

УДК 656.225.073

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, А. И. ВЕРЛАН^{2*}, А. В. ГОРБОВА^{3*}

^{1*}Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}ООО с ИИ «Трансінвестсервіс», ул. Чапаева, 50, с. Визирка, Одесская обл., Украина, 67543, тел. +38 (0482) 30 07 24, эл. почта averlan@tis.ua, ORCID 0000-0001-7855-8942

^{3*}Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 90 59, эл. почта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ОБЪЕМОВ РАБОТ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Цель. Статья направлена на совершенствование методов оценки неравномерности грузовых перевозок и определения расчетных объемов работ для железнодорожных станций и подъездных путей промышленных предприятий. **Методика.** В качестве методов исследования для оценки расчетных объемов грузопотоков и грузенных вагонопотоков использованы методы математической статистики, в частности, методы анализа временных рядов; для оценки расчетных объемов порожних вагонопотоков применялись методы математического моделирования. **Результаты.** Расчетные объемы работы магистральных и промышленных железнодорожных станций определяются с учетом месячной и суточной неравномерности. Месячную неравномерность предлагается оценивать по отношению к тренду показателя за последние 3–5 лет, построенного с использованием метода взвешенной скользящей средней. В качестве расчетного периода для оценки суточной неравномерности предлагается использовать 30-ти дневный период в предыдущем году с наибольшим суммарным объемом работ. Размеры расчетных порожних вагонопотоков предлагается определять на основании грузенных вагонопотоков с матрицей вероятности использования вагонов под сдвоенные операции. Выполнена проверка предлагаемого метода путем расчета объемов работ для 2014 года по данным предшествующих временных периодов. Результаты проверки показали, что предлагаемый метод, по сравнению с традиционным, обеспечивает более высокую устойчивость результатов при изменении временных периодов, используемых для анализа, а также более точную оценку расчетных объемов работы. **Научная новизна.** Авторами усовершенствованы методы определения расчетных объемов работы для железнодорожных станций за счет использования методов анализа временных рядов. **Практическая значимость.** Предложенная методика позволяет более точно оценить перспективные объемы работы и, за счет этого, снизить величину капитальных расходов, связанных с развитием станций, и эксплуатационных расходов, связанных с их функционированием. Методика также может быть использована при совершенствовании нормативных и методических документов, регламентирующих проектирование и разработку технологических процессов работы магистральных и промышленных железнодорожных станций.

Ключевые слова: железнодорожная станция; неравномерность перевозок; временные ряды; проектирование железнодорожных станций; технологический процесс

Введение

Под воздействием разнообразных факторов в социальной и экономической сфере страны с течением времени происходят изменения направлений, характера и объемов грузопотоков, что отражается на объемах работы магистральных железнодорожных станций и подъездных путей промышленных предприятий. В этой связи возникает необходимость проверки соответ-

ствия технического оснащения железнодорожных станций существующим и прогнозным объемам работы. Для выполнения этой процедуры используются различные методы аналитического, графического, графоаналитического, имитационного моделирования [4, 16]. Необходимым этапом такой проверки является определение расчетных объемов работ. Учитывая, что на условия работы станций влияет значительное число случайных факторов, то их тех-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ническое оснащение должно иметь резервы мощности для погашения пиковых нагрузок, возникающих из-за неравномерности перевозок.

Процедура определения загрузки основных элементов станций является элементом разработки их технологических процессов. В [9] указано, что данная проверка выполняется на предусмотренные в графике движения размеры перевозок. При этом размеры движения поездов в последнем устанавливаются путем умножения среднесуточного числа грузовых поездов по плану на коэффициент неравномерности и прибавления к полученному произведению планового числа хозяйственных и пассажирских поездов.

В [15] потребную пропускную способность при построении графиков движения поездов предлагается определять по формуле

$$N_{\Pi} = N_{\text{гр}} k_{\text{н}} + N_{\text{сьема}} + N_{\text{гр}}^{\text{рез}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{гр}}$ – среднесуточное за год число грузовых поездов; $k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий необходимый резерв для обеспечения сезонных размеров движения; $N_{\text{сьема}}$ – дополнительная пропускная способность, необходимая для пропуска пассажирских, сборных, ускоренных грузовых поездов; $N_{\text{гр}}^{\text{рез}}$ – резерв потребной пропускной способности, учитывающий суточные колебания размеров движения грузовых поездов.

Величина данного резерва определяется по формуле

$$N_{\text{гр}}^{\text{рез}} = \frac{z\sigma}{m}, \quad (2)$$

где z – коэффициент, учитывающий число средних квадратических отклонений; σ – среднее квадратическое отклонение грузового вагонного потока от его среднесуточных за год размеров, ваг; m – состав поезда.

При выполнении проектных работ в соответствии с [10] потребная пропускная и перерабатывающая способность станций должна устанавливаться по размерам пассажиро- и грузооборота, определяемым на основании экономических изысканий с учетом неравномерности перевозок по месяцам, а также с учетом коэф-

фициента, учитывающего технологические перерывы и необходимый резерв для обеспечения внутрисуточных колебаний размеров движения поездов.

Учет неравномерности перевозок при проектировании железнодорожных станций выполняется с помощью коэффициентов неравномерности.

В [10] указано, что показателем неравномерности перевозок является коэффициент внутригодовой неравномерности, который определяется по формуле

$$\gamma = \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{н}}$ – наибольший месячный грузопоток, тыс. т; $M_{\text{ср}}$ – среднемесячный грузопоток, тыс. т.

В соответствии с [12] пропускная и провозная способность промышленного транспорта и его стационарных объектов, определяемых на расчетный срок, должна соответствовать расчетному объему перевозок (с учетом их неравномерности по месяцам, а при необходимости – и сезонности) и иметь резерв не менее 15 %. При проектировании промышленного транспорта, непосредственно обеспечивающего функционирование технологических процессов, не допускающих остановки или длительного перерыва, резерв мощности транспортных сооружений допускается принимать до 100 %.

