

УДК 656.212.5.073

Пути повышения эффективности логистического обеспечения деятельности международной транспортной системы «Агроэкспресс» на основе инструментария однокритериальной оптимизации

Е. К. Коровяковский, М. Б. Сабуров

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Коровяковский Е. К., Сабуров М. Б. Пути повышения эффективности логистического обеспечения деятельности международной транспортной системы «Агроэкспресс» на основе инструментария однокритериальной оптимизации // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 2. — С. 276–285. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-276-285

Аннотация

Цель: Разработать варианты технологии обеспечения необходимого уровня грузопотока для поездов «Агроэкспресс» и предложение математической модели для этих целей. **Методы:** Системного анализа, математической оптимизации операций и линейное программирование. **Результаты:** Проанализированы процессы работы по обеспечению сельскохозяйственными грузами рассматриваемого поезда. Разработана математическая модель обеспечения сельхозпродукцией поездов «Агроэкспресс» в Узбекистане. **Практическая значимость:** Предложенная модель создает благоприятные условия для увеличения внешнеторговых грузопотоков России и Узбекистана. С помощью модели имеется возможность совершенствовать технологию работы по обеспечению грузопотока в достаточном количестве «Агроэкспресса» по критерию минимальных затрат.

Ключевые слова: Грузовая перевозка, агроэкспресс, транспортно-логистический центр, грузопоток, холодильный терминал, скоропортящийся груз.

Введение

Обеспечение населения регионов с трудными климатическими условиями, где невозможно выращивать свежие овощи и фрукты, качественным продовольствием всегда является востребованным вопросом. В южных регионах массово производится сельскохозяйственная продукция, особенно много ее производят в Узбекистане. В республике производится ежегодно более 20 млн тонн плодоовощной продукции, из этого

числа не более 500 тыс. тонн экспортируется в разные страны [1]. Учитывая старение и отсутствие допуска для обращения в международном сообщении рефрижераторного подвижного состава Узбекской железной дорогой, последнее время скоропортящиеся грузы перевозятся в основном на автомобильном транспорте [2]. При этом перевозка с использованием железнодорожного транспорта считается более экологичной и экономичной относительно автомобильного транспорта.

Использование специализированного подвижного состава позволит гарантировать сохранность даже самых чувствительных к транспортировке грузов. А начало курсирования экспресс-поездов, специализированных для перевозки агропродукции, дает возможность массово перевозить грузы и увеличивать взаимный экспорт товаров страны с минимумом транспортных затрат. АО «РЖД Логистика», АО «Российский экспортный центр» России и агрологистический оператор Узбекистана ООО «Uzagrologistics Center» договорились о сотрудничестве в области развития доставки агропродукции с запуском регулярных поездов «Агроэкспресс» [3]. Согласно соглашению, стороны будут осуществлять совместную разработку бизнес-предложений по доставке сельскохозяйственной и промышленной продукции, направленную на увеличение взаимного экспорта транспортных услуг и развитие комплексных логистических сервисов. Стороны договорились перевозить грузы агропромышленных предприятий в ускоренных рефрижераторных контейнерных поездах в экспортно-импортных сообщениях. Агроэкспресс начал курсировать в начале ноября 2021 г. в тестовом режиме между станциями «Селятино» (Москва, Российская Федерация) и «Чукурсай», «Сергели» (Ташкент, Республика Узбекистан), а также предусмотрена возможность расширения проекта «Агроэкспресс» на другие направления [4]. Станция «Селятино» расположена в юго-западной части Москвы в Киевском направлении. Станции «Чукурсай» и «Сергели» находятся в промышленном районе железнодорожного узла Ташкента. Сортировочная станция «Чукурсай» расположена на северо-западе, а участковая станция «Сергели» расположена на юго-восточной части этого узла. На всех этих станциях имеются холодильные терминалы современного типа для хранения скоропортящихся грузов.

