

УДК 656.225.073

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

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ОБЪЕМОВ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВАГОНПОТОКОВ

Цель. Статья направлена на совершенствование методов оценки соответствия технического оснащения железнодорожных станций прогнозным объемам работы путем учета изменений структуры вагонопотоков и технологии их обработки во времени. **Методика.** В качестве методов исследования использованы методы математической статистики, в частности методы анализа временных рядов и методы математического моделирования. **Результаты.** В результате исследования установлено, что для станций, перерабатывающих неоднородные вагонопотоки, а также для станций с сезонно-изменяющейся технологией в течение года может быть несколько расчетных периодов, требующих проверки соответствия технического оснащения объемам работы. На основании методов анализа временных рядов и методов математического моделирования разработан метод поиска характерных периодов работе станции, требующих проверки с помощью функциональных моделей. **Научная новизна.** Научная новизна работы состоит в совершенствовании методов оценки расчетных объемов работы железнодорожных станций, которые, в отличие от существующих учитывают наличие пиковых нагрузок на разные подсистемы станции в различные периоды времени. **Практическая значимость.** Практическая значимость выполненных исследований состоит в том, что предлагаемая методика позволяет повысить качество оценки соответствия технического оснащения и технологии железнодорожных станций их перспективным объемам работы.

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

Введение

Железнодорожные станции являются одним из основных элементов железнодорожной сети. Эффективность их работы напрямую влияет на себестоимость перевозок грузов. В этой связи вопросы повышения эффективности их эксплуатации является актуальной задачей для железнодорожного транспорта Украины.

Современный этап развития экономики Украины характеризуется динамичным изменением характера и направлений вагонопотоков. В этой связи достаточно острыми как для магистрального, так и для промышленного транспорта являются проблемы соответствия технического оснащения железнодорожных станций объемам их работы.

Проверка соответствия технического оснащения и технологии железнодорожной станции перспективным объемам работы является обязательным элементом разработки ее технологического процесса. В соответствии с действующими нормативными документами [10] оценка

технично-эксплуатационных показателей работы железнодорожных станций выполняется на основании построения графической модели в виде плана графика. Ввиду рутинности процедуры построения плана графика выполняется, как правило, на одни сутки в соответствии с расчетными объемами работы. С середины 20-го века при проведении научных исследований для оценки технико-эксплуатационных показателей работы станций начал использоваться метод имитационного моделирования их функционирования на ЭВМ [9]. К сегодняшнему дню указанные модели нашли свою практическую реализацию в виде разнообразных программных комплексов [1, 11, 15]. Указанные комплексы позволяют выполнять моделирование длительных периодов работы железнодорожных станций. Недостаток этого подхода связан с тем, что показатели функционирования реальных станций существенно зависят от очередности обработки поездов и вагонов. Выбор этой очередности осуществляет оперативно-диспетчерский персонал. Решение задачи авто-

матического моделирования функционирования станций близко к решению задачи автоматического управления их работой [8], однако последняя задача окончательно не решена. Решение проблемы может достигаться за счет применения эргатических или графоаналитических методов [2, 5, 7, 14] обеспечивающих построение модели функционирования станции в автоматизированном режиме. Однако, участие человека, в процессе построения модели и проведение им анализа не только общих показателей работы станции, но и протекания ее технологических процессов резко уменьшает продолжительность моделируемого периода. В этих условиях актуальной проблемой для железнодорожного транспорта является разработка методов определения таких расчетных объемов работы, что результаты моделирования функционирования станций в течение ограниченных периодов времени позволяли бы сделать обоснованный вывод о соответствии их технического оснащения и технологии перспективным объемам работы в условиях неравномерности перевозок.

