

А.А. Оленцевич<sup>1</sup>, Ю.О. Гуд<sup>1</sup>, Н.П. Асташков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Аннотация.** Одним из основных процессов транспортно-производственной деятельности компании ОАО «РЖД» в увязке с промышленными предприятиями и операторами вагонов является устойчивость предоставления вагонов под погрузку и отправка грузов. Поэтому задачи рационального обеспечения предприятий вагонами являются актуальными и в современных условиях развития железных дорог.

Для значительной части производственных предприятий основным видом транспорта является железнодорожный, поэтому его надежность, высокий уровень организации и управления процессом перевозок грузов являются важными аспектами в развитии экономики не только конкретного региона, но и страны в целом.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, промышленные предприятия, порожние вагоны, транспортное обслуживание, планирование перевозок.

А.А. Olencevich<sup>1</sup>, Yu.O. Gud<sup>1</sup>, N.P. Astashkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## MATHEMATICAL FORMALIZATION OF TRANSPORT SERVICES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Abstract.** One of the main processes of the transport and production activities of the company Russian Railways in conjunction with industrial enterprises and railcar operators is the stability of the provision of railcars for loading and shipping. Therefore, the tasks of rational provision of enterprises with cars are relevant in modern conditions of the development of railways.

For a significant part of manufacturing enterprises, the main mode of transport is rail, therefore its reliability, a high level of organization and management of the process of transportation of goods are important aspects in the development of the economy of not only a particular region, but also the country as a whole.

**Keywords:** railway transport, industrial enterprises, empty railcars, transport services, transportation planning.

В рамках статьи рассмотрены основные факторы, которые оказывают непосредственное влияние на процесс обеспечения предприятий вагонами, а именно:

1) Увеличение количества нетягового подвижного состава. Следует отметить, что в большинстве случаев сырье на предприятия прибывает в вагонах одной собственности, а вывоз продукции осуществляется другими транспортными компаниями, что непосредственно отражается в увеличении порожнего пробега подвижного состава и объема местной работы;

2) Инфраструктура подъездных путей необщего пользования, которая должна в полной мере обеспечивать маневровую и сортировочную работу с учетом объема перевозок. Меры для развития подъездных путей для удовлетворения условий подачи либо уборки вагонов, объема вагонооборота должны приниматься собственником, что зачастую является непосильным ввиду больших инвестиций и затрат;

3) Простой вагонов на подъездных путях из-за их недостаточного развития;

4) Несовершенство логистической системы планирования перевозок:

- неравномерное прибытие сырья. Из-за неравномерного прибытия груженых сырьем вагонов в адрес конкретного промышленного предприятия на станции и подходах к ней имеет место скопления критического объема вагонов, что неблагоприятно отражается в организации пропуска вагонопотока для других получателей.

- неравномерное прибытие порожнего подвижного состава. Исключение случая, когда подача порожних вагонов превышает перерабатывающую способность рассматриваемого предприятия, что обуславливает возникновение длительных простоев вагонов, является одним

из основных критериев разработки математической модели. Следует учитывать, что порожний подвижной состав может прибывать с различных станций, число которых варьируется с учетом времени года. Особо важно рассмотреть удаленность данных станций, что позволит спрогнозировать среднесуточное количество прибытия порожнего подвижного состава и реализовать рациональное планирование и распределение маневровой работы на участке в целом.

Следует отметить, что вышеперечисленные факторы специфичны для каждого конкретного предприятия, в связи с чем комплексный анализ проблем транспортного обслуживания позволит реализовать математическую модель оперативного регулирования текущей ситуации с целью прогнозирования и планирования поставок потребного количества вагонов.

Решение данной задачи позволит реализовать следующий комплекс мер:

- 1) Структурное представление всех факторов взаимодействия компании ОАО «РЖД» с конкретным предприятием, операторами и собственниками в части поставок вагонов;
- 2) Оценка неравномерности обеспечения вагонами конкретного предприятия;
- 3) Используемые технологии производства погрузочно-разгрузочных работ, оценка надежности оборудования.

Выполненный в рамках данной статьи анализ научных исследований [1, 4-5], направленных на решение вопросов оперативного управления транспортом крупных промышленных предприятий, позволил определить основные направления повышения качества транспортного обслуживания с учетом существующей технической оснащенности. С целью оптимизации рабочего парка вагонов промышленных предприятий представлена математическая модель, которая включает два уровня:

- оперативное управление;
- перспективное планирование.

