

*Р. В. ВЕРНИГОРА, кандидат технических наук, доцент, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ, кандидат технических наук, В. В. МАЛАШКИН, старший преподаватель, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ОБЪЕМОВ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ПУНКТОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассматриваются вопросы определения расчетных объемов работы грузовых пунктов на подъездных путях промышленных предприятий. Выполнен анализ существующих методик расчета, особое внимание уделено проблеме определения расчетного коэффициента неравномерности вагонопотоков, поступающих на подъездные пути предприятий. Приведены результаты исследований, выполненных для железнодорожного подъездного пути крупного морского порта Украины.

Железнодорожный транспорт подъездных путей промышленных предприятий является важным элементом в логистической цепи перемещения материальных потоков, так как обеспечивает непосредственное взаимодействие по передаче грузов между магистральными железными дорогами и грузовладельцами. В настоящее время транспортная система Украины включает более 7 тысяч подъездных путей общей протяженностью около 27 тыс. км. Анализ работы железных дорог Украины показывает, что более 90% всех грузовых операций в настоящее время выполняется именно на подъездных путях [1]. Таким образом, уровень эффективности и эксплуатационной надежности функционирования железнодорожного транспорта подъездных путей оказывает существенное влияние как на работу магистральных железных дорог, так и на работу обслуживаемых предприятий.

Следует признать, что в настоящее время существующая система организации эксплуатационной работы многих подъездных путей и их взаимодействия с железными дорогами демонстрирует свою неэффективность. Так, поэлементный анализ оборота грузового вагона на железных дорогах Украины показывает, что около 42% от общего времени оборота составляет нахождение вагонов на станциях выполнения грузовых операций (на Донецкой дороге этот показатель достигает 56%). При этом до 90% указанного времени вагоны находятся на подъездных путях предприятий, а простой вагонов магистрального транспорта на подъездных путях некоторых крупных предприятий металлургической и горнодобывающей промышленности достигает 100 часов и больше. Более того, наблюдается тенденция к увеличению простоев вагонов на подъездных путях: за 6 месяцев 2011 года среднее время пользования вагонами угольной отрасли возросло на 18 часов, в горно-металлургической – на 37 часов. Соответственно растет и плата за пользование вагонами, что приводит к росту себестоимости выпускаемой этими предприятиями продукции.

Причины такой ситуации в общем можно сформулировать как несоответствие существующей

технологии и технического оснащения железнодорожного транспорта подъездных путей, а также принятой системы организации взаимодействия с магистральным транспортом новым рыночным условиям работы, среди которых следует выделить: изменение формы собственности предприятий агропромышленного комплекса, которые являются отправителями и получателями грузов; переход от системы государственного планирования экономики к системе рыночного планирования; появление частного подвижного состава и постоянное увеличение его доли в общем парке вагонов; существенное увеличение объемов импортно-экспортных перевозок.

Одной из основных причин неэффективной работы подъездных путей является также существенная изношенность (до 80%) основных технических средств: путевого и стрелочного хозяйства, подвижного состава, грузовых и складских устройств. Это приводит к введению ограничений скорости маневровых передвижений, частым сходам подвижного состава, поломкам локомотивов, увеличению продолжительности погрузо-разгрузочных операций. Модернизация основных фондов железнодорожного транспорта подъездных путей требует применения современных научных методов для выбора комплекса наиболее эффективных и экономически оправданных мероприятий по увеличению перерабатывающей способности. Одной из основных задач, возникающих при этом, является определение потребной перерабатывающей способности подъездного пути и его отдельных грузовых пунктов. Важность и сложность решения данной задачи отмечал еще проф. А.К. Угрюмов в труде [2].

Потребная мощность (перерабатывающая или пропускная способность) технических средств на железнодорожном транспорте в большинстве случаев определяется, исходя из расчетных суточных объемов работы:

$$N_{расч}^{сут} = K_{нер} \cdot N_{сред}^{сут}, \quad (1)$$

где  $K_{нер}$  – расчетный коэффициент неравномерности;  $N_{сред}^{сут}$  – среднесуточные объемы работы.

Следует отметить, что определение расчетного коэффициента неравномерности представляет собой весьма непростую и противоречивую задачу: завышение этого коэффициента может привести к необходимости сооружения и содержания неиспользуемых производственных мощностей; занижение же коэффициента приводит к снижению уровня эксплуатационной надежности данного технического устройства, а значит и всего транспортного предприятия в целом.

