

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**А.И. Богданов**

*Санкт – Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна, г. Санкт - Петербург*

**Б.С. Монгуш**

*Тувинский институт комплексного освоения  
природных ресурсов Сибирского отделения РАН, г. Кызыл*

**Введение.** С целью поддержания устойчивого финансового развития предприятия и повышения его конкурентоспособности необходимо оперативное реагирование на происходящие в экономике страны и мира изменения. Логистический подход к управлению промышленным предприятием, основанный на принципе организации производства с суммарными меньшими затратами, способствует повышению его конкурентоспособности.

**Теория.** Реализация логистического подхода основана на разработке и внедрении оптимизационных математических методов и моделей. При создании таких моделей возникает ряд проблем, связанных с математической постановкой задачи, выбором критерия оптимизации, методов и средств решения. Поэтому разработка адекватных экономико-математических моделей и методов является важным звеном в теоретических и прикладных исследованиях.

**Данные и методы.** При решении задачи оптимального размещения производственных объектов на территории региона, как правило, применяется метод «центра тяжести», однако данный метод не обеспечивает оптимального размещения объектов. Он исходит из условия равенства суммарных издержек слева и справа от «центра тяжести» по оси  $X$ , и ниже и выше от него – по оси  $Y$ . Поэтому в данной работе решение задачи сводится к оптимизации разбивки всех потребителей на группы обслуживания  $G_k$  ( $k=1, \dots, m$ ) и определению точек места расположения производственных объектов и товарных складов.

**Модель.** В статье предложена принципиально новая математическая модель оптимизации регионального размещения производственных объектов и товарных складов, которая использовалась при оптимизации размещения цехов предприятия легкой промышленности «Тыва-стиль».

**Полученные результаты.** Результатом применения разработанного метода является формирование на рассматриваемой территории кластеров. Центры образованных кластеров являются оптимальными точками расположения производственных объектов и товарных складов предприятия, из которых транспортные расходы распределения продукции по всем участникам каждого кластера являются минимальными.

---

### Сведения об авторах:

**Богданов Александр Иванович** ([abogd1@rambler.ru](mailto:abogd1@rambler.ru)), доктор технических наук, профессор кафедры экономики и финансов

**Монгуш Байлакмаа Сергеевна** ([bbb16@mail.ru](mailto:bbb16@mail.ru)), младший научный сотрудник лаборатории математического моделирования

### Oh authors:

**Alexander I. Bogdanov** ([abogd1@rambler.ru](mailto:abogd1@rambler.ru)), Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Economics and Finance

**Bailakmaa S. Mongush** ([bbb16@mail.ru](mailto:bbb16@mail.ru)), junior researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling

**Заключение.** Дальнейшее развитие оптимизационных моделей целесообразно направить в сторону изучения методов прогнозирования случайных величин, в частности – объема спроса на продукцию предприятия

**Ключевые слова:** математическая модель, кластер, оптимизация, транспортно-распределительная задача, предприятие.

**Для цитирования:**

Богданов А.И., Монгуш Б.С. Математическая модель оптимизации регионального размещения производств для предприятия легкой промышленности // Организатор производства. 2021. Т.29. № 2. С. 77-88. DOI: 10.36622/VSTU.2021.90.47.008.

## MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF THE REGIONAL DISTRIBUTION OF PRODUCTION FOR THE ENTERPRISES OF LIGHT INDUSTRY

**A.I. Bogdanov**

*St. Petersburg state University  
of industrial technologies and design, St. Petersburg*

**B.S. Mongush**

*Tuvinian Institute for Exploration  
of Natural Resources of Siberian Branch of RAS, Kyzyl*

**Introduction.** In order to maintain a stable financial development of the enterprise and increase its competitiveness, it is necessary to promptly respond to changes occurring in the economy of the country and the world. The logistics approach to industrial enterprise management, based on the principle of organizing production with total lower costs, contributes to improving its competitiveness

**Theory.** The implementation of the logistics approach is based on the development and implementation of optimization mathematical methods and models. When creating such models, a number of problems arise related to the mathematical formulation of the problem, the choice of optimization criteria, methods and solutions. Therefore, the development of adequate economic and mathematical models and methods is an important link in theoretical and applied research

**Data and methods.** When solving the problem of optimal placement of production facilities in the region, the "center of gravity" method is usually used, but this method does not provide optimal placement of objects. It proceeds from the condition of equality of total costs to the left and right of the "center of gravity" on the X axis, and below and above it - on the y axis. Therefore, in this paper, the solution of the problem is reduced to optimizing the breakdown of all consumers into service groups  $G_k$  ( $k=1, \dots, m$ ) and determining the location of production facilities and warehouses

**Model.** The article offers a fundamentally new mathematical model for optimizing the regional placement of production facilities and warehouses, which was used to optimize the placement of workshops of the light industry enterprise "Tuva-style"

**Results.** The result of the developed method is the formation of clusters on the territory under consideration. The centers of the formed clusters are the optimal locations of production facilities and warehouses of the enterprise, from which the transport costs of distributing products to all participants in each cluster are minimal

**Conclusion.** Further development of optimization models should be directed towards the study of methods for predicting random variables, in particular, the volume of demand for enterprise products

**Keywords:** mathematical model, cluster, optimization, transport and distribution problem, enterprise

**For citing:** Bogdanov A. I., Mongush B. S. Mathematical model of optimization of regional production placement for a light industry enterprise // Production Organizer. 2021. Т. 29. № 2. P. 77-88. DOI: 10.36622/VSTU.2021.90.47.008.