При проектировании подъездных путей электростанций в соответствии с [7] путевое развитие железнодорожных станций должно соответствовать проектной мощности электростанции с учетом коэффициента неравномерности 1,2.

В [8] приведено выражение для определения коэффициента неравномерности немаршрутизированных вагонопотоков по прибытию

$$K_{\text{н}} = 1 + \frac{2(N_{\text{макс}} - N_{\text{мин}})}{3(N_{\text{макс}} + N_{\text{мин}})}, \quad (4)$$

где $N_{\text{макс}}$ – максимальный размер суточной выгрузки за год, вагонов в сутки; $N_{\text{мин}}$ – среднесуточная выгрузка для месяца, в котором она была минимальной, вагонов в сутки.

Коэффициенты неравномерности также используются при проектировании различных

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

транспортных зданий и сооружений.

При проектировании грузовых складов и фронтов погрузочно-выгрузочных работ в [10] рекомендуется устанавливать коэффициенты неравномерности для промежуточных станций в зависимости от суточного вагонооборота 1,2–1,7, а для более крупных станций – 1,1–1,2.

Проектирование зданий пассажирских вокзалов предполагает использование коэффициента неравномерности, учитывающего отношение среднесуточного потока отправления пассажиров за пиковый период к среднесуточному потоку отправления за год [11]. В частности для речных вокзалов коэффициент неравномерности отправления пассажиров определяется как

$$K_1 = K_M K_{\text{сут}}, \quad (5)$$

где K_M – коэффициент месячной неравномерности за летний период (июнь–август); $K_{\text{сут}}$ – коэффициент суточной неравномерности в месяц максимального пассажиропотока, равный отношению среднего количества отправляемых пассажиров за 5–10 суток наибольшего пассажиропотока к среднесуточному отправлению за данный месяц.

Для морских вокзалов коэффициент неравномерности отправления пассажиров определяется как отношение наибольшего месячного отправления к среднему за период навигации.

Таким образом, в нормативной литературе коэффициент неравномерности рассматривается как отношение значения показателя в пиковый период к среднему значению этого показателя. Данный показатель определяется на основании предшествующего периода, либо принимается в соответствии с нормативной литературой.

Основными нормативными документами, регламентирующими оценку неравномерности в грузовом движении являются [8, 10, 12].

Анализ выражения (4) показывает, что его предельное значение не может превышать 1,67, что не соответствует оценке фактических коэффициентов неравномерности поступления вагонов на подъездные пути промышленных предприятий.

Использование выражения (3) связано с рядом проблем.

Во-первых, ввиду того, что количество дней в разных месяцах отличается, то, даже при одинаковых суточных объемах прибытия вагонов, выражение (4) дает коэффициент неравномерности 0,02. Для оценки влияния этой погрешности использованы данные о помесечном прибытии грузов на станцию Химическая ООО «ТИС» в период с 2001 по 2014 гг. Динамика объемов прибытия грузов представлена на рис. 1.

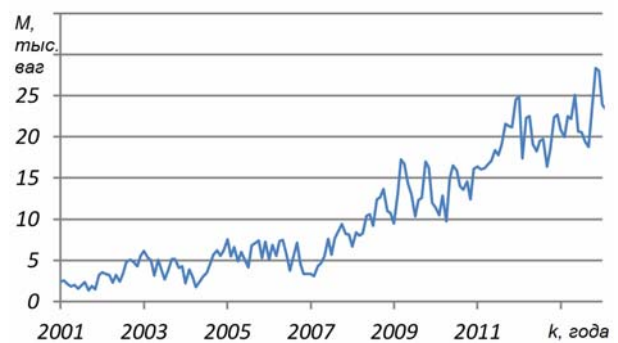


Рис. 1. Динамика прибытия вагонов на подъездной путь ТИС

Fig. 1. The dynamics of cars arrival on driveway of TIS

В ходе сравнения внутригодовая неравномерность определялась по выражению (3), а также по выражению

$$\gamma = \frac{n_r M_n}{n_n M_r}, \quad (6)$$

где n_n , n_r – количество дней в месяц максимальных перевозок и общее количество дней в году соответственно; M_r – годовой объем перевозок.

Сравнение результатов расчета неравномерности по формулам (3) и (6) показывает, что абсолютная величина погрешности для большинства годов составляет 0,02–0,03, однако в 2010 году погрешность составляла 0,06, а в 2001 достигала 0,1.

Во-вторых, как правило, выполнение технико-экономических расчетов по изменению технологии и технического оснащения станций производится после периода роста объемов перевозок. Пример такого процесса изображен на рис. 1. В этих условиях рост (так же как и уменьшение) объемов перевозок выражением (3) интерпретируется как неравномерность, что

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

приводит к завышению внутригодовой неравномерности.

В-третьих, величина размаха объемов перевозок не имеет прямой зависимости от самого значения этого объема. На рис. 2 представлено поле точек, характеризующее связь между коэффициентом внутригодовой неравномерности, рассчитанным по формуле (3), и годовым объемом перевозок.

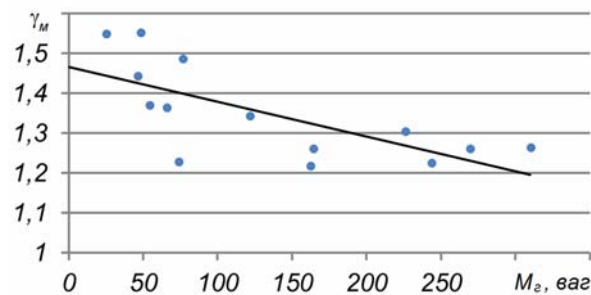


Рис. 2. Связь между коэффициентом внутригодовой неравномерности и годовым объемом перевозок

Fig. 2. The relationship between the coefficient of inter-annual irregularity and the annual volume of transportations

Анализ рис. 2 показывает, что между коэффициентом внутригодовой неравномерности и объемом перевозок существует обратная зависимость, при этом для условий «ТИС» сила связи оценивается как заметная.

