

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ  
ГРУЗОПОТОКОВ В ПРИПОРТОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ\***

Доктор техн. наук, доцент **Числов О.Н.**,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент **Богачев В.А.**,  
старший преподаватель **Кравец А.С.**, ассистент **Задорожний В.М.**  
(Ростовский государственный университет путей сообщения. РГУПС)  
кандидат физ.-мат. наук, доцент **Богачев Т.В.**  
(Ростовский государственный экономический университет. РИНХ)

**THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE DISTRIBUTION  
OF GRAIN TRAFFICS IN THE PORT RAILWAY  
TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEM**

Doctor (Tech.), Assistant Professor **Chislov O.N.**,  
Ph. D. (Phys. - Mat.), Assistant Professor **Bogachev V.A.**,  
Senior Lecturer **Kravets A.S.**, Assistant **Zadorozhny V.M.**  
(Rostov State Transport University)  
Ph. D. (Phys. - Mat.), Assistant Professor **Bogachev T.V.**  
(Rostov State Economic University)

*Железнодорожный транспорт, распределение экспортных зерновых грузопотоков, ABC-анализ, станции прирельсовых элеваторов, коэффициент динамики грузовой массы, критерий оптимальности, система аналитических вычислений.*

*Railway transport, distribution of export grain traffic, ABC analysis, railway elevator stations, freight mass dynamics factor, optimization criterion, software package.*

*Предложен метод оптимизации распределения экспортных зерновых грузопотоков, следующих в адрес морских портов Азово-Черноморского бассейна, в железнодорожной припортовой транспортно-технологической системе, учитывающий региональные инфраструктурные показатели и экономико-географические параметры накопления грузов. Разработан алгоритм выбора грузообразующих станций и получено решение оптимизационной задачи с целевой функцией, представляющей собой общее время реализации плана перевозок.*

*A method is proposed for optimizing the distribution of export grain cargo traffic in the railway transport and technological port system of the Azov-Black Sea basin, taking into account the indicators of the regional infrastructure and the economic and geographical parameters of cargo accumulation. An algorithm has been developed for selecting freight generating stations and a solution has been obtained for an optimization problem with an objective function representing the total time for the implementation of the transportation plan.*

### Введение

На протяжении последних десятилетий Россия остается крупнейшим экспортером зерна на мировом рынке. По данным Министерства сельского хозяйства РФ [1], за 2018 год страна экспортировала продовольствия из сельхозпродукции на сумму 25,8 млрд. долларов. Основную часть экспорта составляют: зерновые – 40 %, рыба и ракообразные – 20 %, продукция пищевой и перерабатывающей промышленности – 13,5 %, продукция масложировой отрасли – 26,5%. В 2019 г. в государственном бюджете предусмотрено 303,6 млрд. руб. на реализацию мероприятий по развитию аграрно-промышленного комплекса (АПК), в том числе, 39 млрд. руб. - на поддержку экспорта продукции АПК. По прогнозам Министерства сельского хозяйства РФ, в 2019 г. планируется экспорт 42 млн. т зерна, в том числе, 36 млн. т пшеницы (с учетом переходящих запасов).

В общем объеме перевозимых на железнодорожном транспорте грузов количество зерновых достаточно

велико. Зарождение зерновых грузопотоков происходит в регионах, специализирующихся на выращивании соответствующих культур. Учитывая географическое расположение морских портов и погранпереходов, можно оценить важность исследований, проводимых с целью разработки схем продвижения указанных грузопотоков в южных регионах России. Экспорт зерна в основном осуществляется через морские порты Черного моря, к которым примыкает обширная транспортная сеть железных и автомобильных дорог. Разветвленность сети, а также присутствие на транспортном рынке региона различных видов транспорта, представляет грузовладельцу большой выбор вариантов продвижения грузопотоков на заданных маршрутах. В настоящей статье разработана оптимизационная процедура выбора варианта распределения грузопотоков на полигоне Северо-Кавказской железной дороги - СКЖД, позволяющая, в том числе, повысить показатели качества работы дороги в целом.