### Введение

В условиях глобального экономического кризиса с учетом особенностей современного этапа политико-экономического развития Российской Федерации главным фактором роста отечественной экономики является развитие производственного сектора.

Легкая промышленность обеспечивает производство товаров массового потребления, специализируется на производстве и выпуске готовых изделий для населения и продукции промышленного назначения в виде текстильной и швейной продукции, а также обуви и изделий из кожи, меха и шерсти. Несмотря на устойчивый спрос на продукцию предприятий легкой промышленности, доля отрасли в общем объеме обрабатывающей промышленности составляет 1,1 % [1]. Среди множества причин неудовлетворительного положения отрасли можно выделить следующие: нарушение экономической взаимосвязи республик после известных реформ 1990-х гг., обвал производства, разрушение всех существовавших цепей поставок. В результате сырьевой зависимости от иностранных поставщиков увеличивается себестоимость продукции местного производства. Кроме этого, после открытия границ страны, произошел массовый приток дешевого импорта из Китая, Индии и других стран. Слабая конкурентоспособность продукции отечественных предприятий легкой промышленности ставит задачи разработки методов производства с суммарными меньшими затратами и обеспечения потребителя большей ценностью потребительских свойств. Разработка и внедрение современных механизмов управления предприятием должны быть основаны на концепции оптимизации деятельности субъекта хозяйствования. Ставший сегодня популярным логистический подход к организации производства, предполагает сокращение суммарных издержек производства и максимально полное удовлетворение потребностей клиента. Одной из задач логистики является задача пространственного расположения производственных мощностей и товарных складов предприятия для оптимизации транспортных расходов и уменьшения общих расходов производства. Для

принятия решений при планировании производственных систем предприятия, адекватного описания сложных многокритериальных задач и их решения необходимо совершенствование существующих моделей и алгоритмов и разработка новых. В статье предложена математическая модель оптимизации регионального размещения производственных объектов, которая апробирована на данных предприятия легкой промышленности «Тыва-стиль».

### Теория

В формировании стоимости конечного продукта предприятия немаловажную роль имеет географическое расположение производственных мощностей и складов предприятия относительно своих потребителей и поставщиков, которое в значительной степени влияет на транспортные и складские издержки. Каждая отрасль имеет свои особенности и факторы географического расположения объектов производства. К основным факторам, влияющим на выбор места размещения производственных объектов предприятия легкой промышленности, относятся:

- близость к трудовым ресурсам;
  - близость к сырьевым ресурсам;
  - близость к потребителям конечной продукции.
- Кроме перечисленных выше факторов необходимо учитывать:
- расстояния между поставщиками и потребителями;
  - объемы перевозимых грузов;
  - наличие развитой сети подъездных путей (железнодорожных и автомобильных);
  - тарифы на транспортировку;
  - перспективы и стоимость строительства новых путей сообщения в регионе;
  - целесообразность и затраты на строительство новых распределительных центров или складов в рассматриваемом регионе;
  - наличие конкурентов на рынке сбыта;
  - уровень жизни населения в потенциальных регионах сбыта;
  - средний уровень заработной платы в регионе;

- наличие земельных участков для размещения мощностей и их стоимость;
- транспортные коммуникации;
- налоговая политика региона;
- разрешение экологической службы на размещение склада и т.д. [2], [3].

В результате комплексного учета всех факторов можно принять правильное решение об оптимальном размещении производственных мощностей и складов в рассматриваемой территории. Задаче комплексной оптимизации предшествует определение метода оптимального расположения объекта, учитывающего такие основные факторы, как расстояния между объектом, поставщиками и потребителями; объемы перевозимых грузов; транспортные тарифы и время доставки грузов от поставщиков на склад и со склада потребителям.

Задача оптимального размещения производственных мощностей, известная в теории как транспортно-распределительная (или транспортно-складская) задача, относится к интегрированным моделям логистической системы предприятия.

Вопросам изучения интегрированных моделей цепей поставок предприятия посвящены работы исследователей А.А. Бочкарева, В.С. Лукинского, В.И. Сергеева, В.В. Дыбской и других.