В-четвертых, анализ неравномерности перевозок осуществляется на основании годового объема перевозок. При этом, значение коэффициента неравномерности по разным годам существенно отличается. В частности для условий «ТИС» в 2004 году коэффициент неравномерности составлял 1,56, а в 2010 – 1,22. Порядок оценки неравномерности перевозок на основании данных более длительных периодов, чем год в нормативных документах не указан.

В-пятых, на работу магистральных и промышленных железнодорожных станций существенное влияние оказывает суточная неравномерность перевозок. Анализ суточных объемов прибытия вагонов на станцию Химическая показывает, что в период с 2011 по 2014 год наблюдалось превышения среднегодовых объемов работы в 1,83 раза.

Анализ научных работ по проблеме неравномерности перевозок показывает, что данная тема стала актуальной еще в XIX веке на на-

чальных этапах развитии науки об организации движения на железнодорожном транспорте.

Необходимо отметить, что до 50-х годов XX века основное внимание ученых уделялось сезонным колебаниям объемов работы железных дорог, в то же время суточные колебания объемов работы относилось на несовершенство оперативного планирования и управления работой железных дорог. После 50-х годов началось активное исследование неравномерности грузовых перевозок с применением методов теории вероятностей и математической статистики. В частности необходимо отметить работы [1–3,14], в которых комплексно рассмотрены проблемы оценки неравномерности движения на железнодорожном транспорте. Так, в [14] на основании значительного числа наблюдений установлены устойчивость суточных колебаний вагонопотоков, а также соответствие этих отклонений нормальному закону распределения. В [3] выполнено развитие вероятностных методов оценки неравномерности транспортных процессов на железнодорожном транспорте. В частности предложено устанавливать доверительную вероятность для расчетных объемов из такого условия, что в течение года только один показатель выйдет за допустимые пределы. В [1] выделена внутригодовая (месячная), внутримесячная, суточная и внутрисуточная неравномерность грузовых перевозок и описаны причины возникновения разных видов неравномерности и исследована внутрисуточная неравномерность железнодорожных перевозок. В [2] выполнена оценка месячной и суточной неравномерности железнодорожных станций Украины. В настоящее время развиваются методы прогнозирования железнодорожных перевозок, основанные на использовании нейронных сетей [13, 17]. Проблемы анализа временных рядов детально исследуются в области экономики. В частности в [6] представлены методы выделения трендов временных рядов, анализа сезонных колебаний и др.

Однако проблема оценки неравномерности движения и определения расчетных объемов работы магистральных и промышленных железнодорожных станций до конца не решена и требует выполнения дополнительных исследований.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Цель

Целью данной работы является совершенствование методов оценки неравномерности грузовых перевозок и определения расчетных объемов работ для железнодорожных станций и подъездных путей промышленных предприятий на основании методов анализа временных рядов. Предлагаемая методика ориентирована для использования при анализе работы действующих железнодорожных станций.

Методика

Для определения расчетных объемов работы преимущественно используются экстраполяционные методы, когда параметры процессов, происходящих в прошлом, определенным образом распространяются на будущее и методы математического моделирования, когда значения расчетных параметров устанавливаются на основании знания функциональных зависимостей между исходными данными. В статье в качестве методов исследования для оценки расчетных объемов грузопотоков и груженых вагонопотоков использованы экстраполяционные методы, в частности методы анализа временных рядов, а для оценки расчетных объемов порожних вагонопотоков использованы методы математического моделирования.

Плановые годовые объемы работы, как правило, определяются внешними по отношению к железнодорожным станциям факторами, такими как планы развития предприятий, обслуживаемых этими станциями, планы перевозок на направлении и т.п. В этой связи годовые объемы работы в данном исследовании M_t , являются исходными данными для дальнейшего расчета. При этом также должны быть заданы плановые изменения структуры грузо- или вагонопотоков по основным и прочим видам грузов.

Дополнительные данные для расчета получают в результате обследования соответствующей железнодорожной станции [5]. На этапе сбора информации о функционировании станции производится выборка данных из форм первичной учетной документации и оперативно-статистической отчетности. Необходимо отметить, что этап определения расчетных объемов работ железнодорожных станций, как правило, ограничен во времени и не является

отдельным исследованием. При этом информация в формах учета и отчетности представлена в бумажном виде, разрознена по различным источникам и подвергается первичному обобщению. Опыт выполнения научно-исследовательских работ показывает, что наиболее эффективным источником данных для оценки неравномерности перевозок являются данные из электронного архива АСК ГП УЗ или автоматизированных систем управления работой железнодорожного транспорта промышленных предприятий. При возможности получения таких данных информация из бумажных носителей используется на начальном этапе для формирования задач по анализу данных электронного архива и на завершающем этапе для контроля результатов. Для получения объективной оценки месячных изменений показателей перевозок желательнее выполнить выборку помесечных данных о динамике показателей за предшествующие 5-10 лет. В случае отсутствия таких данных для анализа могут использоваться данные за последние 2-3 года, которые необходимо дополнять расширенным экспертным анализом. Для оценки суточной неравномерности перевозок целесообразно выполнить анализ посуточных объемов грузо- или вагонопотоков за последние 2–3 года.