Для регулярного курсирования сервиса «Агроэкспресс» между Россией и Узбекистаном

имеется большой потенциал. Последние годы товарооборот между Узбекистаном и Россией увеличивается. В 2020 г. он вырос, по сравнению с 2019 г., на 15,7 %, до 5,88 млрд долл. США, что может говорить о росте экономической активности, несмотря на пандемию. На ближайшие годы руководители стран договорились достичь показателя в 10 млрд долл. США [3, 4]. Организация эффективной непрерывной логистической цепи из России в Узбекистан и обратно будет способствовать увеличению этого показателя. Основная номенклатура товаров, планируемая для перевозки этим маршрутом, из России: подсолнечные масла, различный ассортимент машин и техники, кондитерские изделия, сахар, мясо, рыба и морепродукты и т. д. Узбекистан экспортирует свежие овощи и фрукты, качественный хлопок, текстильные готовые и полуготовые изделия. Экспорт товаров из России в Узбекистан примерно в 3 раза больше, чем в обратном направлении [5]. Это означает что, в обратном направлении, возможно, будет наблюдаться нехватка грузопотока для этого поезда. Поэтому для своевременного наполнения грузопотоком этого маршрута требуется предусмотреть ряд мероприятий. Требуется разработка технологии доставки и обеспечения достаточными грузопотоками поездов агроэкспресса с учетом перерабатывающей способности грузовых терминалов. Рассмотрим схему доставки продукции на обозначенном ранее направлении (рис. 1).

На рис. 1 изображены направления грузопотоков относительно расположения станций формирования «Агроэкспресса». Как правило, агроэкспресс загружен 40–42 рефрижераторными контейнерами. Если считать статическую нагрузку 40 футового контейнера равной 25 тоннам, тогда для обеспечения грузами разовой отправки этого поезда потребуется около 1000–1050 тонн продукции. Но, учитывая тот факт, что производство большинства фермерских хозяйств в среднем не превышает 30 тонн в год разной

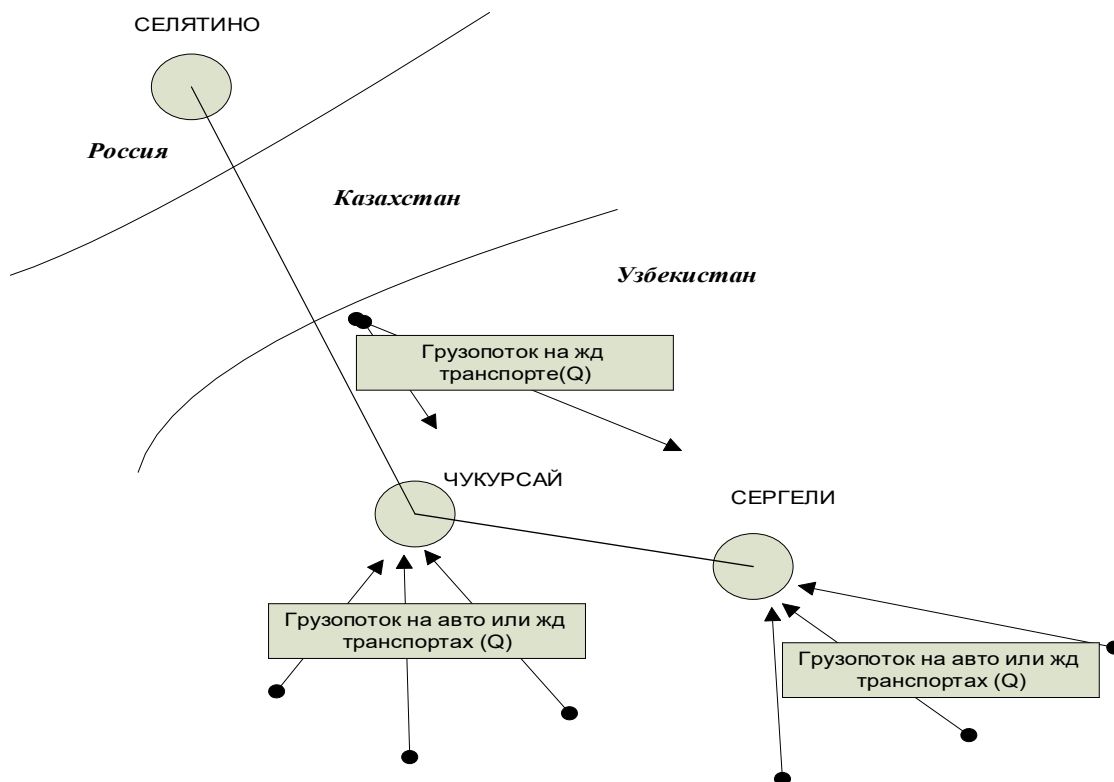


Рис. 1. Схемы формирования грузопотоков для переработки на станциях «Сергели» и «Чукурсай»

номенклатуры, созревающих в разные сезоны года, грузопотоки перевозятся не только железнодорожным, но и автомобильным транспортом. Решение проблемы, связанной с качественной доставкой сельскохозяйственной продукции, требует изучения наиболее рациональных вариантов доставки от поля или холодильника до станции погрузки и далее до конечного клиента [6].