Анализ литературы по логистике и управлению цепями поставок показал, что математическая постановка рассматриваемой задачи в общем виде выглядит следующим образом [4], [5], [6]:

Пусть  $y_i = 1$ , если склад  $i$  арендуется;  $y_i = 0$  в противном случае ( $i = 1, \dots, m$ );

$d_i$  – стоимость аренды склада;

$x_{ij}$  – количество грузовых автомобилей, передвигающихся со склада  $i$  в район  $j$ , ( $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$ );

$S_i$  – пропускная способность (мощность) склада  $i$ ;

$D_j$  – спрос  $j$ -го региона;

$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$  – полная стоимость отправки грузовых автомобилей;

$c_{ij}$  – стоимость отправки грузового автомобиля с  $i$ -го склада в  $j$ -ый регион;

$\sum_{i=1}^m d_i y_i$  – полная стоимость аренды складов.

Таким образом, целевая функция представлена следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m d_i y_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} - S_i y_i \leq 0; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, \quad j = 1, \dots, n; \\ x_{ij} \in N \cup \{0\}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \\ y_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m. \end{array} \right. \quad (2)$$

Рассмотренная выше модель относится к группе интегрированных моделей цепей поставок. Она образована из двух подмоделей: транспортной модели и модели выбора варианта размещения распределительного центра (фабрики, склада). По условиям задачи необходимо найти такое расположение распределительных центров или складов относительно своих поставщиков и потребителей, при котором целевая функция достигает своего минимального значения.

Математически задача заключается в определении таких координат производственного объекта или товарного склада  $(x, y)$ , при которых логистические издержки, равные сумме произведений расстояний от поставщиков до рассматриваемого объекта и от рассматриваемого объекта до всех потребителей, имеющих координаты  $(x_i, y_i)$ , на объемы перевозимых грузов  $Q_i$  (спрос), были минимальны.

Задача определения количества и расположения производственных объектов и товарных складов в регионе является одной из фундаментальных задач теории логистики. Ее решению уделяется большое внимание в работах отечественных и зарубежных исследователей. Для решения данной задачи необходимо знать: координаты поставщиков  $(x_i, y_i)$  и потребителей  $(x_j, y_j)$ ; объемы производимой ( $Q_i$ ) и потребляемой ( $P_j$ ) продукции; характеристику транспортной сети региона.

Систематизация методов решения задачи (1-2) на сегодняшний день не определена. На сегодняшний день имеются следующие попытки решения данной задачи:

1. Классический вариант, который рассматривают во всех учебных пособиях, монографиях координаты склада определяются в виде координаты

нат центра тяжести грузовых потоков по формулам [7]:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i x_i}{\sum Q_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i y_i}{\sum Q_i},$$

где  $x, y$  – координаты распределительного склада, км;

$Q_i$  – вес груза, т;

$x_i, y_i$  – соответственно расстояние от начала осей координат до расположения поставщика или клиента, км;

$m$  – общее количество поставщиков и потребителей.

2. Координаты склада определяются как центр тяжести по тарифу и определяются по формулам [8]:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m T_i x_i Q_i}{\sum_{i=1}^m T_i Q_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^m T_i y_i Q_i}{\sum_{i=1}^m T_i Q_i},$$

где  $T_i$  – транспортный тариф для  $i$ -го поставщика или потребителя, руб/т\*км.

При  $T_i = const$ , очевидно, что формулы определения координат центра тяжести грузовых потоков и по тарифу совпадают. Транспортные тарифы  $T_i$  выступают в качестве весовых коэффициентов, которые, принимая различные значения, расширяют возможности учета различных факторов.

Однако, в методе центра тяжести ищется не оптимальное месторасположение склада, а такое, относительно которого суммарные логистические издержки в любых двух диаметрально противоположных точках области потребления – равны. Другими словами, «центр тяжести» изначально определяется из условия равенства суммарных логистических издержек слева и справа от «центра тяжести» по оси X, и ниже и выше от него – по оси Y. Ясно, что такое условие не обеспечивает оптимального размещения склада с точки зрения минимума целевой функции суммарных издержек.

3. Координаты склада определяются исходя из условия, что сумма расстояний от данных  $m$  точек до координат склада минимальна [9]. Целевая функция представлена в виде:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^m Q_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \rightarrow \min,$$

где  $a_i, b_i$  – координаты  $i$ -го поставщика или потребителя.

Отличие последней задачи от двух других заключается в том, что:

во-первых – сформулирована как классическая оптимизационная задача,

во-вторых – расстояние между складом и другими объектами определяется как гипотенуза, в то время как в задачах предыдущих типов оно рассматривается как расстояние по осям координат X и Y.

### Данные

Объектом исследования настоящей работы является предприятие легкой промышленности дизайн-мастерская «Тыва стиль». Это молодое, динамично развивающееся предприятие малого бизнеса Республики Тыва. Основная специализация – производство стилизованной национальной тувинской одежды для взрослых и детей, а также подарочные наборы для новорожденных в национальном стиле.