В современных условиях работы неравномерность в погрузке и перевозках грузов все более увеличивается, что вызывает существенные потери как на магистральном, так и на промышленном железнодорожном транспорте. Одной из причин этого является переход от системы глобального государственного планирования к рыночным методам составления планов. При этом на многих предприятиях производство продукции выполняется «под заказ» и, соответственно, отправление грузов осуществляется крайне не ритмично. Кроме того, как показывает анализ, существенное влияние на увеличение неравномерности перевозок в настоящее время оказывает постоянное возрастание доли частных вагонов в общей структуре вагонопотока. Ряд исследований показывает, что за годы независимости внутригодовая неравномерность перевозок возросла в среднем на 7-10%, а суточная – на 50% [3]. Особо актуальной проблема неравномерности перевозок является для железнодорожного транспорта подъездных путей, функционирование которых характеризуются колебаниями объемов работы в значительных пределах. Так, если неравномерность в работе сортировочных станций магистрального железнодорожного транспорта Украины в настоящее время колеблется в пределах 5...50%, то неравномерность вагонопотоков, поступающих на подъездные пути предприятий, находится в пределах 30...270%; причем по отдельным грузам отклонение максимальных объемов прибытия от среднесуточных значений может достигать 400...500% и более [4].

Следует отметить, что вопросам исследования неравномерности перевозочного процесса и прогнозирования размеров грузопотоков в эксплуатационной науке посвящено множество научных работ [2, 5-8]. Например, проф. А.К. Угрюмов в работе [2] предлагает при определении потребной перерабатывающей способности технических средств исходить из расчетных объемов работы, рассчитываемых как:

$$N_{расч}^{сут} = N_{сред}^{сут} + 2,5\sigma, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение фактических размеров входящего потока.

Среди множества научных работ особого внимания заслуживает фундаментальный труд [6] ко-

тором изложена методика долгосрочного прогнозирования грузопотоков, разработанная в БелИИЖТе под руководством проф. Н.В. Правдина. В данной работе подчеркивается необходимость применения системного подхода к прогнозированию эксплуатационной работы с использованием современного математического аппарата теории вероятностей, теории надежности, теории массового обслуживания, теории игр и др. В то же время, основная часть выполненных научных работ по данной проблематике посвящена исследованию функционирования, в первую очередь, магистральных железных дорог, а вопросы анализа неравномерности и прогнозирования объемов работы железнодорожного транспорта вообще пользования освещены недостаточно.

При определении расчетного коэффициента неравномерности входящего потока (поездов, вагонов, грузов) обычно используют результаты статистической обработки данных о размерах данного потока за прошедшие периоды. В научнотехнической литературе расчетный коэффициент неравномерности объемов работы железнодорожного предприятия часто рекомендуется определять по следующей формуле [6]:

$$K_{пер} = K_{пер}^{мес} \cdot K_{пер}^{сут}, \quad (3)$$

где  $K_{пер}^{мес}, K_{пер}^{сут}$  – коэффициенты месячной и суточной неравномерности, соответственно.

Коэффициенты  $K_{пер}^{мес}$  и  $K_{пер}^{сут}$  определяются как:

$$K_{пер}^{мес} = N_{max}^{мес} / N_{сред}^{мес}, \quad K_{пер}^{сут} = N_{max}^{сут} / N_{сред}^{сут}, \quad (4)$$

где  $N_{max}^{мес}$  – объем работы в месяц максимальных перевозок;  $N_{сред}^{мес}$  – среднемесячный объем работы;  $N_{max}^{сут}$  – максимальный суточный объем работы в месяц максимальных перевозок;  $N_{сред}^{сут}$  – среднесуточный объем работы.

В ряде нормативных документов железнодорожных администраций СНГ изложены методики определения расчетных объемов работы для грузовых пунктов подъездных путей, в которых приведены выражения для определения расчетных коэффициентов неравномерности прибывающих вагонопотоков. Так, в Правилах перевозок грузов железнодорожным транспортом Украины [9] расчетный коэффициент неравномерности работы для подъездных путей определяется по формуле:

$$K_{пер} = 1 + \frac{2(N_{max} - N_{min})}{3(N_{max} + N_{min})}, \quad (5)$$

где  $N_{max}$  – максимальный размер суточных объемов работы за год;  $N_{min}$  – среднесуточные объемы работы для месяца, в котором они были минимальными.