Целью работы является разработка вариантов технологии обеспечения необходимого уровня грузопотока для поездов «Агроэкспресс».

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- провести анализ существующих целесообразных вариантов доставки рассматриваемых грузов до станций «Чукурсай» и «Сергели»;
- провести оценку необходимой величины грузопотока;
- разработать варианты технологии обеспечения поездов «Агроэкспресс»;

– разработать математическую модель по обеспечению грузами поезда.

Научной новизной работы является математическая модель обеспечения агроэкспресса свежими плодоовощами.

Обзор научно-исследовательских работ

Первое решение поставленной задачи оптимизации разработал в 1938 г. советский математик и экономист Л. В. Канторович. Он первым обнаружил, что многие экономические оптимизационные задачи можно решить математической формулировкой и точным количественным решением. Далее, в 1949 г., американский математик Дж. Данциг ввел термин «линейное программирование» в науку. Потом эта методика была распространена на другие виды задач оптимизации, появилось «нелинейное программирование» в 1951 г., которое предложили Кун и Таккер. В 1958 г. Гомори предложил «целочисленное программирование».

Существует еще ряд направлений оптимизации, отличающихся тем, что в их основу положен не конкретный класс задач, а принципы подхода к их решению, например динамическое программирование, разработанное Р. Беллманом в 1957 г. Это общий метод, оптимизация с использованием многошаговой стратегии. А в 1967 г. Даффин, Питерсон и Зенер разработали метод оптимизации, основанный на приведении целевой функции к сепарабельному виду, а также булево программирование, основанное на применении булевой алгебры к задачам дискретного программирования [7].

Вопросам совершенствования математической оптимизации и линейного программирования в сфере железнодорожного грузового транспорта посвящены работы многих ученых [8–11 и др.]. Например, автор [8] разработал методы и различные способы решения транспортных задач линейного программирования.

Сотрудниками и учеными ПГУПС было разработано и подготовлено немало работ по изучению данного вопроса. Например, автор [9] при разработке экономико-математических моделей оптимального управления вагонопотоками использовал методы линейного программирования. В [10] автором выполнены работы на основе многокритериальной оптимизации рационального распределения вагонопотоков на железнодорожном транспорте с применением метода линейного программирования.

В [11] авторами предложены решения задач управления вагонными парками с учетом многих критериев. Был предложен вариант решения задачи с минимизацией по двум критериям: суммарной стоимости и времени при перемещении вагонов.

В ходе проделанного анализа научных работ видно, что в научных работах рассмотрены актуальные вопросы оптимизационных задач с использованием метода линейного программирования. Однако при решении задач по оптимизации

процесса работы поездов «Агроэкспресс» в настоящее время методы линейного программирования используются недостаточно.

Математическая модель рассматриваемой задачи

На рис. 2 изображены основные транспортно-логистические центры (далее — ТЛЦ), которые находятся в центрах региона. Но в настоящее время ТЛЦ с необходимым холодильным оборудованием имеются только в Ташкентском регионе. Поэтому в тестовом режиме «Агроэкспресс» начал курсировать между «Селятино» (Москва) и «Чукурсай», «Сергели» (Ташкент).

При разработке математической модели были приняты во внимание следующие параметры:

A — общее количество ТЛЦ для консолидации сельхозпродукции $A = 1, 2, \dots, l$;

B — множество ТЛЦ, находящихся на главном ходу рейса поезда до Нукуса и в обратном направлении $B = 1, 2, \dots, p$;

C — все ТЛЦ на главном ходу, имеющие в себе холодильный склад $C = 1, 2, \dots, m$;

D — множество фермеров на изучаемой территории $D = 1, 2, \dots, k$;

Множества, взаимно расположены следующим образом: $C \subset B \subset A$.

Q_t — общее количество груза, перевозимого поездом «Агроэкспресс» на t -й маршруте в течение года;

n — количество фитинговых платформ в составе этого поезда;

q_{nt} — статическая нагрузка n -го вагона в составе t -го маршрута.

Здесь $Q_t = q_{nt} \cdot n$.

Далее целесообразно рассмотреть три варианта изучаемой задачи по завозу свежих овощей и фруктов к «Агроэкспрессу». Во всех трех вариантах наиболее рациональный вариант выбирается по критерию минимальных затрат доставки груза от поля фермера до станции погрузки.