Спрос на продукцию дизайн-мастерской растет с каждым днем, национальная стилизованная одежда стала очень популярной у всех категорий населения города, наборы на выписку «Тыва стиль» имеют большой успех у молодых родителей, которые с удовольствием показывают модных новорожденных детей на своих страницах в социальных сетях. Предприятие выпускает до 170 000 готовых изделий в год, в основном, для жителей города Кызыл. Потенциальная потребность в продукции предприятия в муниципальных районах республики определена на основании данных по текущему объему спроса на производимый товар и численности населения г. Кызыл [10]. Можно представить в виде следующего выражения:

$$\text{Объем спроса} = \lambda * \text{Численность населения г.Кызыл}$$

Исходя из существующей потребности в продукции предприятия в г. Кызыл, определен коэффициент пропорциональности к численности населения, взятый за основу при расчете потенциального объема спроса в других населенных пунктах республики. Данное предположение принято на основании относительно одинакового уровня жизни населения и

национального состава муниципальных образований Республики Тыва [10].

Сегодня предприятие имеет 1 цех со складом и выставочный зал в городе Кызыл – столице республики. Для увеличения прибыли перед предприятием стоит вопрос расширения производства. Необходимо решить задачу рационализации процесса физического распределения готовой продукции до потребителя и оптимального размещения производственных объектов и товарных складов на территории региона. Для этого проведены расчеты транспортно-складских затрат распределения готовой продукции предприятия во все муниципальные районы (кожууны) республики и реализации для случаев: наличия одного цеха со

складом в г. Кызыл, наличия нескольких цехов со складами на территории РТ. В качестве конечных точек реализации продукции выбраны универмаги районных центров кожуунов.

Предприятие имеет 1 цельнометаллический фургон ГАЗель Бизнес 2705-757 грузоподъемностью до 1,5 тонн. Экспериментальным путем установлено, что в одну машину в среднем можно отгрузить до 2150 единиц готовой продукции.

Учитывая вышесказанное, можно произвести расчеты по количеству машин для отгрузки продукции в районы РТ в течение года (таблица 1) по рассчитанной потенциальной потребности в продукции рассматриваемого предприятия.

Таблица 1

Потребности районов РТ в продукции предприятия «Тыва стиль» и общие транспортные расходы цеха + склада в г.Кызыл (в год)

The needs of the regions of the Republic of Tatarstan for the products of the Tyva Style enterprise and the total transport costs of the workshop + warehouse in the city of Kyzyl (per year)

№ п/п	Муниципальный район (кожуун)	Потребность в продукции предприятия «Тыва стиль», шт	Количество машин для отгрузки товара в год, шт	Средняя стоимость грузоперевозки из г.Кызыл, руб	Общая (годовая) стоимость грузоперевозок из г.Кызыл (транспортные расходы), руб
1	Бай-Тайгинский	16844,8	8	9275	74200
2	Барун-Хемчикский + Ак-Довурак	41560	20	8257	165140
3	Дзун-Хемчикский	32113,6	15	6094	91410
4	Каа-Хемский	19097,6	9	2399	21591
5	Кызылский	51166,4	0	281	0
6	Монгун-Тайгинский	9616	5	12334	61670
7	Овюрский	11128	6	11472	68832
8	Пий-Хемский	15976	8	1983	15864
9	Сут-Холский	12883,2	6	6965	41790
10	Тандинский	23952	12	1900	22800
11	Тере-Холский	3072	2	11367	22734
12	Тес-Хемский	13480	7	4475	31325
13	Тоджинский	10472	5	5702	28510
14	Улуг-Хемский	30745,6	15	3101	46515
15	Чаа-Холский	9814,4	5	5026	25130
16	Чеди-Холский	12590,4	6	4362	26172
17	Эрзинский	13358,4	7	5030	35210
18	Кызыл (цех+склад)				

**Общие транспортные расходы**

**785637**

(число машин округлено до целого в большую сторону)

Расчет стоимости грузоперевозок в кожууны за рассматриваемый период (год) с учетом количества возможного потребления продукции предприятия «Тыва стиль» в муниципальных районах представлен в столбцах 5, 6 таблицы 1. Расчет средней стоимости грузоперевозки из г. Кызыл в центры муниципальных районов на автомобиле ГАЗель Бизнес 2705-757 грузоподъемностью до 1,5 тонн (фургон) произведен по программе, представленной диспетчерским интернет-сервисом Перевозка 24 с учетом расстояния, траектории и состояния дорожного покрытия [11].

В настоящий момент предприятие арендует два помещения в одном здании в центре г.Кызыл: цех+склад – 50м<sup>2</sup>, торговый зал 30м<sup>2</sup>. Стоимость аренды – 700 руб/м<sup>2</sup>. Общие расходы на аренду в год составляют:

$$700\text{руб} \cdot 80\text{м}^2 \cdot 12\text{мес} = 672000\text{руб.}$$

Общие транспортно-складские расходы в случае доставки продукции предприятия во все районы РТ из г. Кызыл составят:

$$785637 + 672000 = 1\,457\,637 \text{ руб.}$$

В целях оптимизации распределительной сети предприятия необходимо решить задачу оптимального размещения дополнительных цехов на территории региона.