В соответствии с действующей методикой [9] построение суточных планов-графиков 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. Исследования неравномерности железнодорожных перевозок выполнены в [3, 4, 12, 13]. Методика определения месячной и суточной неравномерности перевозок представлена в [6]. Однако анализ заботы станций магистральной железнодорожной сети, а также промышленных станций ООО «Трансинвестсервис», Арселор Миттал Кривой Рог, Азовсталь и др. показал, что с течением времени изменяется не только величина прибывающих и отправляемых вагонопотоков, но и их структура. Это вызывает разную нагрузку на отдельные элементы железнодорожной станции в разные моменты времени. При этом пиковые нагрузки на отдельные парки и устройства не совпадают с пиковыми нагрузками станции в целом. Дополнительной проблемой существующих методик является то, что в качестве критерия отбора расчетного периода и соответствующих ему объемов работы используется максимальный вагонопоток или поездопоток. Однако, при неоднородной структуре входящего потока и разной продолжительности

обслуживания отдельных типов поездов и вагонов наибольшая загрузка станции может наблюдаться и при не максимальных объемах работы. В этой связи методика оценки соответствия технического оснащения железнодорожных станций объемам ее работы требует совершенствования.

Цель

Целью данного исследования является совершенствование методов оценки соответствия технического оснащения железнодорожных станций прогнозным объемам работы путем учета изменений структуры вагонопотоков и технологии их обработки во времени.

Методика

Железнодорожная станция представляет собой сложную многоканальную многофазную систему массового обслуживания. В данном исследовании в качестве элементов железнодорожной станции рассматриваются отдельные парки путей, стрелочные горловины, маневровые средства, погрузо-разгрузочные комплексы. Внешней средой по отношению к станции является железнодорожная транспортная сеть, с которой происходит обмен вагонопотоками. Входящий поток станции образуют вагоны с внешней железнодорожной сети, поступающий в обслуживание. Под обслуживанием понимается процесс выполнения технических, коммерческих и грузовых операций, которые выполняются с вагонами на станции. Выходной поток образуют вагоны, отправляемые со станции на внешнюю сеть. Железнодорожная станция, как система, характеризуется как динамическая, так как ее состояние изменяется во времени и стохастическая так, как интенсивность входящего потока вагонов и продолжительность их обслуживания являются случайными величинами. Основными методами исследования, которые используются для оценки соответствия технического оснащения железнодорожных станций прогнозным объемам работы используются метод анализа временных рядов, а также методы аналитического и графоаналитического моделирования функционирования железнодорожных станций.

Определение расчетных периодов и объемов работы станции выполняется за несколько этапов. В соответствии с местными условиями отдельные этапы могут быть пропущены. В качестве примера рассмотрена станция Химическая ООО «Трансинвестсервис», которая обслуживает Морской торговый порт Южный.

Результаты

На первом этапе определения расчетных объемов работы выполняется анализ технического оснащения, технологии и объемов работы железнодорожной станции. Так в результате обследования станции Химическая установлено, ее назначение состоит в обслуживании перевалки грузов с железнодорожного на морской транспорт. Путь развития станции Химическая включает 5 парков: Приемо-отправочный, Выставочный, Рудный, Зерновой и Угольный парки. Приемоотправочный парк осуществляет обслуживание всех вагонов, прибывающих и отправляющихся со станции. Остальные парки используются только для обслуживания вагонов с отдельными грузами. Маневровую работу на станции выполняют 24 локомотива, которые не имеют жесткой специализации за видами выполняемых работ. Также установлено, что технология работы станции в зимние месяцы и остальное время года отличается из-за необходимости размораживания смерзающихся грузов и увеличения количества переворотов вагоноопрокидывателей. По результатам первого этапа выполняется разбиение железнодорожной станции на подсистемы, требующие проверки,

выбираются критерии для оценки вариантов расчетных размеров работ. В частности, в рассматриваемом примере проверке подлежит путь развития парков станции и число локомотивов, задействованных для выполнения маневров. В качестве критериев для выбора расчетных условий работы станции приняты размеры прибытия вагонов на станцию и локомотиво-часы маневровой работы.