Необходимо отметить, что плановые годовые объемы работы для станций носят весьма условный характер. В этой связи определение пиковых нагрузок на железнодорожные станции осуществляется по сравнению со средними объемами работы за определенный расчетный период. Железнодорожная станция и подходы к ней представляют собой систему массового обслуживания (СМО) с ожиданием. Поэтому статистических данных об объемах работы станции не достаточно для того, чтобы точно интерпретировать развитие событий и объяснить, почему максимальные объемы перевозок приняли определенное значение. Это может быть как результатом отсутствия потребности в большем объеме перевозок, так и достигнутым объемами работы максимума пропускной и перерабатывающей способности станции, что вызывает простои вагонов на подходах к ней. Также необходимо учитывать, что при приближении объемов работы к максимальным значениям, как правило, усложняется диспетчерское управление перевозками. При перегрузке стан-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

цій обычно підприємляються спеціальні заходи, направлені на зниження нерівномірності перевозок. Аналіз статистических даних також показує, що всплески показателів прибуття і отправлення грузів на станції достаточнo часто набувають після періодів с низкими об'ємами роботи. Це зв'язано с наявністю вільних шляхів і складських емкостей по прибуттю, а також грузів на складах по отправлению.

Для того, щоб урахувати місячні змінення і суточні коливання показателів роботи їх рахункові об'єми пропонується визначати по формулі

$$M_{\text{пр}} = \overline{M_{\text{р},i}} \gamma_{\text{м}} \gamma_{\text{с}}, \quad (7)$$

де $\overline{M_{\text{р},i}}$ – прогнозные средние суточные объемы работы в течение i -го місяця; $\gamma_{\text{м}}$, $\gamma_{\text{с}}$ – рахункові коефіцієнти місячної і суточної нерівномірності відповідно.

В випадку, якщо по досягненню рахункового року планується стабілізація об'ємів перевозок, то

$$\overline{M_{\text{р},i}} = \frac{M_{\text{р}}}{12}. \quad (8)$$

Інакше, якщо після досягнення рахункового року об'єми роботи будуть змінюватися, то для оцінки рахункових грузо- или вагонопотоков повинен бути задан тренд, характеризуючий ці змінення.

Місячну нерівномірність об'ємів роботи станцій викликають різні причини. В наші часи ці причини в основному несуть економічний характер і зв'язані с кон'юнктурою ринку перевозок і перевезеними грузами. Також місячну нерівномірність викликають сезонність виробництва і споживання продукції, вплив погодних умов, обмеження пропускної спроможності підходів к залізничній станції в зв'язі с зростанням об'ємів пасажирських перевозок в певні місяці і др. Оцінка цих коливань виконується шляхом порівняння фактичних об'ємів перевозок в певний місяць з порівнянням з значенням, отриманим на основі тренда показателя з допомогою коефіцієнта місячної нерівномірності.

С цією метою в ході аналізу часових ря-

дів на основі вивчення місячних даних визначаються тренди показателів роботи станцій. При розв'язанні даної задачі для кожного місяця необхідно визначити середньодобовий об'єм роботи, доповнити дані прогнозом на 6 місяців і виконати згладжування отриманої послідовності шляхом вирахування взвешеної скользящей середньої ${}_{12}W_x$ с ${}_{13}W_j = (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1)$. В результаті буде отримана послідовність $S_{\text{сн},ij}$, описуюча тренд відповідного показателя.

Коефіцієнт місячної нерівномірності для окремого місяця визначається по формулі

$$\gamma_{\text{м},i,j} = \frac{S_{\text{н},ij}}{S_{\text{сн},ij}}, \quad (9)$$

де $S_{\text{н},ij}$, $S_{\text{сн},ij}$ – фактические среднесуточные объемы работы в i -й місяць j -го року і середньодобові об'єми работ в цей же період відповідно, рахункові по результатам згладжування; k – кількість років, використовуваних для аналізу місячної нерівномірності.

Величина місячної нерівномірності для окремого року визначається як

$$\gamma_{\text{м},j} = 12 \frac{\max(\gamma_{i,j})}{\sum \gamma_{i,j}}, \quad i = 1..12. \quad (10)$$

Рахунковий коефіцієнт місячної нерівномірності визначається в результаті згладжування послідовності встановлених нерівномірностей для окремих років з допомогою взвешеної скользящей середньої ${}_k W_s$ с вагами ${}_k W_j = \{k, k-1, \dots, 1\}$.

Оцінка впливу середніх об'ємів роботи на величину коефіцієнта місячної нерівномірності потребує додаткових досліджень. Відповідний аналіз цілеспрямовано виконувати в випадку, якщо передбачаються значительні змінення об'єма роботи більш ніж в 1,5 рази.

Суточну нерівномірність викликають наступні причини: ймовірнісний процес пошкодження, неритмічність подачі поїздів, вагонів під погрузку, відмови технічних засобів, особливості режиму роботи підприємств, митних органів і др. Зглад-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

живание суточной неравномерности выполняется отчасти за счет резерва погрузо-разгрузочных и маневровых средств, отчасти за счет создания дополнительной путевой емкости для простоя на них поездов и вагонов в ожидании обслуживания. Величина суточной неравномерности может достигать значительных размеров, в результате чего объемы работы могут превышать средние годовые более чем в два раза. Создание соответствующих резервов мощностей является, как правило, экономически неоправданным.

В этой связи выполнен анализ условий работы магистральных и промышленных станций в отдельные сутки. В качестве примера в данной статье рассмотрено поступление вагонов на станцию Химическая в течение 2011–2014 годов. На рис. 3 представлено поле точек, характеризующее связь между коэффициентом месячной неравномерности – γ_M и величиной максимального превышения среднемесячных объемов прибытия вагонов в данный месяц – ΔD .