\* Исследования проводятся при поддержке РФФИ, проект №17-20-04236 офи\_м\_РЖД

## Актуальность задачи минимизации временных затрат экспортных перевозок зерна

Результаты анализа показателей перевозочных процессов в современной России свидетельствуют о том, что потребности в транспортных услугах в стране удовлетворяются только на 60–70%, а потери времени и транспортные издержки гораздо выше, чем в странах с развитой рыночной экономикой [2]. Таким образом, не подлежит сомнению актуальность разработок новых математически обоснованных подходов к вопросам оптимизации распределения грузопотоков, в частности железнодорожных, как уже имеющихся, так и прогнозируемых. Проблема распределения грузо- и вагонопотоков в транспортных сетях решается различными методами [3,4,5] и актуальна для любой территории, на которой осуществляется движение транспортных единиц по рельсовой инфраструктуре.

В отношении перевозок зерна особое коммерческое значение имеют сезонные колебания мировых цен на это сырье, являющиеся важнейшим показателем востребованности и стимулом его перевозок. В моменты повышения цен на зерно на внешнем рынке резко увеличивается количество заявок на его экспортные поставки из южных регионов России, что создаёт дополнительную нагрузку на транспортную систему. В условиях консолидации складского комплекса для хранения зерновых грузов вокруг крупных трейдеров зерна особенно актуальной становится задача доставки зерновых грузов из территориально (географически) разбросанных элеваторов в определенный порт для обеспечения судовой партии. Практика показывает, что внутренние цены на зерно часто не имеют прямой связи с его собранным количеством, а зависят от многих, на первый взгляд, посторонних факторов, например, НДС, цен на горючее или аренду, уровня инфляции. Для железнодорожных операторских компаний, выступающих на рынке зерновых перевозок, важно быть готовыми к указанным колебаниям, располагая теоретически обоснованным планом оптимального распределения грузопотоков в пиковые периоды. Немаловажное значение для участников железнодорожного перевозочного процесса имеет возникающая в таких условиях весьма жесткая конкуренция со стороны автомобильного транспорта. В последние годы разделение рынка перевозок экспортимруемого зерна между железнодорожным и автомобильным транспортом происходит приблизительно как 30% на 70% (рис. 1) [6]. Следует отметить, что в Южном регионе конкуренция ощущается особенно остро в связи с длительным периодом беспрепятственной (в частности, со стороны погодных условий) эксплуатации автотранспорта. Мобильность автотранспорта и упрощенная система документального оформления перевозки грузов являются преимуществом для грузовладельцев при выборе автотранспортной схемы перевозки зерновых продуктов.

В настоящей работе исследованы возможности регулирования распределением экспортных зерновых грузопотоков в региональной припортовой железнодорожной транспортно-технологической системе с известными инфраструктурными показателями и заданными экономико-географическими параметрами накопления грузов с точки зрения минимизации времени, затрачиваемого на перевозки.