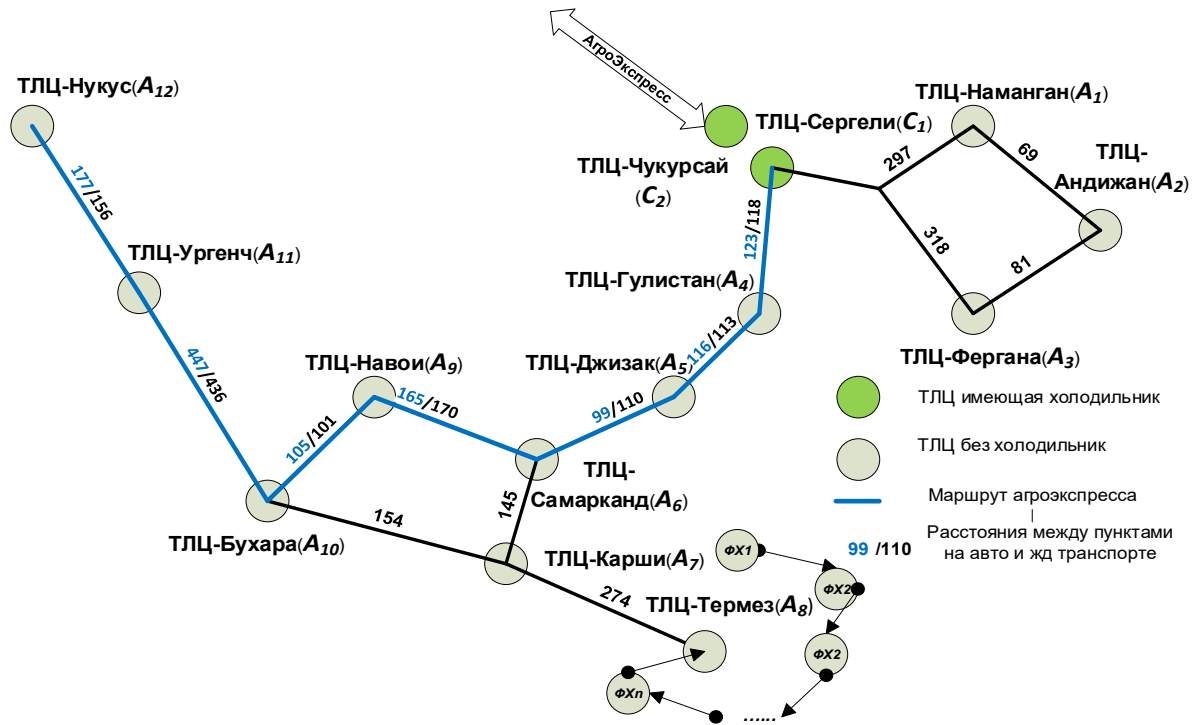


Рис. 2. Схемы расположения ТЛЦ по Узбекистану

1. В первом варианте рассматривается накопление грузов в Ташкенте. В этом случае все свежие овощи и фрукты с фермерских полей собираются автомобильным транспортом и доставляются в ТЛЦ «Сергели» или «Чукурсай», где есть холодильный склад.

Для решения этого варианта задачи необходимо определить минимальные затраты при поставке грузов. Здесь приведенные затраты состоят из двух элементов: затраты, связанные с перемещением свежих овощей и фруктов на автомобильном транспорте от поля фермеров до ТЛЦ, и затраты, связанные с переработкой грузов.

x_{DC} — количество груза, отправляемое от фермера D на ТЛЦ C ; x_C — суммарное количество груза, поступающее на ТЛЦ C ; c_{DC} — себестоимость перевозки грузов автомобильным транспортом от фермера D на ТЛЦ C ; $c_C(x_C)$ — приведенная стоимость переработки 1 т груза на ТЛЦ C . Следовательно, математический вид целевой функции имеет следующий вид:

$$F = \sum_{D=1}^k \sum_{C=1}^m x_{DC} c_{DC} + \sum_{C=1}^m x_C c_C(x_C) \rightarrow \min.$$

При следующих ограничениях:

$$\begin{cases} x_{DC} \geq 0, x_C \geq 0, \\ \sum_{D=1}^k x_{DC} = \sum_{C=1}^m x_C, \\ x_C \leq Q_0, \\ \sum_{C=1}^m x_C \leq Q_l. \end{cases}$$