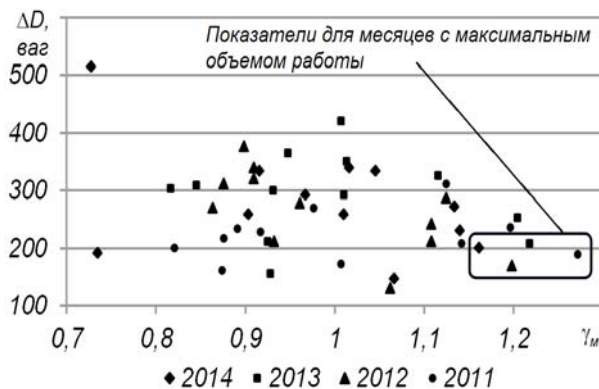


Рис. 3. Связь между коэффициентом месячной неравномерности и величиной максимального превышения среднемесячных объемов прибытия вагонов в данный месяц

Fig. 3. The relationship between the coefficient of monthly irregularity and the magnitude of maximum exceedances of the monthly average volume of cars arrival in a given month

Анализ рис. 3 показывает, что для месяцев с максимальным объемом работы существенная суточная неравномерность нехарактерна. В этой связи в качестве расчетного периода, по аналогии с речными вокзалами [11], целесообразно принять период из 30-ти суток в течении которого наблюдались наибольшие суммарные

объемы перевозок. Однако, если вокзалы можно рассматривать как СМО с отказами, то железнодорожные станции являются СМО с ожиданием. Поэтому при определении пиковой нагрузки, сглаживание выполнять не целесообразно и предлагается использовать непосредственно максимальные суточные объемы работы. Также для того, чтобы исключить условное деление временного ряда на месяцы количество рассматриваемых периодов предлагается установить по количеству дней в году со смещением при расчете на один день.

Коэффициент суточной неравномерности предлагается определять по формуле

$$\gamma_c = \frac{D_{\max}}{\bar{D}}, \quad (11)$$

где D_{\max} , \bar{D} – максимальные и средние объемы работы в течение расчетного 30-ти дневного периода соответственно.

Если значение коэффициента суточной неравномерности меньше 1,15 и на станции не предпринимались специальные мероприятия по обеспечению ритмичности подачи вагонов (обслуживание по расписанию), то это указывает на перегрузку технических средств станции в рассматриваемый период. В этом случае необходимо принять коэффициент суточной неравномерности равным 1,15.

Для определения расчетного коэффициента суточной неравномерности обычно используются данные последнего года. Остальные данные используются для контроля результатов. На рис. 4 представлен сглаженный ряд, характеризующий объемы перевозок за периоды в 30 суток в течение 2011–2012 годов. При этом длительным пиковым нагрузкам в ноябре 2011–январе 2012 года, октябре–декабре 2013 года, сентябре–октябре 2014 года соответствовал коэффициент суточной неравномерности 1,17–1,23. За более чем годичный период с февраля 2012 по апрель 2013 года станция Химическая не испытывала пиковых нагрузок. В этой связи коэффициенты суточной неравномерности, рассчитанные на основании данных этого периода, для определения расчетных объемов работы в условиях роста перевозок использовать нецелесообразно.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ



Рис. 4. Анализ суточной неравномерности поступления груженых вагонов на станцию Химическая

Fig. 4. Daily irregularity analysis of loaded cars arrival to the station Khimicheskaya

Результаты

Для проверки предлагаемой методики определены расчетные размеры прибытия груженых вагонов на станцию Химическая «ТИС» для 2014 года и выполнено их сравнение с фактическим поступлением вагонов. Для расчетов использовались данные за 2009–2011, 2010–2012 и 2011–2013 годы. Предполагалось, что в 2014 году будет сохранен рост объемов перевозок. Результаты анализа представлены в табл. 1. В процессе анализа сравнивались максимальные объемы поступления вагонов в отдельные месяцы D_{\max} с расчетными объемами $M_{\text{пр}}$, установленными с помощью предлагаемого метода (Метод I), на основании коэффициента неравномерности (3), когда в качестве пикового периода принимался месяц максимальных перевозок с учетом 15 % резерва на суточную неравномерность (Метод II), и на основании коэффициента неравномерности, когда в качестве пикового периода принимались сутки максимальных перевозок (Метод III). Также для каждого метода установлено количество превышений расчетных объемов работы в отдельные месяцы $n_{\text{пр}}$.

Таблица 1

Анализ методов определения расчетных объемов работы станций

Table 1

Determining methods analysis of the estimated volumes of stations activity

месяц	D_{\max}	Метод I		Метод II		Метод III	
		$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$	$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$	$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$
2011-2013							
1	1 109	1 150	0	1 191	0	1 326	0
2	979	1 164	0	1 191	0	1 326	0
3	1 181	1 178	1	1 191	0	1 326	0
4	1 103	1 192	0	1 191	0	1 326	0
5	818	1 206	0	1 191	0	1 326	0
6	1 135	1 220	0	1 191	0	1 326	0
7	1 122	1 234	0	1 191	0	1 326	0
8	1 227	1 248	0	1 191	3	1 326	0
9	1 283	1 262	1	1 191	4	1 326	0
10	1 252	1 276	0	1 191	3	1 326	0
11	1 203	1 290	0	1 191	1	1 326	0
12	1 137	1 304	0	1 191	0	1 326	0
2010-2012							
1	1 109	1 160	0	1 171	0	1 309	0
2	979	1 174	0	1 171	0	1 309	0
3	1 181	1 189	0	1 171	2	1 309	0
4	1 103	1 203	0	1 171	0	1 309	0
5	818	1 217	0	1 171	0	1 309	0
6	1 135	1 231	0	1 171	0	1 309	0
7	1 122	1 245	0	1 171	0	1 309	0
8	1 227	1 259	0	1 171	3	1 309	0
9	1 283	1 273	1	1 171	4	1 309	0
10	1 252	1 287	0	1 171	5	1 309	0
11	1 203	1 302	0	1 171	1	1 309	0
12	1 137	1 316	0	1 171	0	1 309	0
2009-2011							
1	1 109	1 175	0	1 244	0	1 380	0
2	979	1 190	0	1 244	0	1 380	0
3	1 181	1 204	0	1 244	0	1 380	0