Общая номенклатура грузов, по которой ведется учет автоматизированной системой управления работой станции составляет 137 наименований. С целью упрощения анализа на втором этапе выполняется укрупнение вагонопотоков по отдельным типам грузов в соответствии с технологией их обработки. Так, например, в одну группу объединены угли различных марок, антрацит, кокс, коксовая мелочь. Для каждой такой группы определяется ее доля в общем вагонопотоке. Характеристика укрупненных вагонопотоков станции Химическая приведена на рис. 1. Для комплексного анализа технического оснащения станции используются вагонопотоки, суммарная доля которых составляет не менее некоторой величины α остальные грузы объединяются в группу «Прочие».

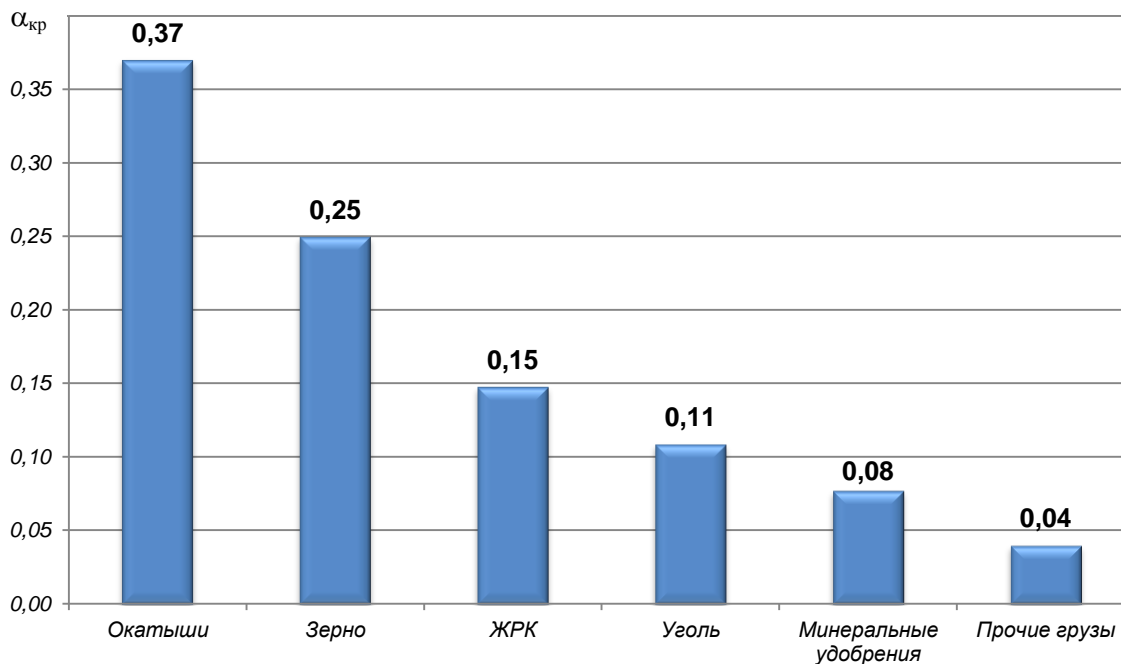


Рис. 1. Характеристика укрупненных вагонопотоков в станции Химическая за 2014 год

При заданной величине $\alpha_{кр} = 0,9$ в качестве основных вагонопотоков, прибывающих на станцию Химическая рассматриваются вагонопотоки с окатышами, железорудным концентратом (ЖРК), зерном, углем, минеральными удобрениями. Доля вагонов с данными грузами

составляет 96 % общего грузенного вагонопотока. Вагоны с контейнерами, а также грузами для хозяйственных нужд станции отнесены к группе «Прочие».