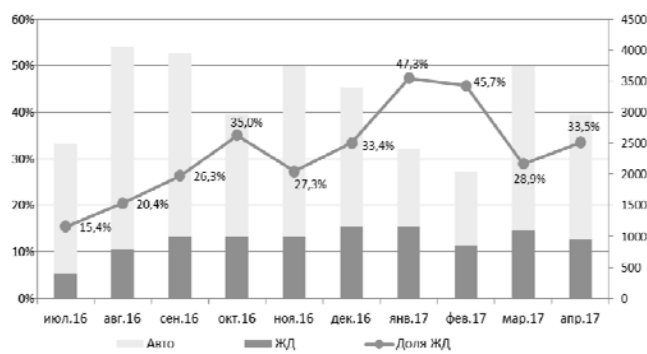


Рис. 1. Сезонные колебания объемов перевозок по видам транспорта

## Анализ региональных инфраструктурных показателей и экономико-географических параметров накопления грузов

Рассмотрим сеть, состоящую из 102-х основных элеваторов (зернохранилищ), имеющих подъездные железнодорожные пути и расположенных в юго-западной части полигона Северо-Кавказской железной дороги. Из элеваторов могут выполняться как внутренние перевозки зерна (например, на мукомольные или производящие крупы предприятия для его переработки, производства комбикормов и т.д.), так и экспортные. Целью исследований являются возможность оптимизации временных и количественных показателей экспортных перевозок зерна в адрес морских портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ).

Для каждого из указанных выше элеваторов принимаются во внимание емкость, производительность и длительность хранения зерна. Указанные характеристики не имеют прямой зависимости. Например, длительность хранения зерна в элеваторе определяется назначением и родом этого сырья. Зерно к припортовым станциям может отправляться как сформированными из вагонов-хопперов отправительскими маршрутами, так и повагонными отправлениями. Для многих участников перевозочного процесса маршрутные отправки оказываются более предпочтительными, чем повагонные. Исходя из известных на полигоне СКЖД весовых норм грузовых поездов рассчитывается составность маршрута с учетом возможных направлений перевозки. Отметим, что технологию отправки зерна отправительскими маршрутами используют все страны - лидеры экспорта зерновых во всем мире. Один из таких вариантов рассмотрен в работе [7].

Для указанной выше сети прирельсовых элеваторов произведен анализ для выбора и группировки наиболее крупных из них, на которых возможно формирование маршрутных поездов для отправления зерновых грузов на экспорт. Специфика экспортных перевозок зерна часто подразумевает особую оперативность и гибкость в их организации. Одной из необходимых предпосылок оперативности является хранения партий зерна в элеваторах, имеющих одновременно большую емкость и производительность с минимальным дисбалансом этих показателей. Учитывая необходимые для организации экспортных перевозок характеристики элеваторов, выбор наиболее крупных из них предлагается производить по следующему алгоритму:

1. ABC-анализ [8] по показателям емкости и производительности элеватора (зернохранилища). Результат – ранжирование элеваторов на группы А, В (две подгруппы) и группа С рассматривается отдельно по каждому из показателей.

2. Применение модифицированного гравитационного метода Шеффле–Вебера [9] для объединения более крупных элеваторов и элеваторов группы С, ввиду малого интереса к ним с точки зрения маршрутизации перевозочного процесса. Результат – сокращение объема выборки. В итоге выборка состоит из трех групп элеваторов в каждом показателе А, В\*, С\*, где В\*, С\* – модифицированные подгруппы.

3. Сравнительный анализ результатов модифицированного ABC-анализа. Результат – объединение групп элеваторов (зерновых кластеров) с учетом совместных показателей емкости и производительности (группы АА, АВ/ВА, ВВ, ВС/СВ, СС).

4. Выявление элеваторов с необходимой пропорцией показателей емкости и производительности с помощью величины введенного коэффициента динамики грузовой массы  $k_{дгм}$ , который рассчитывается по формуле:

$$k_{дгм} = \frac{E_i}{Q_i}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – емкости  $i$ -го элеватора;  $Q_i$  – производительность транспортного оборудования  $i$ -го элеватора.

В результате определены интервалы рациональных значений коэффициента динамики грузовой массы  $k_{дгм} = 62,25 - 154,76$ , при котором пропорция показателей емкости и производительности элеваторов наиболее удовлетворяет возможности предоставления условий оперативности при организации перевозок зерновых грузов на экспорт. Результат – выбор элеваторов с необходимой величиной  $k_{дгм}$ .