Использование предложенной двухуровневой модели позволит транспортной системе устойчиво функционировать с учетом текущей обстановки без значительных объемов резерва вагонов.

Согласно тематике работы, выполнен анализ математической формализации транспортного обслуживания промышленных предприятий. Следует отметить, что в работах [8-9] представлена идея построения математической модели с помощью систем дифференциальных уравнений, которые описывают передвижения грузовых вагонов. Численное решение нелинейной системы двух дифференциальных уравнений в рассматриваемой модели целесообразно использовать для управления вагонами на подъездных путях.

Воздействие множества случайных факторов на поставку вагонов конкретному промышленному предприятию приводит к неустойчивому состоянию технологического процесса обеспечения подвижным составом, что приводит к экономическим потерям всех участников перевозочного процесса. На основании вышеизложенного следует, что существующие подходы к решению проблемы обеспечения вагонами промышленных предприятий в должной степени не позволяют оперативно реагировать на текущую ситуацию.

Необходимость исследования новых методов в описании транспортных процессов на предприятии, процессов подачи и уборки вагонов с подъездных путей предприятий, так и на них является актуальной задачей.

При разработке математической модели организации движения вагонпотоков на промышленных предприятиях требуется учитывать, что на производство продукции и транспортное обеспечение предприятий оказывают влияние большое количество случайных факторов, чем обусловлена постоянная корректировка их эффективной совместной работы.

При разработке математической модели транспортного обеспечения промышленного предприятия основой будут служить следующие показатели работы:

- выгрузка сырья (прибытие груженых вагонов);
- погрузка продукции (отправление груженых вагонов).

Именно данные показатели обуславливают возникновение процессов прибытия и отправления порожних вагонов.

В работе [2] приведена информация о работе нескольких производственных предприятий в течение календарного месяца. На основании выполненного анализа полученной на рассмотренных предприятиях информации автор доказал случайный характер прибытия и отправления вагонов. Представленные зависимости доказывают неритмичность работы предприятий по причинам, не зависящим от транспортного обслуживания, что негативно влияет по подачу/уборку вагонов. На основании вышеперечисленного авторами сделан вывод, что основными выходными результатами математической модели должны быть сбалансированные входящие и выходящие вагонопотоки, которые учитывают не только потребность в вагонах, но и пропускную способность промышленных путей предприятия.

Особый интерес представляет нелинейные дифференциальные уравнения, с помощью которых представлено движение вагонопотоков на подъездных путях промышленных предприятий [3, 6-7].

Для определения количественной оценки риска предложено использование метода статистических испытаний.

Общая количественная характеристика ожидаемого результата:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  – математическое ожидание;  $x_i$  – значение случайной величины;  $p_i$  – вероятность появления случайной величины.

Выборочная дисперсия и среднеквадратичное отклонение:

$$D_x = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot p_i \quad (2)$$

Коэффициент вариации:

$$V_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad (3)$$

Необходимо на примере конкретного предприятия рассмотреть поставки сырья и порожнего подвижного состава, отдельно фиксировать численность груженых, отдельно порожних вагонов, подаваемых под погрузку.

Структурированные данные наиболее просто представить в виде таблиц. В таблице 1 представлены статистические показатели прибытия вагонов под выгрузку на конкретное предприятие с необходимым количеством наблюдений.

Таблица 1

Наблюдения				
$x_i$	$x_{i+1}$	$x_{i+2}$	...	$x_n$

В таблице 2 представлен интервальный статистический ряд прибытия груженых вагонов в адрес конкретного рассматриваемого предприятия.