На третьем этапе, на основании анализа динамики вагонопотоков за предшествующие пе-

риоды, устанавливаются коэффициенты сезонности $\gamma_{сз}$, для каждого месяца. С этой целью для каждого i -го типа груза методом взвешенной скользящей средней строятся тренды изменения объемов перевозок [6]. Коэффициенты сезонности для отдельных месяцев предшествующих лет определяются по формуле

$$\gamma_{м,ij} = \frac{S_{н,ij}}{S_{сн,ij}}, \quad (1)$$

где $S_{н,ij}$, $S_{сн,ij}$ – соответственно, фактические среднесуточные объемы работы i -го груза в j -й месяц r -го года и среднесуточные объемы работ в этот же период, рассчитанные по результатам сглаживания.

В рамках отдельных годов выполняется нормирование коэффициентов сезонности таким образом, чтобы их сумма в течение года равнялась 12

$$\gamma_{сз,ij} = 12 \frac{\gamma_{м,ij}}{\sum_{j=1}^{12} \gamma_{м,ij}} \quad (2)$$

Коэффициенты сезонности для отдельных месяцев расчетного периода определяются в результате сглаживания последовательности коэффициентов взвешенной скользящей средней ${}_k W_s$ с весами ${}_k W_j = \{k, k-1, \dots, 1\}$. Результаты расчета указанных коэффициентов приведены в табл. 1

Таблица 1

Коэффициенты сезонности по группам

Тип груза	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зерно	1,33	1,37	1,21	1,1	0,74	0,5	0,45	0,51	0,7	1,27	1,37	1,45
Окатыши	0,92	0,9	0,95	1,12	1	1,06	1,08	0,9	1	1,1	1,04	0,93
ЖРК	0,71	1,09	0,87	1,38	1,2	1,15	1,36	1,25	0,9	0,58	0,62	0,89
Уголь	1,19	0,87	1,23	1,58	1,22	1,11	1,12	0,71	0,62	1,06	0,67	0,62
Мин. удобрения	1,54	1	0,94	1,13	0,77	0,95	0,8	0,65	0,85	0,81	1,39	1,17
Другое	0,9	1,11	0,65	0,92	1,28	1,24	0,8	0,82	0,89	1,17	1,09	1,13

На четвертом этапе выполняется анализ во времени прогнозных показателей работы станции отобранных в качестве критериев для выбора расчетных условий ее работы.

Оценка выполняется с помощью выражения

$$d_j = \sum_{i=1}^n f_i(\gamma_{м,ij} M_i), \quad (3)$$

где M_i – прогнозный среднесуточный объем перевозок i -го груза в расчетном году;

f_i – функция, описывающая зависимость некоторого критерия выбора расчетных условий работы станции от суточного прибытия груза.

Идентификация функций f_i может осуществляться либо на основании статистических данных, либо на основании аналитических расчетов. В частности в данной работе локомотиво-часы, приходящиеся на один вагон с i -м грузом определялись из выражения

$$t_i = \gamma_{м,ij} M_i \sum_{g=1}^m \frac{H_{ig}}{V_{ig}}, \quad (4)$$

где H_{ig} – локомотиво-часы, затрачиваемые на маневровую работу с вагонами на g -м этапе обслуживания вагона с грузом i -го типа на

станции;

V_{ig} – число вагонов, принимающих участие в маневровой работе на g -м этапе обслуживания вагона с грузом i -го типа на станции.

Для оценки динамики критериев в течении года выполняется их нормирование к среднемесячному значению. Прогнозные помесечные изменения объемов прибытия вагонов под выгрузку и локомотиво-часов, затрачиваемых на маневровую работу с ними представлены на рис. 2.