**МОДЕЛЬ и МЕТОД (Model and Method)**

Авторы предлагают принципиально новую модель транспортно- распределительной задачи для регионального размещения производственных объектов и товарных складов предприятия.

Введем следующие обозначения:

$b_{il}$ - потребность  $i$ -го потребителя в  $l$ -ой продукции ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, L$ );

$G_k$ - множество потребителей, обслуживаемое  $k$ -ой фабрикой ( $k=1, \dots, m$ );

$q_{kl}$ - объем производства  $l$ -ой продукции на  $k$ -ой фабрике;

$p_l$ - цена  $l$ -ой продукции;

$AVC_l$ - средние переменные издержки на производство единицы  $l$ -ой продукции;

$FC_k$  – постоянные издержки  $k$ -ой фабрики.

Тогда прибыль от реализации продукции (без учета затрат на транспортировку) для  $k$ -ой фабрики составит

$$\Pi_k = \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l)q_{kl} - FC_k, \quad (3)$$

где

$$q_{kl} = \sum_{i \in G_k} b_{il}. \quad (4)$$

Затраты на транспортировку продукции  $k$ -ой фабрики составят

$$Z_k = \sum_{i \in G_k} \rho_{ik} \sum_{l=1}^L b_{il} c_l, \quad (5)$$

где  $\rho_{ik}$  – расстояние от  $k$ -ой фабрики до  $i$ -го потребителя;

$c_l$  - вес единицы  $l$ -ой продукции;

$C$  - стоимость перевозки единицы веса на единицу расстояния.

Сформулируем критерий оптимизации задачи

$$\Pi = \sum_{k=1}^m (\Pi_k - Z_k) \rightarrow \max. \quad (6)$$

Преобразуем критерий (6) к виду

$$\Pi = \sum_{k=1}^m \Pi_k - \sum_{k=1}^m Z_k. \quad (7)$$

Далее

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m \Pi_k &= \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l)q_{kl} - \sum_{k=1}^m FC_k \\ &= \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l) \sum_{k=1}^m q_{kl} - \sum_{k=1}^m FC_k = \\ &= \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l) \sum_{k=1}^m \sum_{i \in G_k} b_{il} - \sum_{k=1}^m FC_k \\ &= A - m * FC, \end{aligned}$$

где

$$A = \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l) \sum_{k=1}^m \sum_{i \in G_k} b_{il} = \text{const},$$

а постоянные затраты всех фабрик будем считать одинаковыми.

Таким образом, критерий оптимизации примет вид

$$\Pi = A - m * FC - \sum_{k=1}^m Z_k \rightarrow \max \quad (8)$$

или

Нетрудно видеть, что при каждом конкретном количестве фабрик задача сводится к оптимизации разбивки всех потребителей на группы обслуживания  $G_k$  (кластеры) ( $k=1, \dots, m$ ) и по определению точек места расположения производственных объектов и товарных складов (центров кластеров).

При фиксированном разбиении потребителей на группы обслуживания задача определения оптимального расположения производственных объектов и товарных складов может решаться независимо для всех зон обслуживания, исходя из минимизации выражения (5).

Рассмотрим задачу минимизации суммарного пробега машин при развозке грузов с фабрики (координаты  $(x, y)$ ) в ряд пунктов с координатами  $k$ . При этом потребность пункта

в некотором товаре в единицу времени можно трактовать как величину, пропорциональную количеству поездок

Задача сводится к минимизации функции

по переменным  $x$  и  $y$  [12].

Минимизация критерия (9) (как по разбиению потребителей на группы обслуживания

фабрик, так и по выбору места расположения производственных объектов и товарных складов) отвечает требованиям такого разбиения потребителей, когда в одной группе оказываются наиболее близкие между собой потребители. В то же время в качестве координат производственных объектов и товарных складов будут выбираться такие, которые минимизируют суммарные затраты на перевозки в зоне их обслуживания.

С другой стороны, считая известными координаты производственных объектов и товарных складов, нетрудно построить разбиение  $G_1, G_2, \dots, G_m$ , минимизирующее критерий (7), при фиксированных координатах объектов, а именно [13]

для всех

Для одновременного нахождения оптимального разбиения  $G_1, G_2, \dots, G_m$  и оптимального набора координат производственных объектов и товарных складов предлагается итерационный алгоритм, последовательно осуществляющий выбор оптимальных (по отношению к разбиению, полученному на предыдущем шаге) координат объектов, а затем разбиения, оптимального при местах расположения производственных мощностей, полученного на предыдущем шаге.

