского оборудования и изделий 2023 // *Деловой профиль*. [Электронный ресурс]. URL: <https://del-prof.ru/press-center/open-analytics/rynok-meditsinskogo-oborudovaniya-i-izdeliy-2023> (дата обращения: 21.05.2025).
22. Фармасинтез. URL: <https://pharmasyntez.com/press-center/news/vladimir-putin-otkryl-vtoruyu-ochered-zavoda-farmasintez-nord> (дата обращения: 21.05.2025).
23. BIOCAD оптимизировал закупочный процесс // *Вестник цифровой трансформации*. URL: <https://cio.osp.ru/news/021020-BIOCAD-optimiziroval-zakupochnyy-protsess> (дата обращения: 21.05.2025).
24. Доржиева В.В. Стратегия новой индустриализации фармацевтической промышленности: национальные приоритеты и новые вызовы // *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2023. № 240 (2). С. 198–215. URL: https://veorus.ru/upload/iblock/d03/veo_240.pdf (дата обращения: 21.05.2025). DOI: 10.38197/2072-2060-2023-240-2-198-215.