Рис. 2. Динамика изменения объемов прибытия вагонов под выгрузку и затрачиваемых на маневровую работу локомотиво-часов

Анализ представленных зависимостей показывает, что максимальные размеры прибытия вагонов на станцию ожидаются в апреле месяце. В данном месяце при высоких объемах переработки зерна и минеральных удобрений наблюдаются пиковые объемы развития приемоотправочного парка, бригады ПТО и ПКО, которые в нем работают. Максимальные затраты локомотиво-часов на переработки ЖРК, руды и угля. При этом наблюдается максимальная нагрузка на путевое переработку вагонопотока наблюдаются в феврале месяце, для которого характерна высокая доля перевалки зерновых грузов, требующих больших затрат маневровой работы, а также необходимость выполнения маневров по постановке вагонов со смерзающимися грузами в гаражи для размораживания.

Поэтому в качестве расчетных периодов должны быть приняты апрель и февраль. В случае, если разница между критериями для периодов с максимальными значениями не превышает 3%, то детально может анализироваться один из них.

Суточные размеры прибытия вагонов в расчетные месяцы по анализируемым грузам устанавливаются как

$$M_{ij} = \gamma_c \gamma_{m,j} M_i, \quad (5)$$

где γ_c – коэффициент суточной неравномерности [15].

Укрупнение расчетные грузенные вагонопотоки по прибытию для условий ТИС приведены в табл. 2.

Таблицы 2

Груженные вагонопотоки по прибытию

Месяц	Окатыш	Зерно	ЖРК	Уголь	Мин. удобрения	Прочие	Всего
Февраль	236	244	74	60	55	32	701
Апрель	248	167	126	146	42	26	755

Детальная структура вагонопотоков внутри отдельных групп укрупненных вагонопотоков устанавливаются по соотношению между годовыми объемами вагонопотоков с данными грузами.

Аналогичным образом определяются и расчетные грузенные вагонопотоки по отправлению. Размеры порожних вагонопотоков устанавливаются по методике, описанной в [6].

Дальнейшая проверка соответствия технического оснащения и технологии работы станция выполняется методами графоаналитического или имитационного моделирования.

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна работы состоит в совершенствовании методов оценки расчетных объемов работы железнодорожных станций, которые, в отличие от существующих учитывают наличие пиковых нагрузок на разные подсистемы станции в различные периоды времени. Практическая значимость выполненных исследований состоит в том, что предлагаемая методика позволяет повысить качество оценки соответствия технического оснащения и технологии железнодорожных станций их перспективным объемам работы. Разработанная методика может применяться инженерами-технологами

при разработке технологических процессов как существующих, так и проектируемых железнодорожных станций.

Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Для станций, перерабатывающих неоднородные вагонопотоки, а также для станций с сезонно-изменяющейся в течении года технологией может быть несколько расчетных периодов, в течении которых максимальная нагрузка приходится на разные подсистемы станции. В этой связи может возникать необходимость проверки соответствия технического оснащения объемам работы при разных входных потоках.

Разработан метод оценки расчетных объемов работы железнодорожных станций который путем анализа динамики изменения структуры вагонопотоков в предшествующие периоды и аналитического расчета занятости отдельных элементов станции позволяет предварительно выделить наиболее загруженные периоды в ее работе. Проверка работоспособности станции в указанные периоды позволяет сделать выводы о соответствии ее технического оснащения и технологии перспективным объемам работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альошинський, Є. С. Моделювання системи переробки експортно-імпортного вантажопотоку на припортових залізничних станціях Петрі / Є. С. Альошинський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/3(33). – С. 20-23.
2. Березовий, М. І. Оцінка пропускної спроможності промислової сортувальної станції з використанням її ергатичної моделі / М. І. Березовий, В. В. Малашкін, Р. Г. Коробйова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4. – С. 9-12.
3. Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3(56). – С. 62-67.
4. Захаров, А. Г. Совершенствование планирования и анализа грузовых перевозок на железнодорожном транспорте // А. Г. Захаров. – Москва : Транспорт, 1990. – 239 с.
5. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – Вип. 45. – С. 22-28.
6. Козаченко, Д. Н. Определение расчетных объемов работ для магистральных и промышленных железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко, А. И. Верлан, А. В. Горбова // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3(57). – С. 45-57. – Режим доступа : doi: 10.15802/stp2015/46049.
7. Козаченко, Д. М. Програмный комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіку / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробйова // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18-20.
8. Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В.