5. Среди образованных групп элеваторов выявляются зерновые кластеры ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \omega$  – склады), наиболее удовлетворяющие обеспечению необходимых объемов экспортных перевозок, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты корректировки ABC-анализа параметров элеваторов

Группа по результатам модифицированного ABC-анализа	По емкости			
	А	В	С	
По производительности	А	$\alpha$ -склад	$\beta$ -склад	0
	В	$\beta$ -склад	$\gamma$ -склад	$\delta$ -склад
	С	0	$\delta$ -склад	$\omega$ -склад

В результате получено, что  $\alpha$ -склад и  $\beta$ -склад – преимущественный выбор группы элеваторов (зернового кластера) при организации перевозок;  $\delta$ -склад и  $\gamma$ -склад – второстепенный вариант организации перевозок;  $\omega$ -склад – нежелательный выбор при организации перевозок; 0 – вариант с дисбалансом показателей. Также получено сокращение выборки до 10 позиций.

6. Совместное ранжирование соседних станций погрузки на полигоне дороги по показателю большей емкости зернохранилищ и выбор лучшей станции. Результат – сокращение выборки до 8 позиций.

На основе представленного алгоритма агрегирования станций погрузки с прирельсовыми элеваторами в зерновые кластеры производится формирование математической модели распределения грузоперевозок в припортовой транспортной системе. В результате выполненных процедур по ранжированию, объединению и выбору прирельсовых элеваторов были созданы 8 кластеров, включающих 8 крупнейших станций при достаточно равномерном их распределении на рассматриваемой части полигона СКЖД (рис. 2).

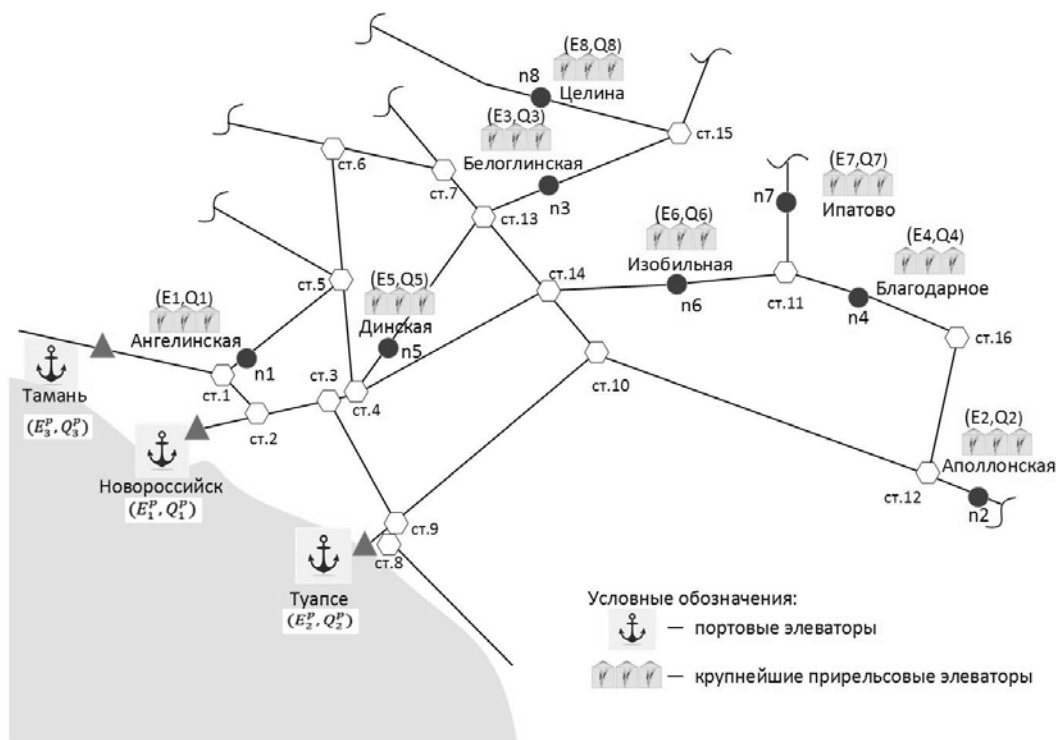


Рис. 2. Схема транспортной сети региона

В рамках данной статьи из функционирующих в регионе припортовых станций рассмотрены три, которые расположены на Черноморском побережье. Это традиционно используемые в экспортных перевозках зерна Новороссийск, Туапсе, а также порт Тамань. На сегодняшний день Зерновой Терминальный комплекс порта Тамань является одним из наиболее перспективных (проектная перевалочная мощность 13,4 млн. т зерновых грузов в год), позволяющих обрабатывать суда