2. Второй вариант связан с курсированием поезда из Ташкента до Нукуса и в обратном направлении для сбора грузов. В этом случае «Агроэкспресс» следует до станции «Нукус», отцепляя порожние фитинговые платформы с контейнерами в соответствующих ТЛЦ. Здесь рассматриваемая задача разделяется на две: первая — это маршрут через ТЛЦ Навои, вторая — это маршрут через ТЛЦ Карши. При следовании

через ТЛЦ Навои грузы, собираемые вокруг ТЛЦ Карши и Термез, доставляются автотранспортом в ТЛЦ Самарканд и ТЛЦ Бухара. Весь собираемый урожай через ТЛЦ Андижан, ТЛЦ Фергана и ТЛЦ Наманган доставляется в ТЛЦ Ташкент. В этом случае целевая функция может быть представлена в следующем виде:

$$F = \sum_{D=1}^k \sum_{B=1}^p x_{DB} c_{DB} + \sum_{B=1}^p \sum_{C=1}^m x_{BC} c_{BC} + \sum_{B=1}^p x_B c_B(x_B) \rightarrow \min.$$

При следующих ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} C \subset B \\ x_{DB} \geq 0, x_{BC} \geq 0, x_B \geq 0, \\ \sum_{D=1}^k x_{DB} = \sum_{B=1}^p x_B, \\ x_B \leq Q_0 \\ \sum_{B=1}^p x_B \leq Q_1 \end{array} \right.$$

3. Распределение этих контейнеров по регионам на автомобильном транспорте. При этом варианте с помощью автомобильного транспорта происходит развозка порожних контейнеров по регионам, где есть груз. Далее автомобильным транспортом груз доставляется на одну из станций — «Чукурсай» или «Сергели», где осуществляется погрузка на железнодорожный транспорт. Этот вариант более эффективен, если грузы, идущие из России, направлены в регионы Узбекистана или если есть скоропортящиеся грузы, которые необходимо доставить из Ташкента в соответствующий регион. Изучаемые варианты оптимизационных задач считаются многоэтапными. Например, первый вариант задачи состоит из двух этапов, второй вариант — из трех, а третий — из четырех этапов. Поэтому математиче-

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные расчета

$A_i \backslash C_j$	C_1	C_1	Запасы сельхозпродукций
A_1	12 297	10 286	90
A_2	16 366	14 354	110
A_3	14 318	12 308	130
A_4	8 118	9 128	50
A_5	16 231	18 241	90
A_6	22 341	23 351	110
A_7	30 486	31 496	90
A_8	38 760	39 770	80
A_9	31 511	33 521	70
A_{10}	37 612	36 622	90
A_{11}	41 1048	44 1058	70
A_{12}	48 1204	49 1214	70
Перерабатывающая способность холодильных складов	500	550	1050

ская формулировка рассматриваемого варианта будет производиться в следующих публикациях. На практическом примере рассмотрим первый вариант с условием одинаковой себестоимости переработки грузов на холодильных терминалах. В этом случае задача решается как одноэтапная.

Математическое решение задачи

Для численного решения поставленной задачи были собраны исходные данные. Значения запаса сельхозпродукции получены исходя из производственного потенциала фермеров соответствующих регионов согласно статистическим данным [12, 13] для обеспечения грузами t -го маршрута «Агроэкспресс». Перерабатывающие

ТАБЛИЦА 2. Данные первой опорной таблицы по методу минимального элемента

$A_i \backslash C_j$	C_1	C_1	Запасы сельхозпродукций
A_1	12 —	10 90	90
A_2	16 —	14 110	110
A_3	14 —	12 130	130
A_4	8 50	9 —	50
A_5	16 90	18 —	90
A_6	22 110	23 —	110
A_7	30 90	31 —	90
A_8	38 80	39 —	80
A_9	31 70	33 —	70
A_{10}	37 —	36 90	90
A_{11}	41 10	44 60	70
A_{12}	48 —	49 70	70
Перерабатывающая способность холодильных складов	500	550	1050

способности холодильных терминалов приняты согласно [14]. В табл. 1 приведены запасы сельхозпродукции каждого из фермерских хозяйств A_i (далее — ФХ A_i). Цифры в правом нижнем углу — это расстояния от ФХ до соответствующего терминала холодильника C_j , а цифры в левом верхнем углу означают себестоимость перевозки одной тонны груза. Далее, решая транспортную задачу методом наименьшей стоимости по строкам, получим базисный план, представленный в табл. 2.