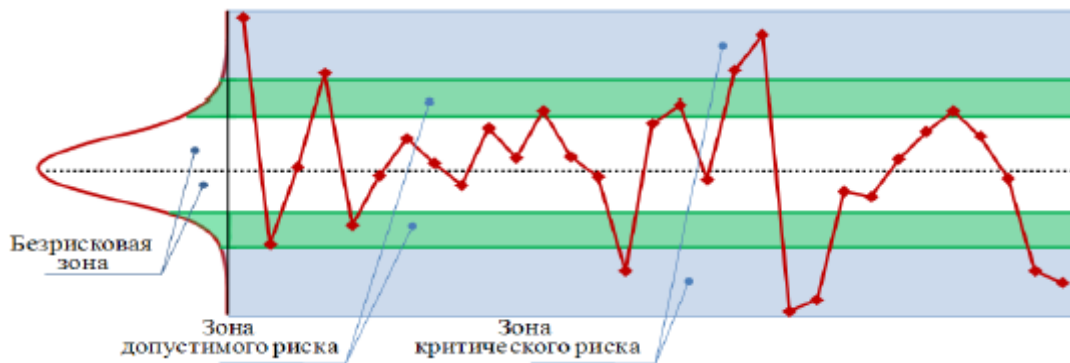
Таблица 2

Разряд	$x_{min} - x_1$ ( $x_1 = x_{min} + h$ )	$x_1 - x_2$ ( $x_2 = x_1 + h$ )	...	$x_{max-1} - x_{max}$
Середина разряда	$\frac{x_{min} + x_1}{2}$	$\frac{x_1 + x_2}{2}$	...	$\frac{x_{max-1} + x_{max}}{2}$
Число совпадений $m_i$	$m_1$	$m_2$	...	$m_n$
Суммарное число совпадений				$m_c = \sum_{i=1}^n m_i$
Частота $p_i$	$\frac{m_1}{m_c}$	$\frac{m_2}{m_c}$	...	$\frac{m_n}{m_c}$

Плотность частоты $b_i$	$\frac{p_1}{h}$	$\frac{p_2}{h}$	...	$\frac{p_n}{h}$
----------------------------	-----------------	-----------------	-----	-----------------

Аналогичным образом определяются статистические показатели прибытия порожних вагонов под погрузку и интервальный статистический ряд.

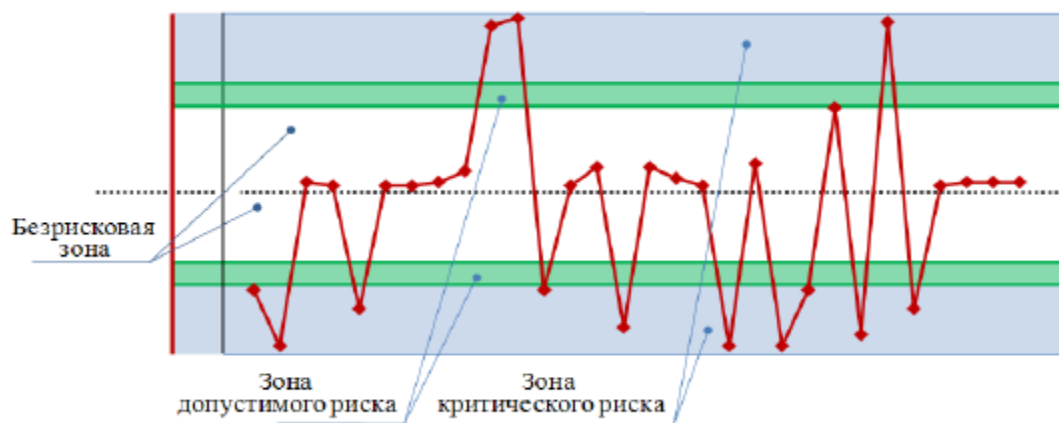
На основании гистограмм распределения осуществляется выбор закона распределения рассматриваемой случайной величины.



а) при нормальном распределении



б) при показательном распределении



в) при равномерном распределении

**Рис. 1. Графики зон возникновения риска «перенасыщение/недонасыщение»**

Графики отражают возможные зон рисков:

- безрисковая зона (задержки по подаче/уборке отсутствуют);
- зона допустимого риска (существенного ухудшения процесса производства нет);
- зона критического риска (неритмичная работа не только предприятия, но и станции примыкания).

Используя интегральную функцию плотности вероятности, определение вероятности устойчивой работы рассматриваемого предприятия осуществляется следующим образом:

$$P(\alpha \leq x \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – минимальное потребное число порожних или вагонов с сырьем;  $\beta$  – максимальное количество вагонов, рассчитанное из суммарной перерабатывающей способности путевого развития предприятия.