типа Panamax и Postpanamax. До 2011 г. (до введения в эксплуатацию зернового терминала Тамань) суда типа Panamax и Postpanamax обрабатывались исключительно в глубоководных портах АЧБ.

Для формирования модели составляется таблица 2 исходных данных перевозок зерна отправительскими маршрутами с железнодорожных станций, имеющих прирельсовые элеваторы, в порты (припортовые станции).

Таблица 2

Распределение количества заявленных и ожидаемых маршрутов

Припортовые станции Станции прирельсовых элеваторов	$B_1$	$B_2$	$B_3$	...	$B_n$	Количество маршрутов, заявленных на станции прирельсовых элеваторов
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	...	$x_{1n}$	$\sum_{j=1}^n x_{1j}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	...	$x_{2n}$	$\sum_{j=1}^n x_{2j}$
$A_3$	$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{33}$	...	$x_{3n}$	$\sum_{j=1}^n x_{3j}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	$x_{m3}$	...	$x_{mn}$	$\sum_{j=1}^n x_{mj}$
Количество маршрутов, назначением на припортовую станцию	$\sum_{i=1}^m x_{i1}$	$\sum_{i=1}^m x_{i2}$	$\sum_{i=1}^m x_{i3}$	...	$\sum_{i=1}^m x_{in}$	—

Для примера рассмотрим  $n = 3$  припортовые станции, для которых количество ожидаемых маршрутов распределяется следующим образом: Новороссийск – 15, Туапсе – 5, Тамань – 6; а также  $m = 8$  станций прирельсовых элеваторов с количествами заявленных маршрутов: Ангелинская – 4, Аполлонская – 1, Белоглинская – 5, Благодарное – 4, Динская – 1, Изобильная – 2, Ипатово – 3, Целина – 6.

### Построение математической модели перевозок

При построении математической модели учитывается эгалитарный подход в теории благосостояния [10]. В рассматриваемой ситуации одна из реализаций парадигмы кооперативного принятия управленческих решений может быть представлена как нелинейная транспортная задача для грузовых перевозок по критерию минимума общего времени доставки груза. Согласно сформулированному в [10-12] общему тезису эгалитарной программой обеспечивается понимаемая в определенном смысле внутренняя устойчивость кооперации. В данном случае такая устойчивость может быть интерпретирована как скоординированный по времени план перевозок.

Пусть в рассматриваемом плане перевозок  $x_{ij}$  есть число маршрутов, которые могут быть направлены с  $i$ -й элеваторной станции на  $j$ -ю припортовую станцию (с естественным стандартным ограничением  $x_{ij} \geq 0$ ).

Предполагается выполнение равенств:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (2)$$

где  $m$  – количество станций погрузки на прирельсовых элеваторах,  $n$  – количество припортовых станций (портов),  $a_i$  – количество маршрутов, подлежащих вывозу с  $i$ -й элеваторной станции,  $b_j$  – количество маршрутов, ожидаемых на  $j$ -й припортовой станции.

Отметим, что разработанная в настоящей статье методика позволяет (наряду с рассматриваемой в данном случае закрытой моделью) решать соответствующие задачи по оптимизации грузопотоков и для открытой транспортной модели, то есть с нарушенным условием баланса в (2). Например, в случаях, когда  $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$ , возможности приема зерна на припортовых станциях (портах) превышают заявленные на элеваторных станциях запасы. Или же когда  $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$ , то есть имеются дополнительные возможности по варьированию объемов зерна, вывозимого с элеваторных станций.