На РЖД в [10] при нормировании времени нахождения вагонов на подъездных путях рекомендуется принимать значение расчетного коэффици-

ента неравномерности в пределах 1,1...1,5. В методике по разработке Единых технологических процессов работы подъездных путей и станций примыкания  $K_{\text{нер}}$  рекомендуется определять как:

$$K_{\text{нер}} = 1 + v_{\text{вар}}, \quad (6)$$

где  $v_{\text{вар}}$  – коэффициент вариации входящего потока, определенный на основе статистической обработки ретроспективных данных о работе объекта.

Однако, как показали исследования, выполненные сотрудниками Горочноиспытательной лаборатории ДИИТа по ряду подъездных путей Украины, определенные по выражениям (5) и (6) расчетные объемы работы грузовых пунктов могут быть превышены по отдельным суткам в 15...30% случаев в течение года, что не обеспечивает требуемый уровень эксплуатационной надежности.

Для примера, на рис. 1 приведен график изменения объемов суточного поступления вагонов на подъездной путь крупного морского порта Украины в 2011 году, а на рис. 2 – график для одного из грузовых пунктов этого подъездного пути, оборудованного вагоноопрокидывателем.

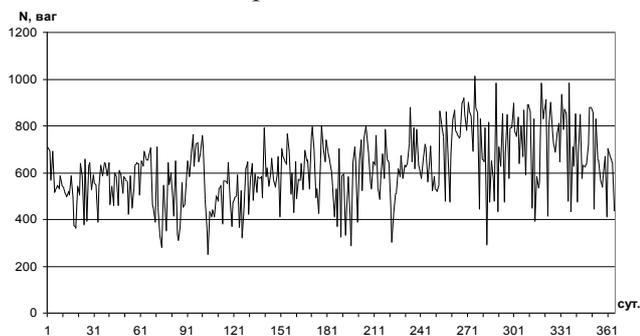


Рисунок 1 – Динамика изменения объемов поступления вагонов на подъездной путь морского порта

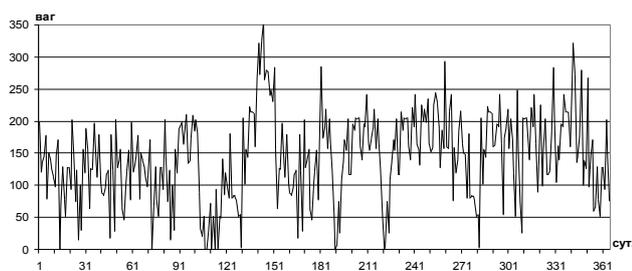


Рисунок 2 – Динамика изменения объемов поступления вагонов на грузовой пункт подъездного пути

По сути, графики, приведенные на рис. 1 и рис. 2, представляют собой временные ряды. При анализе и прогнозировании поведения временных рядов важно выявить наличие или отсутствие устойчивых тенденций (трендов) или цикличности в их развитии, на основании чего можно принимать решение о применении того или иного метода прогнозирования. Одной из важных свойств временных рядов является персистентность, т.е. склонность ряда следовать определенным трендам к увеличению или уменьшению значений исследуемой величины. При этом прогнозирование та-

кого ряда может быть выполнено с помощью методов авторегрессионного анализа по найденному функционалу тренда. Прогнозирование антиперсистентных временных рядов выполняется с использованием методов математической статистики и теории вероятностей. Персистентность временного ряда можно определить с помощью показателя Херста  $H$ , который рассчитывается на основе методов  $RS$ -анализа [11]. При этом значение показателя Херста в пределах  $0 \leq H < 0,5$  свидетельствует о том, что временной ряд является антиперсистентным (неустойчивым), т.е. за увеличением следует спад и наоборот; значение в пределах  $0,5 < H \leq 1$  свидетельствует о персистентности (трендоустойчивости) ряда, т.е. за увеличением с большей вероятностью следует увеличение; при  $H=0,5$  временной ряд абсолютно случайный и соответствует обычному белому гауссовскому шуму.