Используя метод потенциала, определим оптимальность этого базисного плана. u_i — это потенциал отправления, а v_j — потенциал прибытия. При этом, учитывая это условие $u_i + v_j = c_{ij}$, определим потенциалы по рядам и по столбцам,

ТАБЛИЦА 3. Данные первой опорной таблицы по методу минимального элемента

$A_i \backslash C_j$	C_1	C_1	Запасы сельхозпродукций
A_1	12 —	10 90	90
A_2	16 —	14 110	110
A_3	14 —	12 130	130
A_4	8 —	9 50	50
A_5	16 90	18 —	90
A_6	22 100	23 10	110
A_7	30 90	31 —	90
A_8	38 80	39 —	80
A_9	31 70	33 —	70
A_{10}	37 —	36 90	90
A_{11}	41 70	44 —	70
A_{12}	48 —	49 70	70
Перерабатывающая способность холодильных складов	500	550	1050

начиная с $u_i = 0$. Следовательно, проверим следующие условие по небазисным клетки: $u_i + v_j \leq c_{ij}$.

В этом случае это условие не выполняется по (4,2), (6,2) и (9,2) клеткам. При этом план считается неоптимальным. Из этого плана переходим к оптимальному путем циклической перестановки этих клеток. Далее получим табл. 3, для которой выполняются все условия оптимальности.

Ниже приведен ответ задачи в виде матриц. Из ответа видно, что из вектора A_i фермеров к первому холодильному терминалу целесообразно отправить соответственно 0, 0, 0, 0, 90, 100, 90, 80, 70, 0, 70, 0 тонн грузов, а ко второму холодильному терминалу 90, 110, 130, 50, 0, 10, 0, 0, 0, 90, 0, 70 тонн грузов агропродукции:

$$c = \begin{pmatrix} 12 & 10 \\ 16 & 14 \\ 14 & 12 \\ 8 & 9 \\ 16 & 18 \\ 22 & 23 \\ 30 & 31 \\ 38 & 39 \\ 31 & 33 \\ 37 & 36 \\ 41 & 44 \\ 48 & 49 \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} 0 & 90 \\ 0 & 110 \\ 0 & 130 \\ 0 & 50 \\ 90 & 0 \\ 100 & 10 \\ 90 & 0 \\ 80 & 0 \\ 70 & 0 \\ 0 & 90 \\ 70 & 0 \\ 0 & 70 \end{pmatrix}$$

Далее, подставляя оптимальные значения x из матриц в целевую функцию, определим минимальные затраты перевозок.

$$F_{\min}(x) = 10 \cdot 90 + 14 \cdot 110 + 12 \cdot 130 + 9 \cdot 50 + 16 \cdot 90 + 22 \cdot 100 + 23 \cdot 10 + 30 \cdot 90 + 38 \cdot 80 + 31 \cdot 70 + 36 \cdot 90 + 41 \cdot 70 + 49 \cdot 70 = 25\,770.$$

Заключение

Основываясь на математической формулировке проделанного анализа, можно сделать вывод о том, что первый вариант оптимален, если комплекс услуг, оказываемых в холодильных терминалах, относительно меньше от терминалов консолидации. В противном случае второй вариант выгоднее. Третий вариант наиболее экономичен, если грузы, идущие из России, направлены в регионы Узбекистана или есть скоропортящиеся грузы, которые необходимо доставить в соответствующий регион. Следовательно, из проведенного расчета можно сделать вывод, что при оптимальном значении матрицы x целевая функция получит следующее минимальное значение: $F_{\min}(x) = 25\,770$ условных денеж-

ных единиц. Далее, эта модель позволяет определить, к какому холодильному терминалу фермеру выгоднее отвезти свои грузы. Результаты работы модели могут быть применены к реальным ситуациям. При перевозке изучаемых грузов существуют также другие критерии, не все из которых взаимосвязаны с затратами. Исходя из этого, стоит задача разработать технологию поставки грузов «Агроэкспрессами» в условиях многокритериальной оптимизации многоэтапных задач, которая будет решена при последующих исследованиях.