При этом не используются стандартные искусственные приемы, состоящие в введении соответствующих фиктивных станций.

Пусть  $t_{ij}$  – время нахождения маршрута на участке между  $i$ -й элеваторной станцией и  $j$ -й припортовой станцией, сутки. Время перевозок между всеми элеваторными станциями и всеми припортовыми станциями может быть представлено матрицей  $(t_{ij})$ . Матрица, элементами которой являются рассматриваемые в настоящей работе численные значения  $t_{ij}$ , – составная часть таблицы 3.

Таблица 3

**Расстояния и время следования маршрутов на участках между станциями элеваторов и припортовыми станциями**

Станция	Порт					
	Новороссийск		Туапсе		Тамань	
	$l_{ij}$	$t_{ij}$	$l_{ij}$	$t_{ij}$	$l_{ij}$	$t_{ij}$
Ангелинская	121	0,38	268	0,83	176	0,55
Аполлонская	582	1,8	480	1,49	653	2,03
Белоглинская	341	1,06	353	1,10	412	1,28
Благодарное	561	1,74	573	1,78	632	1,96
Динская	164	0,51	176	0,55	235	0,73
Изобильная	373	1,16	385	1,2	444	1,38
Ипатово	536	1,66	548	1,7	607	1,89
Целина	460	1,43	472	1,47	531	1,65

Ввиду малых возможных значений плана перевозок  $x_{ij}$  по сравнению с общим числом маршрутов, находящихся в каждый момент времени на рассматриваемой части полигона СКЖД, вполне корректным является допущение, что указанное в таблице 3 время  $t_{ij}$  не зависит от значений  $x_{ij}$ . Более того, приведённые в таблице значения времени следования маршрутов на участках при условии нахождения на этой части полигона других грузовых поездов различных назначений приняты как среднестатистические числа.

В соответствии со сказанным выше в качестве подлежащей оптимизации целевой функции будем рассматривать время максимальной по времени перевозки всех маршрутов в рассматриваемом плане перевозок (общее время перевозок), то есть

$$z = \max_{i,j} t_{ij} \operatorname{sgn}(x_{ij}). \quad (3)$$

Таким образом, величиной  $z$  определяется время реализации всего плана перевозок. Для целевой функции (3) решается задача нелинейного (в данном случае целочисленного) математического программирования  $z \rightarrow \min$  с ограничениями (2).

Другими словами, оптимальным является такой план перевозок, в котором время максимальной по времени перевозки не превосходит времени максимальной по времени перевозки в любом другом плане.

**Нахождение планов перевозок в среде системы аналитических вычислений**

Для поставленной выше минимаксной задачи математического программирования разработаны алгоритм

и доведенная до численных результатов процедура нахождения оптимального распределения грузопотоков в среде системы аналитических вычислений. В качестве программного обеспечения может быть использована, например, Maxima (Free Ware).

Ниже приведены два последовательно полученных в строке вывода системы аналитических вычислений плана перевозок с общим временем 2,03 суток и общим временем 1,78 суток. Затем приводятся два десятка планов перевозок для данной сети в заданных условиях, каждый из которых обеспечивает минимальное значение общего времени перевозок равное 1,74 суток. Для наглядности один из этих планов представлен в таблице 4. (Отметим, что в статье приведена лишь весьма незначительная часть из тех многих рациональных планов, найденных системой аналитических вычислений.)