На основе методов  $RS$ -анализа для временных рядов, приведенных на рис. 1 и рис. 2 были определены соответствующие показатели Херста:  $H_1 = 0,244$  и  $H_2 = 0,276$ . Таким образом, временные ряды изменения размеров вагонопотоков, поступающих на подъездной путь порта и один из его грузовых пунктов, являются антиперсистентными. Аналогичные значения показателя Херста получены для других грузовых пунктов данного подъездного пути. Выполненные исследования для ряда крупных железнодорожных подъездных путей Украины показали, что антиперсистентность характерна для большинства временных рядов, описывающих динамику изменения вагонопотоков, которые поступают на подъездные пути предприятий. Персистентные ряды характерны, в первую очередь, для предприятий, которые наращивают или снижают объемы переработки грузов.

Учитывая случайный характер поступления вагонов на подъездные пути и грузовые пункты целесообразно установить законы распределения случайной величины суточного прибытия. В [6] указывается, что «распределение суточных колебаний вагонопотоков практически во всем диапазоне колебания нагрузок может описываться нормальным законом распределения». Исследования показали, что такое утверждение справедливо не только для объектов магистрального транспорта (станций и участков), но и для железнодорожного транспорта подъездных путей. Так, статистическая обработка случайных величин суточного вагонопотока, поступающего на подъездной путь морского порта (рис. 1) и на его отдельный грузовой пункт (рис. 2), показала, что указанные величины подчинены нормальному распределению с параметрами:  $\bar{N}_1 = 614,6 \text{ ваг.}$ ,  $\sigma_1 = 147,6 \text{ ваг.}$ ,  $\chi_1^2 = 6,23$  и  $\bar{N}_2 = 143,2 \text{ ваг.}$ ,  $\sigma_2 = 67,8 \text{ ваг.}$ ,  $\chi_2^2 = 3,85$  (при  $\chi_{\text{кр}}^2 = 11,1$ ). Соответствующие гистограммы статистических и теоретических распределений приведены на рис. 3.

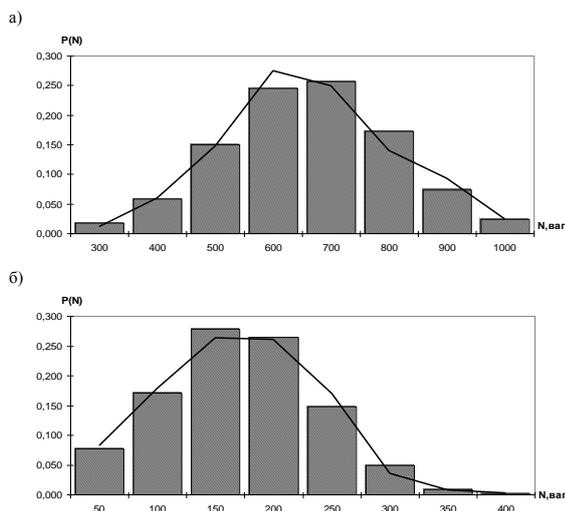


Рисунок 3 – Проверка гипотезы о нормальном распределении величины суточных вагонопотоков, поступающих: а) на подъездной путь морского порта; б) на грузовой пункт вагоноопрокидывателя

С учетом нормального распределения случайной величины вагонопотока для определения его расчетных размеров может быть использована обратная нормированная функция Лапласа, которая позволяет получить значение  $N_{расч}$ , которое не будет превышено с заданной вероятностью  $P$  [2] (обычно в технических расчетах  $P=0,95$ ):

$$N_{расч}^{сут} = N_{сред}^{сут} + \sigma \cdot t_p \quad t_p = \Phi'(P-0,5), \quad (7)$$

где  $\Phi'$  – обратная функция Лапласа [12].

Для сравнительного анализа и оценки точности методов определения расчетного коэффициента неравномерности и расчетных объемов суточного поступления вагонов на грузовые пункты, по формулам (2), (3), (5) – (7) были выполнены соответствующие расчеты для ряда крупных подъездных путей Украины. При этом для каждого способа определялась вероятность ошибки  $P_{ош}$ , т.е. превышения расчетных объемов работы в течение года. Для примера, в табл. 1. приведены результаты выполненных расчетов для подъездного пути морского порта и грузового пункта, оборудованного вагоноопрокидывателем.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методик определения расчетных объемов работы на подъездных путях