#### Полученные результаты

Для решения задачи кластеризации муниципальных образований РТ и формирования транспортно-логистических кластеров с помощью инструментария геоинформационных систем (ГИС) получены данные о географических координатах районных центров Тувы и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Географические координаты районных центров РТ  
Geographical coordinates of the regional centers of the Republic of Tatarstan

№	Муниципальный район (кожуун)	Районный центр	Координаты районных центров	
			X	Y
1	2	3	4	5
1	Бай-Тайгинский	с. Тээли	90,2090	51,0149
2	Барун-Хемчикский	с. Кызыл - Мажалык	90,5704	51,1431
3	Дзун-Хемчикский	г. Чадан	91,5659	51,2845
4	Каа-Хемский	с. Сарыг – Сеп	95,5564	51,4943
5	Кызылский	пгт. Каа-Хем	94,5742	51,6995
6	Монгун-Тайгинский	с. Мугур – Аксы	90,4445	50,3786
7	Овюрский	с. Хандагайты	92,0685	50,7310



Продолжение табл. 2

8	Пий-Хемский	г. Туран	93,9161	52,1473
9	Сут-Холский	с. Суг – Аксы	91,2891	51,4111
10	Тандинский	с. Бай-Хаак	94,4630	51,1661
11	Тере-Холский	с. Кунгуртуг	97,5214	50,5953
12	Тес-Хемский	с. Самагалтай	95,0081	50,6123
13	Тоджинский	с. Тоора – Хем	96,1273	52,4668
14	Улуг-Хемский	г. Шагонар	92,9111	51,5104
15	Чаа-Холский	с. Чаа – Хол	92,3636	51,5242
16	Чеди – Холский	с. Хову – Аксы	93,6763	51,1275
17	Эрзинский	с. Эрзин	95,1625	50,2589
	Города республиканского подчинения			
18	Кызыл		94,4454	51,7239
19	Ак-Довурак		90,5926	51,1741

С помощью компьютерной программы EXCEL и языка программирования VBA, реализующих приведенный выше итерационный алгоритм, проведены расчеты по кластеризации муниципальных районов РТ. В результате, при двух кластерах, в первый кластер вошли 8 населенных пунктов: 1,2,3,6,7,9,14,15 с центром в точке с координатами (91,564; 51,283) (что практически совпадает с координатами г. Чадаан), во

второй кластер вошли 10 населенных пунктов: 4,5,8,10,11,12,13,16,17,18 с центром в точке с координатами (94,449; 51,725) (что практически совпадает с координатами г. Кызыл). Полученные итоги расчетов представлены на рисунке 1 с помощью инструментария геоинформационных систем (ГИС). Отчетливо видно, что решение задачи кластеризации разделило районы РТ по близости к полученным центрам кластеров.

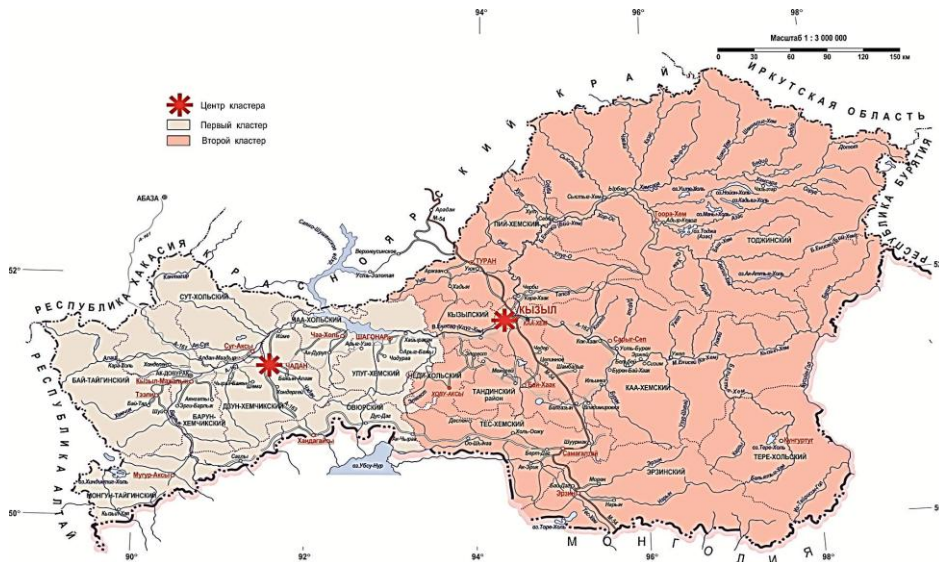


Рис. 1. Итоги расчетов по компьютерной программе Excel, реализованные с применением ГИС  
 Fig. 1. The results of calculations using the Excel computer program implemented using GIS

Расчеты транспортных затрат по полученным двум кластерам представлены в таблице 3. Город Ак-Довурак территориально находится в Барун – Хемчикском районе, поэтому его потенциальную потребность в продукции предприятия

можно прибавить к потребности района. Объем спроса на продукцию «Тыва стиль» в Кызылском кожууне можно отнести к потребности г. Кызыла, так как расстояние между центром

Кызылского района и настоящим местонахождением предприятия в г. Кызыл составляет 13 км.