0,0,4,0,0,1,0,4,1,3,1,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0  
2.03

0,0,4,0,1,0,0,3,2,3,1,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0  
1.78

0,0,4,0,1,0,0,3,2,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0  
0,0,4,0,1,0,3,2,0,4,0,0,0,0,1,1,1,0,3,0,0,4,1,1  
0,0,4,0,1,0,3,2,0,4,0,0,0,0,1,2,0,0,1,2,0,5,0,1  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,2,1,0,2,1,3  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,3,0,0,1,2,3  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,3,0,3,0,3  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,1,2,0,2,1,3  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,2,1,0,1,2,3  
0,1,3,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,0,3,3  
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,0,1,0,1,1,3,0,0,3,1,2  
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,0,1,0,2,0,3,0,0,3,0,3  
0,2,2,0,1,0,5,0,0,4,0,0,0,1,0,0,1,1,3,0,0,3,0,3  
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,6,0,0  
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,1,1,0,3,0,0,6,0,0  
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,2,0,0,2,1,0,6,0,0  
0,3,1,0,1,0,0,0,5,4,0,0,1,0,0,2,0,0,3,0,0,5,1,0  
0,3,1,0,1,0,0,1,4,4,0,0,0,0,1,2,0,0,3,0,0,6,0,0  
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,0,1,2,0,0,3,0,0,5,1,0  
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,1,0,1,0,1,3,0,0,6,0,0  
0,3,1,0,1,0,1,0,4,4,0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,0,5,0,1  
1.74

Таблица 4

**Примероптимального плана перевозок зерновых грузов отправительскими маршрутами**

Припортовые станции	Новороссийск	Туапсе	Тамань
Станции прирельсовых элеваторов			
Ангелинская	0	3	1
Аполлонская	0	1	0
Белоглинская	1	0	4
Благодарное	4	0	0
Динская	0	1	0
Изобильная	2	0	0
Ипатово	3	0	0
Целина	5	0	1

Считаем целесообразным приведение результатов еще одной вычислительной процедуры. При этом добавлен ряд ограничений на планы перевозок с целью конкретизации оптимального плана, которую предлагаем выполнить исходя из следующих критериев:

1. Минимальное расстояние между станцией (пунктом) погрузки (станция прирельсового элеватора) и припортовой станцией (портом):  $l_{ij} \rightarrow \min$ ;

2. Зерновой кластер образован  $\alpha$ -складом;

3. Максимальная величина запасов склада (элеватора):  $E_i \rightarrow \max$ ;

4. Припортовая станция (порт) имеет максимальную перерабатывающую способность:  $Q_i^p \rightarrow \max$ ;

5. Максимальная величина ставки дохода в расчете на одно транспортное средство (вагон) для компании оператора (собственника).

Отметим, что представленный алгоритм универсален и может быть использован как для железнодорожного транспорта, так и для автомобильного.

Например, из рис. 2 и табл. 2 видно, что станция Ангелинская находится существенно ближе к станции Новороссийск, чем к двум другим рассматриваемым припортовым станциям. Обращаясь к первому из представленных выше критериев, естественно наложить на распределение грузопотоков дополнительное ограничение, состоящее в том, чтобы с указанной станции прирельсового элеватора в порт Новороссийск отправлялось не менее 3-х маршрутов и при этом ни одного маршрута не отправлялось в Туапсе. Кроме того, на станцию Новороссийск должен быть отправлен единственный маршрут со станции Динской, а единственный маршрут со станции Аполлонской - направлен в Туапсе. Все маршруты со станций Белоглинская и Благодарное должны быть направлены в Новороссийск или в Туапсе. Ниже приведен один из 3 последовательно полученных неоптимальных планов перевозок с одним и тем же общим временем 1,89 суток. Далее приведен один из 120 последовательно полученных рациональных планов перевозок. Выбор из этих планов оптимального для рассматриваемых станций варианта распределения грузопотоков обеспечивает минимальное значение общего времени перевозок равно 1,74 суток.