Расчетная формула	Подъездной путь порта				Вагоноопрокидыватель			
	$K_{нер}$	$N_{расч}$ , ваг	$P_{ош}$ , %	$P_{нат}$ , %	$K_{нер}$	$N_{расч}$ , ваг	$P_{ош}$ , %	$P_{нат}$ , %
2	1,60	983,7	1,1	98,9	2,18	312,5	1,1	98,9
3	1,58	970,5	1,1	98,9	2,31	331,2	0,3	99,7
5	1,22	747,1	19,7	80,3	1,37	195,8	24,7	75,3
6	1,24	762,2	17,3	82,7	1,47	210,9	14,5	85,5
7	1,40	857,4	5,7	94,3	1,78	254,6	4,7	95,3

Как видно из табл. 1, методы определения коэффициента неравномерности и расчетных объемов работы, приведенные в нормативных документах железнодорожных администраций УЗ (5) и РЖД (6) обеспечивают наименьший уровень экс-

плуатационной надежности 75,3%...85,5%. Причем, формула, представленная в [9] дает наибольшую вероятность превышения расчетных объемов работы в течение года (до 90 случаев). Из этого следует, что выражения для определения коэффициента неравномерности и потребной перерабатывающей способности грузовых пунктов, приведенные в нормативных документах железнодорожных администраций, являются некорректными и требуют уточнения.

Что же касается методов (2) и (3), то здесь имеет место определенное завышение потребной перерабатывающей способности грузовых фронтов, что требует дополнительных затрат для увеличения мощности технических средств. Так, расчетные объемы, определенные по (3) для вагоноопрокидывателя, были превышены в течение года всего один раз ( $P_{ош}=0,3$ ).

В этой связи для определения расчетных объемов работы и, соответственно, потребной перерабатывающей способности технических средств железнодорожных подъездных путей наиболее целесообразно использовать формулу (7), которая позволяет устанавливать необходимый уровень эксплуатационной надежности работы. Однако, при этом возникает проблема выбора наиболее рационального значения  $P$ , обеспечивающего, с одной стороны высокую эксплуатационную надежность в работе отдельных грузовых пунктов и подъездного пути в целом, с другой – минимальные приведенные эксплуатационные расходы, связанные с обеспечением требуемой перерабатывающей способности подъездного пути и его работой в этих эксплуатационных условиях. Особую актуальность эта задача приобретает при проектировании новых грузовых пунктов или реконструкции существующих технических средств в случае изменения перспективных объемов работы. Решение данной проблемы возможно только с применением современного математического аппарата и методов имитационного моделирования на ЭВМ.

#### Список литературы

1. Мілецька І.М. Дослідження показників вантажної роботи на місцях незагального користування в умовах підприємства Д // Сборник научных трудов УкрГАЖТ, Харьков: УкрГАЖТ, 2010. – Вып. 118, – с.220-225.
2. Угрюмов А.К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
3. Сотников Е.А., Шенфельд К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков //Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – №5. – с. 3-9.
4. Вернигора Р.В., Березовый Н.И. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/3 (56). – с. 62-66.
5. Грунтов, П.С. Исследование влияния неравномерности движения по технологии сортировочных станций: автореф. дис. канд. техн. наук. Гомель: БелиИЖТ, 1965, – 24 с.

6. Правдин Н.В., Дыкандюк М.Л., Негрей В.Я. Прогнозирование грузовых потоков. М.: Транспорт, 1987. – 247 с.

7. Бодюл, В.И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности грузовых перевозок на железных дорогах: дисс... докт. техн. наук. – М.: МИИТ, 2006. – 318 с.

8. Шапкин И.Н., Юсипов Р.А., Кожанов Е.М. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах. Методы, алгоритмы, технологии расчета. М.: МИИТ, 2006. – 265 с.

9. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч.1. К.: Видавничий дім „САМ”. – 2004. – 432с.

10. Порядок разработки и определения технологических сроков оборота вагонов, а также технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов // Утв. Приказом МПС России №67от 29.09.2003 г.

11. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-Трейдинг, 2004, – 304 с.

12. Шторм Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

Получено 12.04.2012

**R. Vernigora, N. Berezovy, V. Malashkin.** Determination of the rated volumes for the railway transport's work on industrial plants.

Article is devoted to a problem of determination of the rated volumes for the railway transport's work on industrial plants. Analysis of the existing methods of the calculation is executed. The results of the studies for railway transport of the large Ukrainian seaport are broughted.