Таблица 3

Транспортные затраты по полученным кластерам  
Transport costs for the received clusters

**I КЛАСТЕР**  
**Центр - г. Чадаан**

№	Муниципальный район (кожуун)	Расстояние из г. Чадаан, км	Средняя стоимость грузоперевозки из г. Чадаан, руб	Количество машин для отгрузки товара в год, шт	Общая стоимость перевозки, руб
2	Барун-Хемчикский (с. Кызыл – Мажалык) + г. Ак-Довурак	73	2186	20	4370
3	<i>Дзун-Хемчикский (г. Чадаан) - ЦЕНТР</i>				
6	Монгун-Тайгинский (с. Мугур – Аксы)	229	6264	5	31320
7	Овюрский (с. Хандагайты)	90	2525	6	15150
9	Суг-Холский (с. Суг – Аксы)	32	1067	6	6402
14	Улуг-Хемский (г. Шагонар)	109	3065	15	45975
15	Чаа-Холский (с. Чаа – Хол)	73	1971	6	11826
<b>Транспортные расходы по I кластеру, руб</b>					<b>180073</b>

**II КЛАСТЕР**  
**Центр – г. Кызыл**

№	Муниципальный район (кожуун)	Расстояние из г. Кызыл, км	Средняя стоимость грузоперевозки из г. Кызыл, руб	Количество машин для отгрузки товара в год, шт	Общая стоимость перевозки, руб
5	Кызылский (п. Каа-Хем)	13	281	0	0
8	Пий-Хемский (г. Туран)	84	1983	8	15864
10	Гандинский (с. Бай-Хаак)	80	1900	12	22800
11	Тере-Холский (с. Кунгуртуг)	413	11367	2	22734
12	Тес-Хемский (с. Самагалтай)	168	4475	7	31325
13	Тоджинский (с. Тоора-Хем)	245	5702	5	28510
16	Чеди – Холский (с. Хову-Аксы)	114	4362	6	26172
17	Эрзинский (с. Эрзин)	224	5030	7	35210
18	<i>г. Кызыл - ЦЕНТР</i>				
<b>Транспортные расходы по II кластеру, руб</b>					<b>204206</b>

В случае расширения производства и открытия цеха в г. Чадаан, транспортно-складские расходы по доставке продукции во все кожууны РТ составят:

180073 + 204206 = 384 279 рублей,

расходы на дополнительный цех со складом, с учетом того, что стоимость аренды помещения

в г. Чадаан составляет в среднем 300 руб/м<sup>2</sup>, составят:

300руб\*80м<sup>2</sup>\*12мес = 288 000руб.

Общие транспортно-складские расходы в случае 2 цехов со складом в городах Кызыл и Чадаан составят: Транспортные расходы по I кластеру + Транспортные расходы по II кластеру

+ цех со складом в г. Кызыл + цех с складом в г. Чадаан:

$384279 + 672000 + 288000 = 1\,344\,279$  руб,  
что на 8 % меньше, чем при наличии одного склада

При трех и более цехах со складами (трех и более кластерах) в результате расчетов получено разбиение предприятий на зоны обслуживания, которое несколько снижает транспортные затраты, но увеличивает при этом затраты на аренду складских помещений и общие затраты.

Таким образом, рассмотренный вариант с двумя кластерами является оптимальным и позволяет снизить транспортно-складские затраты по сравнению с случаем одного производственного объекта со складом в городе Кызыл на 8 %.

### Заключение

Последнее время намечается тенденция расположения производственных мощностей предприятий легкой промышленности на территории страны в сельских местностях. Это обусловлено относительно незначительными требованиями со стороны контролирующих органов к организации производства предприятия легкой промышленности, а также низкой стоимостью на земельные ресурсы, аренду помещения, трудовые ресурсы на периферии. Мультипликативный эффект такого размещения производств отражается в образовании новых рабочих мест на селе, уменьшении уровня безработицы, повышению активности трудоспособного населения, снижению социальной напряженности, развитию сельских местностей.

При формировании промышленных кластеров возможно решение перенаселенности городских образований, развитие сельского хозяйства, как основного источника сырья для большинства производств.

Современное предприятие невозможно представить без внедрения актуальных механизмов управления, одним из которых является логистика. При логистическом подходе оптимизация деятельности предприятия осуществляется нахождением общего оптимального сочетания, при котором минимизируются издержки всей совокупности процессов. Оптимизационные математические методы и модели выступают в качестве инструмента логистического подхода к управлению предприятием.

Вопрос совершенствования математических моделей транспортно-складских систем остается открытым. Предложенная математическая модель оптимизации транспортно-складской задачи для случая нескольких цехов с применением аппарата кластерного анализа решена для случая определенного спроса на продукцию предприятия. Дальнейшее изучение подобных моделей необходимо связать с возможностью учета вероятностного характера спроса, который невозможно определить. Он зависит от множества факторов: экономической ситуации в стране и мире, экономических колебаний и циклов, уровня жизни населения, уровня рождаемости, сезонности, ожиданий потребителей и пр. Возможность прогнозирования объема спроса позволит оперативно реагировать на изменения экономической ситуации, особенности различных региональных экономических систем для возможностей стратегического и оперативного планирования деятельности предприятия, повышения его конкурентоспособности и финансовой устойчивости.