3,0,1,0,1,0,1,4,0,4,0,0,1,0,0,0,0,2,0,0,3,6,0,0  
1.89, 3

4,0,0,0,1,0,5,0,0,4,0,0,1,0,0,1,1,0,0,3,0,0,0,6  
1.74, 120

### Выводы

Изложен подход к вопросам оптимизации распределения зерновых грузопотоков в железнодорожной припортовой транспортно-технологической системе, учитывающий региональные инфраструктурные показатели и экономико-географические параметры накопления зерновых грузов. Сформирована модель перевозочного процесса, представляющая собой минимаксную задачу нелинейного целочисленного математического программирования. Предложен алгоритм, реализована и доведена до численных результатов в среде системы аналитических вычислений процедура нахождения оптимального по времени распределения потоков зерновых грузов.

Разработанный алгоритм выбора зерновых кластеров на заданной сети может быть использован при выборе зон хранения других насыпных грузов. Для множества полученных вариантов решения поставленной задачи указан способ выбора среди них рационального с точки зрения клиента. Ввод дополнительных экспертных ограничений позволяет находить оптимальный вариант распределения припортовых грузопотоков.

### Литература

1. Встреча Президента РФ В.Путина с главой Минсельхоза Д.Патрушевым и руководителем Россельхознадзора С. Данквертом. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/59742>

2. Сидорюк И.В., Красова Е.В. Роль международных транспортных коридоров в экономике Приморского края // Территория новых возможностей Вестник ВГУЭС. - 2012.- №1. - С. 52-63. ISSN: 2073-3984.

3. Числов О.Н., Богачев В.А., Задорожный В.М., Богачев Т.В. Методы прогрессивного распределения порожних вагонопотоков в припортовой транспортно-технологической системе // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2015. - № 4 (60). - С. 92-102. ISSN: 0201-727X.

4. Chislov O., Bogachev V., Zadorozhny V., Bogachev T. Economic-geographical method delimiting wagon flows in the region considered: Model and algorithm // Transport problems. - 2018. - Vol.13. No.2. - P. 39-48. ISSN: 1896-0596 eISSN: 2300-861X

5. Borndörfer R., Klug T., Schlechte T., Fügenschuh A., Schang T., Schülldorf H. The freight train routing problem for congested railway networks with mixed traffic // Transportation science. - 2016. - Vol. 50. - № 2. - P. 408-423. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0656> ISSN: 0041-1655.

6. Материалы доклада Рубинчик Е. Промежуточные итоги экспорта зерна в целом и по ЖД в сезоне 2016/17. – САММИТ Meat & Poultry – Fish & Seafood – 2017, Москва. – 2017 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.rusagrotrans.ru/analitika/doklady-i-prezentatsii/2017.pdf>

7. Hyland M., Mahmassani H., Mjahed L. Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. - 2016. - Vol. 93. - P. 294-315. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.06.008> ISSN: 1366-5545.

8. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика/под ред. В.И. Сергеева. – М.: Эксмо, 2013. 944 с. ISBN: 978-5-699-61919-1.

9. Числов О.Н., Люц В.Л. Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем // Инженерный вестник Дона. - 2012. - Т. 23. - № 4-2 (23). - С. 82. eISSN: 2073-8633.

10. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.- 464с. ISBN 5-03-002131-0.

11. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНТИ. - 2004.- № 11.- С.14-16.

12. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНТИ РАН.- 2003.- № 7.- С.8-18.

## Сведения об авторах

**Числов Олег Николаевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС) -

344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.

Телефон 8 (863) 272-63-23

E-mail: o\_chislov@mail.ru.

**Богачев Виктор Алексеевич**, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Высшая математика», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-63-30

E-mail: bogachev-va@yandex.ru.

**Кравец Александра Сергеевна**, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-62-40

E-mail: kravec\_as@mail.ru.

**Задорожний Вячеслав Михайлович**, ассистент кафедры «Станции и грузовая работа», Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

Телефон 8 (863) 272-42-01

E-mail: zadorozniy91@mail.ru.

**Богачев Тарас Викторович**, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Фундаментальной и прикладной математики», Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69.

Телефон 8 (863) 261-38-85

E-mail: bogachev73@yandex.ru.