Библиографический список

1. Журабоев К. А. Совершенствование перевозок скоропортящихся грузов путем корректировки логистической цепи (на примере республики Узбекистан): дис. ... канд. техн. наук / К. А. Журабоев. — СПб.: ПГУПС, 2012. — 48 с.
2. Официальная статистика — Министерство инвестиций и внешней торговли республики Узбекистан. — URL: <https://mift.uz/ru/menu/vneshne-torgoviy-oborot-Uzbekistana> (дата обращения: 21.11.2021).
3. Официальная статистика. — Государственный комитет Узбекистана по статистике. — URL: <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika> (дата обращения: 22.11.2021).
4. Информационная статистика. — URL: https://www.akm.ru/press/rzhd_logistika_i_rets_budut_otpravlyat_agroekspresy_v_uzbekistan (дата обращения: 01.01.2022).
5. Сабуров М. Б. Оценка факторов, влияющих на экспортный потенциал Республики Узбекистан / Е. К. Коряковский, М. Б. Сабуров, Ш. Х. Султонов // Известия ПГУПС. — 2021. — № 1(18). — С. 132–142.
6. Сабуров М. Б. Прогнозирование погрузки грузов на железных дорогах Узбекистана / М. Б. Сабуров, Д. Б. Бутунов // Universum. — 2021. — № 1. — С. 36–42.
7. Ковалев В. И. Управление парками вагонов стран СНГ и Балтии на железных дорогах России: учеб. пособие / В. И. Ковалев, С. Ю. Елисеев, В. Г. Дегтяров и др. — М.: Маршрут, 2006. — 243 с.

8. Нестеров Е. П. Транспортные задачи линейного программирования / Е. П. Нестеров. — М.: Транспорт, 1971. 216 с.
9. Ковалев В. И. Организация вагонопотоков в условиях новых форм хозяйствования на железнодорожном транспорте: авт. дис. ... д-ра технич. наук / В. И. Ковалев. — СПб.: ПГУПС, 2003. — 52 с.
10. Осьминин А. Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. Т. Осьминин. — Самара: СамГУПС, 2000. — 48 с.
11. Дегтяров В. Г. Эффективный метод поиска оптимального решения транспортной задачи по критерию минимальной стоимости / В. Г. Дегтяров, В. А. Ходаковский // Автоматика на транспорте. — 2017. — № 1(3). — С. 20–35.
12. Официальная статистика — Министерство сельского хозяйства республики Узбекистан — URL: <https://www.agro.uz/ru/charts/> (дата обращения: 01.02.2022).
13. Официальная статистика — Википедия. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сельское_хозяйство_Узбекистана (дата обращения: 04.02.2022).
14. Официальная статистика Узбекской железной дороги АО «Узбекистон темир йуллари». — URL: Официальная статистика — Министерство сельского хозяйства республики Узбекистан. — URL: <https://www.railway.uz/ru/gazhk/statisticheskie-dannye/> (дата обращения: 01.02.2022).

Дата поступления: 24.04.2022

Решение о публикации: 19.05.2022

Контактная информация:

КОРОВЯКОВСКИЙ Евгений Константинович — канд. техн. наук, профессор; ekorsky@mail.ru
САБУРОВ Мардонбек Баходирович — аспирант; saburov.mardonbek83@mail.ru

Ways to a Rise Efficiency of Logistic Provision for International Transport System "Agroexpress" Activity on the Basis of One-Criterion Optimization

E. K. Korovyakovskiy, M. B. Saburov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Korovyakovskiy E. K., Saburov M. B. Ways to a Rise Efficiency of Logistic Provision for International Transport System "Agroexpress" Activity on the Basis of One-Criterion Optimization // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 2, pp. 276–285. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-276-285

Summary

Purpose: To develop technology variants to provide for necessary level of cargo traffic for trains "Agroexpress" and mathematical model proposal for these purposes. **Methods:** System analysis, operation mathematical optimization and linear programming. **Results:** Work flows on provision of agricultural cargos of the being considered train are analyzed. Mathematical model of provision of agro-production of "Agroexpress" trains in Uzbekistan is developed. With the help of the model, there is a possibility to improve work technology on provision of cargo traffic of "Agroexpress" in sufficient quantity by minimal expenditure criterion. **Practical importance:** The proposed model creates favorable conditions for increasing foreign cargo traffic of Russia and Uzbekistan. With the help of the model it is possible to improve the technology of work to ensure the cargo traffic in a sufficient number of "Agroexpress" on the criterion of minimum costs.

Keywords: Cargo traffic, agroexpress, transport-logistic center, cargo traffic, refrigerator terminal, perishable cargo.