Результаты обработки статистических данных и полученные на их основе законы распределения позволяют спрогнозировать возникновения рисков «перенасыщения/недонасыщения» промышленных предприятий вагонами. Появляется возможность определения количественной оценки рисков не только для предприятия, но и компании ОАО «РЖД».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулиничев В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.Н. Корешков // учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
2. Бодюл В.И. Математическая модель распределения вагонного парка по железным дорогам в условиях неравномерности грузовых перевозок / В.И. Бодюл // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – М.: ВНИИЖТ, 2006 (3). – С. 3-9.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика // учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
4. Ивницкий В.А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. М.: Физматлит, 2004. – 772 с.
5. Костин И.И. Генеральный план и транспорт промышленных предприятий / И.И. Костин, А.С. Гельман, В.Я. Ильин // учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1981. – 192 с.
6. Минаков П.А. Использование дифференциальных уравнений для определения технико-технологических параметров работы сортировочной станции // Транспорт: наука, техника, управление. – М.: Наука и техника транспорта, 2012 (3). – С. 19-24.
7. Рябинин И.А., Черкасов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
8. Туранов Х.Т. Построение дифференциальной модели движения подвижного состава на местах необщего пользования / Х.Т. Туранов, Н.П. Чуев // Транспорт: наука, техника, управление. – М.: Наука и техника транспорта, 2012 (7). – С. 13-18.
9. Туранов Х.Т. Численное моделирование движения грузовых вагонов на местах необщего пользования / Х.Т. Туранов, Н.П. Чуев // Транспорт: наука, техника, управление. – М.: Наука и техника транспорта, 2012 (3). – С. 8-18.

### REFERENCES

1. Akulinichev V.M. Mathematical methods in the operation of railways / V.M. Akulinichev, V.A. Kudryavtsev, A.N. Koreshkov // textbook for high schools of transport. - M.: Transport, 1981. - 223 p.
2. Bodyul V.I. The mathematical model of the distribution of the rolling stock on railways in the conditions of uneven freight traffic / V.I. Bodiul // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. - M.: VNIIZHT, 2006 (3). – pp. 3-9.
3. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics // textbook for universities. - M.: Higher School, 2003. - 479 p.
4. Ivnitky V.A. Theory of Queuing Networks / V.A. Ivnitky. M.: Fizmatlit, 2004. - 772 p.
5. Kostin I.I. The general plan and transport of industrial enterprises / I.I. Kostin, A.S. Gelman, V.Ya. Ilyin // textbook for universities. - M.: Stroyizdat, 1981. - 192 p.
6. Minakov P.A. Using differential equations to determine the technical and technological parameters of the sorting station // Transport: science, technology, management. - M.: Science and technology of transport, 2012 (3). – pp. 19-24.

7. Ryabinin I.A., Cherkasov G.N. Logical and probabilistic methods for studying the reliability of structurally complex systems. - М.: Radio and communications, 1981. - 264 p.

8. Turanov H.T. The construction of a differential model of the movement of rolling stock in public places / Kh.T. Turanov, N.P. Chuev // Transport: science, technology, management. - М.: Science and technology of transport, 2012 (7). – pp. 13-18.

9. Turanov H.T. Numerical simulation of the movement of freight cars in public places / Kh.T. Turanov, N.P. Chuev // Transport: science, technology, management. - М.: Science and technology of transport, 2012 (3). – pp. 8-18.

#### **Информация об авторах**

*Оленцевич Арина Александровна* – обучающаяся группы ЭЖД.1-16-1, факультет «Управление на транспорте и информационные технологии», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olencevich\_va@mail.ru

*Гуд Юлия Олеговна* – обучающаяся группы ЭЖД.3-16-1, факультет «Управление на транспорте и информационные технологии», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ig66d1@gmail.com

*Асташков Николай Павлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

#### **Authors**

*Arina Aleksandrovna Olencevich* – student of the group EZHD.1-16-1 (Railways Operation), faculty of "Transport Management and Information Technology", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olencevich\_va@mail.ru

*Yulia Olegovna Gud* – student of the group EZHD.3-16-1 (Railways Operation), faculty of "Transport Management and Information Technology", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ig66d1@gmail.com

*Nikolay Pavlovich Astashkov* – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, the Subdepartment of "Operational Work Management", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

#### **Для цитирования**

Оленцевич А.А., Гуд Ю.О., Асташков Н. П. Математическая формализация транспортного обслуживания промышленных предприятий [Электронный ресурс] / А.А. Оленцевич, Ю.О. Гуд, Н. П. Асташков // Молодая наука Сибири: электрон. научн. журн. – 2020 – №2 – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 09.07.2020).

#### **For citation**

Olencevich A.A., Gud Yu.O., Astashkov N.P. *Matematicheskaya formalizaciya transportnogo obsluzhivaniya promyshlennyh predpriyatij* [Mathematical formalization of transport services of industrial enterprises]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 2. [Accessed 09/07/20]