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Окончание табл. 1

End of Table 1

месяц	D_{\max}	Метод I		Метод II		Метод III	
		$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$	$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$	$M_{\text{пр}}$	$n_{\text{пр}}$
2009-2011							
4	1 103	1 218	0	1 244	0	1 380	0
5	818	1 232	0	1 244	0	1 380	0
6	1 135	1 247	0	1 244	0	1 380	0
7	1 122	1 261	0	1 244	0	1 380	0
8	1 227	1 275	0	1 244	0	1 380	0
9	1 283	1 290	0	1 244	2	1 380	0
10	1 252	1 304	0	1 244	1	1 380	0
11	1 203	1 318	0	1 244	0	1 380	0
12	1 137	1 333	0	1 244	0	1 380	0

В результате анализа установлено, что предлагаемая методика позволяет получать достаточно близкие расчетные объемы при изменении временных рядов, используемых для расчета. Так, использование данных за 2009–2011, 2010–2012 и 2011–2013 годы привело к изменению расчетных объемов работы на 39 вагонов (4,5 %). Использование традиционных методик более существенно реагирует на изменение временных рядов. При этом разница в объемах работы достигает 73 и 71 вагонов соответственно при расчетах по Методу II и III.

При определении расчетных объемов прибытия вагонов по Методу I по данным 2011–2013 годов и 2010–2012 годов наблюдались отдельные превышения фактическими объемами работы расчетных, однако они носят локальный характер и следуют после периодов уменьшения объемов работы. При выполнении расчетов по данным 2009–2011 годов расчетные объемы работы превышали фактические для всех месяцев 2014 года. Это связано с ростом объемов перевозок в период с 2011 по 2014 года более чем в 1,5 раза.

В тех случаях, когда расчетные объемы работы определялись на основании коэффициентов месячной неравномерности с помощью Метода II наблюдается устойчивое занижение объемов работы. При этом, когда объемы работы устанавливались на основании данных 2012 года, то в 2014 году наблюдался период из

последовательных 48 дней, когда среднее прибытие вагонов на станцию превышало 90 % от расчетного.

При определении расчетных объемов работы на основании коэффициента суточной неравномерности с помощью Метода III расчетные объемы работы существенно превышают фактические. Так, когда расчет выполнялся на основании данных 2011 года, то даже для наиболее сложного месяца 2014 года (октября) превышение составляло 152 вагона над наибольшим фактическим суточным прибытием.

Размеры порожних вагонопотоков железнодорожных станций традиционно определяются на основании балансовых таблиц. Однако в последнее время в связи с ростом частного парка грузовых вагонов, а также с существенной разницей в их техническом состоянии резко возросли встречные вагонопотоки однотипных порожних вагонов. В этой связи для каждого вагона на основании отчетных данных устанавливается тип груза, с которым данный вагон прибывает на станцию и тип груза, с которым он отправляется со станции. По этим данным для каждого типа вагонов строится матрица. Строки данной матрицы соответствуют типам грузов по прибытию, а столбцы – по отправлению. Элементы матрицы r_{ij} соответствуют вероятности того, что прибывший вагон с i -м грузом будет отправлен с j -м грузом. На основании данной матрицы и плановых грузенных вагонопотоков определяются вагоны, которые используются для двояких операций. Остальные вагоны для обеспечения баланса порожних вагонов подаются на станцию, либо убираются с нее в порожнем виде.

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна работы состоит в совершенствовании методов определения расчетных объемов работы для железнодорожных станций за счет использования методов анализа временных рядов. Практическая значимость выполненных исследований состоит в том, что предлагаемая методика позволяет более точно оценить перспективные объемы работы и, за счет этого, снизить величину капитальных расходов, связанных с развитием станций, и эксплуатационных расходов, связанных с их функционированием.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При определении расчетных объемов работы железнодорожных станций, обслуживающих грузовое движение, необходимо учитывать месячную и суточную неравномерность грузо- и вагонопотоков.

2. Месячную неравномерность объемов работы железнодорожных станций целесообразно определять по отношению к тренду соответствующего показателя. Для построения тренда и сглаживания результатов оценки месячной неравномерности по годам предложено использовать метод скользящей средней. Разработанная методика, по сравнению с традиционной, позволяет при анализе учесть тенденции увеличения и уменьшения объемов перевозок, а также обеспечивает возможность использовать для оценки месячной неравномерности периоды более одного года.

3. Оценку суточной неравномерности объемов работы предлагается устанавливать на основании 30-ти суточного периода с максимальными объемами работы в году как отношение максимального объема работы за данный период к среднему.