References

1. Zhuraboev K. A. *Sovershenstvovanie perevozok skoroportyashchikhsya gruzov putem korrektyrovki logisticheskoy tsepi (na primere respubliki Uzbekistan)*. *Kand. Diss* [Improving the transportation of perishable goods by adjusting the logistics chain (on the example of the Republic of Uzbekistan). *Cand. Diss*]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2012. 48 p. (In Russian)
2. *Ofitsial'naya statistika — Ministerstvo investitsiy i vneshney torgovli respubliki Uzbekistan* [Official statistics — Ministry of Investments and Foreign Trade of the Republic of Uzbekistan]. Available at: <https://mift.uz/ru/menu/vneshne-torgoviy-oborot-Uzbekistana> (accessed: November 21, 2021). (In Russian)
3. *Ofitsial'naya statistika. — Gosudarstvennyy komitet Uzbekistana po statistike* [Official statistics. — State Committee of Uzbekistan on Statistics]. Available at: <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika> (accessed: November 22, 2021). (In Russian)
4. *Informatsionnaya statistika* [Information statistics]. Available at: https://www.akm.ru/press/rzhd_logistika_i_rets_budut_otpravlyat_agroekspresy_v_uzbekistan (accessed: January 01, 2022). (In Russian)
5. Saburov M. B. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na eksportnyy potentsial Respubliki Uzbekistan [Assessment of factors affecting the export potential of the Republic of Uzbekistan]. *Izvestiya PGUPS* [Izvestia PGUPS]. 2021, I. 1(18), pp. 132-142. (In Russian)
6. Saburov M. B. Prognozirovaniye pogruzka gruzov na zheleznykh dorog Uzbekistana [Forecasting the loading of goods on the railways of Uzbekistan]. *Universum* [Universum]. 2021, I. 1, pp. 36-42. (In Russian)
7. Kovalev V. I. *Upravlenie parkami vagonov stran SNG i Baltii na zheleznykh dorogakh Rossii* [Management of the fleets of wagons of the CIS and Baltic countries on the railways of Russia]. Moscow: Marshrut Publ., 2006. 243 p. (In Russian)
8. Nesterov E. P. *Transportnye zadachi lineynogo programmirovaniya* [Transport problems of linear programming]. Moscow: Transport Publ., 1971. 216 p. (In Russian)
9. Kovalev V. I. *Organizatsiya vagonopotokov v usloviyakh novykh form khozyaystvovaniya na zhelezno-dorozhnom transporte*. *Dokt. Diss* [Organization of car flows in the conditions of new forms of management in railway transport. *Doct. Diss*]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2003. 52 p. (In Russian)
10. Os'minin A. T. *Ratsional'naya organizatsiya vagonopotokov na osnove metodov mnogokriterial'noy optimizatsii*. *Dokt. Diss* [Rational organization of car flows based on methods of multicriteria optimization. *Doct. Diss*]. Samara: SamGUPS Publ., 2000. 48 p. (In Russian)
11. Degtyarov V. G. Effektivnyy metod poiska optimal'nogo resheniya transportnoy zadachi po kriteriyu minimal'noy stoimosti [An effective method for finding the optimal solution to a transport problem by the criterion of minimum cost]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2017, I. 1(3), pp. 20-35. (In Russian)
12. *Ofitsial'naya statistika — Ministerstvo sel'skogo khozyaystvo respubliki Uzbekistan* [Official statistics — Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan]. Available at: <https://www.agro.uz/ru/charts/> (accessed: February 01, 2022). (In Russian)
13. *Ofitsial'naya statistika — Vikipediya* [Official statistics - Wikipedia]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Sel'skoe_khozyaystvo_Uzbekistana (accessed: February 04, 2022). (In Russian)
14. *Ofitsial'naya statistika — Uzbekskoy zheleznoy dorogi AO «Uzbekiston tear yullari»* [Official statistics - Uzbek Railway JSC “Uzbekiston tear yullari”]. *Ofitsial'naya statistika — Ministerstvo sel'skogo khozyaystvo respubliki Uzbekistan* [Official statistics — Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan]. Available at: <https://www.railway.uz/ru/gazhk/statisticheskie-dannye/> (accessed: February 01, 2022). (In Russian)

Received: April 24, 2022

Accepted: May 19, 2022

Author's information:

Evgeny K. KOROVYAKOVSKIY — PhD in Engineering, Professor; ekorsky@mail.ru

Mardonbek B. SABUROV — Postgraduate Student; saburov.mardonbek83@mail.ru