### Библиографический список

1. Минпромторг России. Итоги развития легкой промышленности России в 2015-2019гг. Перспективы отрасли в 2020-2025гг. Инновационный центр текстильной и легкой промышленности URL: [https://inpctlp.ru/doc/Итоги\\_развития\\_ЛП\\_России.pdf](https://inpctlp.ru/doc/Итоги_развития_ЛП_России.pdf) (дата обращения 19.05.2020)
2. Мадера А.Г. Определение оптимального размещения логистических мощностей // Интегрированная логистика. – 2005. - № 3. – С. 12 – 15
3. Гусев С.А. Проблемы определения местоположения склада // Логистика, 2011. - № 2. – С. 53 – 55
4. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2008. – 448с.
5. Jeffrey H. Moore, Larry R. Weatherford Decision Modeling with Microsoft Excel: United States Edition 6th edition. - Prentice Hall, 2001. – 704 p.
6. Бочкарев А.А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепи поставок. дис. ...доктора экономических наук. СПб., 2009.

7. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник – М.: Издательско – торговая корпорация «Дашков и Ко», 2012. – 484с.
8. Логистика: Учебное пособие, 2-у изд., перераб. и доп. / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: Издательский Дом «ИНФРА – М», 2000. – 352с.
9. Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес – логистике. – СПб.: Информационно – издательский дом ФИЛИНЪ, 1997. – 772с
10. Социально-экономические показатели городских округов и муниципальных районов Республики Тыва в 2017г. Статистический сборник №1.33.077РТ. Кызыл, 2018. – 115с.
11. Диспетчерский интернет-сервис Перевозка 24 URL: <https://perevozka24.ru/rastoyanie> (дата обращения 23.04.2020)
12. Баисов И.М., Никитина Л.Н., Богданов А.И. Оптимизация места расположения склада торгового предприятия // Вестник СПГУТД, Серия 1. Естественные и технические науки. - 2017. - № 2. - С. 91-94.
13. Богданов А.И., Монгуш Б.С. Математические модели оптимизации производственно-транспортно-складских процессов // Вестник СПГУТД, Серия 1. Естественные и технические науки. - 2019. - № 1. - С. 16-19.

Поступила в редакцию – 14 марта 2021 г.  
Принята в печать – 20 марта 2021 г.

### **Bibliography**

1. Ministry Of Industry And Trade Of Russia. Results of light industry development in Russia in 2015-2019. Industry prospects in 2020-2025. Innovation center for textile and light industry URL: [https://inpctlp.ru/doc/Итоги\\_развития\\_ЛПИ\\_Russia.pdf](https://inpctlp.ru/doc/Итоги_развития_ЛПИ_Russia.pdf) (accessed 19.05.2020)
2. Madera A. G. Determining the optimal placement of logistics capacities // Integrated logistics. - 2005. - no. 3. - P. 12-15
3. Gusev S. A. Problems of determining the warehouse location // logistics, 2011. - no. 2. - P. 53-55
4. Models and methods of logistics theory / edited by V. S. Lukinsky. - Saint Petersburg: Piter, 2008. - 448s.
5. Jeffrey H. Moore, Larry R. Weatherford Decision Modeling with MicrosoftZ Excel: United States Edition 6th edition. - Prentice Hall, 2001. - 704P.
6. Bochkarev A. A. Theory and methodology of the process approach to modeling and integrated planning of the supply chain. ... doctor of Economics, Saint Petersburg, 2009.
7. Gadzhinsky A.M. Logistics: Textbook - M.: Publishing and trading Corporation "Dashkov and Co", 2012. - 484s.
8. logistics: Textbook, 2nd ed., reprint. and add. / ed. by B. A. Anikin. - M.: publishing House "INFRA-M", 2000. - 352s.
9. Sergeev V. I. Management in business logistics. - Saint Petersburg: information and publishing house FILIN, 1997. - 772s
10. Socio-economic indicators of urban districts and municipal districts of the Republic of Tuva in 2017. Statistical collection no. 1.33.077 RT. Kyzyl, 2018 -- 115C.
11. Dispatcher Internet service Transportation 24 <https://perevozka24.ru/rastoyanie> (accessed 23.04.2020)
12. Baisov I. M., Nikitina L. N., Bogdanov A. I. Optimization of the warehouse location of a commercial enterprise // Vestnik SPSYITD, Series 1. Natural and technical Sciences, 2017, no. 2, Pp. 91-94.
13. Bogdanov A. I., Mongush B. S. Mathematical models of optimization of production, transport and warehouse processes // Vestnik SPSYITD, Series 1. Natural and technical Sciences, 2019, no. 1, Pp. 16-19.

Received – 14 Mart 2021  
Accepted for publication – 20 Mart 2021