4. Предложена методика определения расчетных объемов порожних вагонопотоков станций, которые устанавливаются на основании расчетных груженых вагонопотоков и матрицы вероятностей направления вагонов под сдвоенные операции. Такая методика позволяет статистически учесть пригодность вагонов под погрузку в соответствии с техническим состоянием и принадлежностью собственникам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бодюл, В. И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности перевозок на железных дорогах : дис. ... д-ра техн. наук : 05. 22. 08 / Бодюл Валерий Иванович ; ВНИИЖТ. – Москва, 2006. – 318 с.
- Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2012. – № 2/3 (56). – С. 62–67.
- Захаров, А. Г. Совершенствование планирования и анализа грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / А. Г. Захаров. – Москва : Транспорт, 1990. – 239 с.
- Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 22–28. doi: 10.15802/stp-2013/14540.
- Козаченко, Д. М. Організація передпроектного обстеження залізничних станцій та вузлів / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, О. В. Горбова // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Трансп. системи та технології перевезень». – Дніпропетровськ, 2014. – Вип 7. – С. 44–48.
- Лаврухін, О. В. Удосконалення оперативного планування роботи вантажної станції в умовах нечіткої вихідної інформації / О. В. Лаврухін, І. О. Левченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25 – С. 162–164.
- Мельник, М. Основы прикладной статистики : [пер. с англ.] / М. Мельник. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
- Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций ВНТП 81. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 46 с.
- Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч. 1. – Київ : САМ, 2004. – 432 с.
- Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції : ЦД-0081 : затв. наказом Укрзалізниці 22.12.09 р. № 715-Ц. – Київ : НВП Поліграфсервіс, 2010. – 230 с.
- Пособие к СНиП 2.05.07-85. Пособие по проектированию промышленных железнодорожных станций : утв. приказом Союзпромтрансниипроекта 14.10.86 р. № 200. – Москва : Стройиздат, 1986. – 254 с.
- Проектирование железнодорожных станций и узлов : справ. и метод. рук. / под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. – Москва : Транспорт, 1980. – 592 с.
- Рекомендации по проектированию вокзалов / Минстрой России, ЦНИИП градостроительства. – Москва : ГУП ЦПП, 1997. – 78 с.
- Скалозуб, В. В. О применении расширенного логистического отображения для анализа и прогнозирования параметров процессов железнодорожного транспорта / В. В. Скалозуб, И. В. Клименко // Економіка: реалії часу. – 2012. – № 3–4 (4–5). – С. 57–62.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

15. Угрюмов, А. К. Неравномерность движения поездов / А. К. Угрюмов. – Москва : Транспорт, 1968. – 112 с.
16. Ярошевич, В. П. Выбор системы мер увеличения пропускной и провозной способности железнодорожных линий : учеб. пособие / В. П. Ярошевич, М. И. Шкурин. – Гомель : БелИИЖТ, 1989. – 66 с.
17. Bobrovskiy, V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, R. Vernigora // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9. – Iss. 3. – P. 57–65.
18. Hybrid Temporal-Spatio Forecasting Approach for Passenger Flow Status in Chinese High-Speed Railway Transport Hub / X. Zhengyu, J. Limin, Q. Yong, W. Li // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–7. doi:10.1155/2013/239039.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, А. І. ВЕРЛАН^{2*}, О. В. ГОРБОВА^{3*}

^{1*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}ТОВ з П «Трансінвестсервіс», вул. Чапаєва, 50, с. Визірка, Одеська обл., Україна, 67543, тел. + 38 (0482) 30 07 24, ел. пошта averlan@tis.ua, ORCID 0000-0001-7855-8942

^{3*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 90 59, ел. пошта alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ОБСЯГІВ РОБОТИ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Мета. Стаття спрямована на вдосконалення методів оцінки нерівномірності вантажних перевезень і визначення розрахункових обсягів робіт для залізничних станцій та під'їзних шляхів промислових підприємств. **Методика.** В якості методів дослідження для оцінки розрахункових обсягів роботи вантажопотоків і завантажених вагонопотоків використані методи математичної статистики, зокрема, методи аналізу часових рядів; для оцінки розрахункових обсягів порожніх вагонопотоків задіяно методи математичного моделювання. **Результати.** Розрахункові обсяги роботи магістральних і промислових залізничних станцій визначаються з урахуванням місячної та добової нерівномірності. Місячну нерівномірність пропонується оцінювати по відношенню до тренду показника за останні 3–5 років, побудованого з використанням методу зваженої ковзної середньої. В якості розрахункового періоду для оцінки добової нерівномірності пропонується використовувати 30-ти денний період у попередньому році з найбільшим сумарним обсягом робіт. Розміри розрахункових порожніх вагонопотоків пропонується визначати на підставі завантажених вагонопотоків із матрицею ймовірності використання вагонів під здвоєні операції. Виконано перевірку запропонованого методу шляхом розрахунку обсягів робіт для 2014 року за даними попередніх тимчасових періодів. Результати перевірки показали, що запропонований метод, у порівнянні з традиційним, забезпечує більш високу стійкість результатів при зміні часових періодів, що використовуються для аналізу, а також більш точну оцінку розрахункових обсягів роботи. **Наукова новизна.** Авторами удосконалено методи визначення розрахункових обсягів роботи для залізничних станцій за рахунок використання методів аналізу часових рядів. **Практична значимість.** Запропонована методика дозволяє більш точно оцінити перспективні обсяги роботи і, за рахунок цього, знизити величину капітальних витрат, пов'язаних із розвитком станцій, та експлуатаційних витрат, пов'язаних із їх функціонуванням. Методика також може бути використана при вдосконаленні нормативних і методичних документів, що регламентують проектування та розробку технологічних процесів роботи магістральних і промислових залізничних станцій.

Ключові слова: залізнична станція; нерівномірність перевезень; часові ряди; проектування залізничних станцій; технологічний процес

D. M. KOZACHENKO^{1*}, A. I. VERLAN^{2*}, O. V. HORBOVA^{3*}

^{1*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}LLC with FI «Transinvestservis», Chapaiev St., 50, v. Vyzirka, Odesa region, Ukraine, 67543, tel. + 38 (0482) 30 07 24, e-mail averlan@tis.ua, ORCID 0000-0001-7855-8942

^{3*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 90 59, e-mail alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

CALCULATED VOLUMES DETERMINATION OF WORK FOR MAIN-LINE AND INDUSTRIAL RAILWAY STATIONS

Purpose. This article aims to improve the evaluation of irregularity of freight transport and calculated volumes determination of work for railway stations and sidings of industrial enterprises. **Methodology.** The methods of mathematical statistics are used as research methods for estimation of calculated volumes of traffic and loaded traffic, in particular, the methods of time series analysis; the methods of mathematical modeling are used to evaluate the calculated volumes of empty traffic. **Findings.** Calculated volumes of the main-line and industrial railway stations activity are determined according to the monthly and daily irregularity. Monthly irregularity is proposed to evaluate against the trend of the indicator over the last 3-5 years, constructed using the method of weighted moving average. The 30-day period in the previous year with the largest total amount of work is proposed to use as the calculation period for the assessment of daily irregularity. The computation size of empty traffic volumes is proposed to be determined on the basis of loaded traffic volumes with the probability matrix of cars usage for dual operations. The proposed method is verified by the work volume calculation for the year 2014 according to previous time periods. The test results showed that the proposed method as compared with traditional one provides higher stability of the results when changing time periods, used for analysis, as well as a more accurate assessment of the calculated volumes of work. **Originality.** Authors have improved determination methods for the calculated volumes of work to railway stations through the using time series analysis methods. **Practical value.** The proposed methodology allows assessing more accurately the prospective volumes of work and, through this, reduce the amount of capital expenditures associated with the development of stations and operating costs associated with their operation. The method can be used to improve the governing and methodological documents regulating the design and development of technological processes of the main-line and industrial railway stations.

Keywords: railway station; irregularity of transportation; time-series; design of railway stations; technological process

REFERENCE

1. Bodyul V.I. *Povysheniye ritmichnosti i effektivnosti transportnogo proizvodstva na osnove snizheniya vnutrisutochnoy neravnomernosti perevozok na zheleznykh dorogakh. Dokt. Diss.* [Increasing the efficiency and balance of transport production on the basis of reduction in daily irregularity of traffic on the railways. Doc. Diss.]. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut zheleznodorozhnogo transporta Publ., 2006. 318 p.
2. Vernigora R.V., Berezovyy N.I. Analiz neravnomernosti gruzovykh perevozok na magistralnom i promyshlennom zheleznodorozhnom transporte [Analysis of irregularity of freight transport on main line and industrial railway transport]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy—Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2012, no. 2/3 (56), pp. 62-67.
3. Zakharov A.G. *Sovershenstvovaniye planirovaniya i analiza gruzovykh perevozok na zheleznodorozhnom transporte* [Improving of planning and analysis of freight transportation in railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1990. 239 p.
4. Kozachenko D.N. Matematicheskaya model dlya otsenki tekhniko-tekhnologicheskikh pokazateley raboty zheleznodorozhnykh stantsiy [Mathematical model for estimating of technical and technological indicators of railway stations operation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 3 (45), pp. 22-28. doi: 10.15802/stp2013/14540.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Kozachenko D.M., Vernyhora R.V., Horbova O.V. Orhanizatsiia peredproektnoho obstezhennia zaliznychnykh stantsii ta vuzliv [Organization of pre-project survey of railway stations and junctions]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Transportni systemy ta tekhnologii perevezenn»* [Proc. of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport systems and transport technologies»], 2014, no. 7, pp. 44-48.
6. Lavrukhin O.V., Levchenko I.O. Udoshkonalennia operatyvnoho planuvannia roboty vantazhnoi stantsii v umovakh nechitkoi vykhidnoi informatsii [Improving of operational planning of freight station in fuzzy initial information]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 162-164.
7. Melnik M. *Osnovy prikladnoy statistiki* [Fundamentals of applied statistics]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 416 p.
8. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya teplovykh elektricheskikh stantsiy VNTP 81* [Norms of technological design of thermal power stations VNTP 81]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 46 p.
9. *Pravyly perevezenn vantazhiv zaliznychnym transportom Ukrainy. Ch. 1* [The rules of cargo transportation by railway transport of Ukraine. Part 1]. Kyiv, SAM Publ., 2004. 432 p.
10. *Praktychni rekomendatsii shchodo skladannia tekhnolohichnoho protsesu roboty sortovalnoi stantsii. TsD-0081* [Practical guidelines for the process of marshalling yard. CSD-0081]. Kyiv, NVP Polihrafservis Publ., 2010. 230 p.
11. *Posobiye k SNIp 2.05.07-85. Posobiye po proektirovaniyu promyshlennykh zheleznodorozhnykh stantsiy* [Manual to SNIp 2.05.07-85. Manual for design of industrial railway stations]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 254 p.
12. Kozlova A.M., Guseva K.G. *Proektirovaniye zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov* [The design of railway stations and junctions]. Moscow, Transport Publ., 1980. 592 p.
13. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu vokzalov* [Recommendations for the design of railway stations]. Moscow, State Unitary Enterprise Center of Project Construction Publ., 1997. 78 p.
14. Skalozub V.V., Klimentko I.V. O primenenii rasshirenogo logisticheskogo otobrazheniya dlya analiza i prognozirovaniya parametrov protsesov zheleznodorozhnogo transporta [About the application of the extended logistic map for analysis and prediction the process parameters of railway transport]. *Ekonomika: realii chasu – Economy: Realities of Time*, 2012, no. 3-4 (4-5), pp. 57-62.
15. Ugryumov A.K. *Neravnomernost dvizheniya poyezdov* [Irregularity of trains]. Moscow, Transport Publ., 1968. 112 p.
16. Yaroshevich V.P., Shkurin M.I. *Vybor sistemy mer uvelicheniya propusknoy i provoznoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy* [The choice of a system of measures to increase capacity and carrying capacity of railway lines]. Homel, Belarusian Institute of Railway Engineers Publ., 1989. 66 p.
17. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Vernigora R. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport Problems*, 2014, vol. 9, issue 3, pp. 57-65.
18. Zhengyu X., Limin J., Yong Q., Li W. Hybrid Temporal-Spatio Forecasting Approach for Passenger Flow Status in Chinese High-Speed Railway Transport Hub. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013, vol. 2013, pp. 1–7. doi:10.1155/2013/239039.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. В. Лаврухиным (Украина); д.т.н., проф. Б. Е. Боднарем (Украина)

Поступила в редколлегию 20.02.2015

Принята к печати 16.05.2015