Д. М. КОЗАЧЕНКО, О. В. ГОРБОВА

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ОБ'ЄМІВ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМІНИ СТРУКТУРИ ВАГОНОПОТОКІВ

Мета. Стаття спрямована на вдосконалення методів оцінки відповідності технічного оснащення залізничних станцій прогнозних обсягів роботи шляхом урахування змін структури вагонопотоків і технології їх обробки в часі. **Методика.** В якості методів дослідження використані методи математичної статистики, зокрема методи аналізу часових рядів і методи математичного моделювання. **Результати.** У результаті дослідження встановлено, що для станцій, що переробляють неоднорідні вагонопотоки, а також для станцій з сезонно-змінною технологією протягом року може бути кілька розрахункових періодів, що вимагають перевірки відповідності технічного оснащення обсягами роботи. На підставі методів аналізу часових рядів і методів математичного моделювання розроблено метод пошуку характерних періодів роботи станцій, які пот-

Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1(55). – С. 43-53.

9. Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков. – Москва : Транспорт, 1972. – 208 с.

10. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції. ЦД-0081 : Затв.: Наказ Укрзалізниці 22.12.09. № 715-Ц. – Київ : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2010. – 230 с.

11. Рахмангулов, А. Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе AnyLogic / А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишкuroв // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании' 2012 : Материалы междунар. науч.-практ. конф. (18-27 декабря 2012). – 2012. – Т. 2, № 4. – С. 7-13.

12. Скалозуб, В. В. О применении расширенного логистического отображения для анализа и прогнозирования параметров процессов железнодорожного транспорта / В. В. Скалозуб, И. В. Клименко // Экономика: реаліі часу. Науковий журнал. – 2012. – № 3-4 (4-5). – С. 57-62.

13. Угрюмов, А. К. Неравномерность движения поездов / А. К. Угрюмов. – Москва: Транспорт, 1968. – 112 с.

14. Gorbova, O. Modeling work of sorting station using UML / O. Gorbova // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1(55). – С. 129-138. – Режим доступа : doi: 10.15802/stp2015/38260.

15. Szűcs, G. Railway Simulation with the CASSANDRA Simulation System / G. Szucs // Journal of Computing and Information Technology. – 2001. – Vol 9, Issue 2. – P. 133-142. doi: 10.2498/cit.2001.02.04

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. Алешиным Е. С.(Україна)

Поступила в редколлегию 02.11.2015.

Принята к печати 03.11.2015.

ребують перевірки за допомогою функціональних моделей. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методів оцінки розрахункових обсягів роботи залізничних станцій, які, на відміну від існуючих враховують наявність пікових навантажень на різні підсистеми станції в різні періоди часу. **Практична значимість.** Практична значимість виконаних досліджень полягає в тому, що запропонована методика дозволяє підвищити якість оцінки відповідності технічного оснащення і технології залізничних станцій їх перспективним обсягами роботи.

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

D. KOZACHENKO, A. GORBOVA

DETERMINATION OF CALCULATED VOLUMES OF WORK FOR RAILWAY STATIONS IN THE CONDITION OF CARS FLOW CHANGING

Purpose. The article focused on perfection improvement of estimation methods of railheads accordance of technical equipment to the forecast volumes of work by account of structure traffic volumes changes and technology of it's treatment in time. **Methodology.** As research methods used methods of mathematical statistics (methods of analysis of temporal rows) and methods of mathematical simulation. **Results.** It is set as a result of research, that for the stations, processing heterogeneous traffic volumes, and for the stations with seasonal technology during a year could be a few calculation periods, requiring verification of accordance of technical equipment to the volumes of work. On the basis of methods of analysis of temporal rows and methods of mathematical simulation the method of search of characteristic periods is developed to work of the station, requiring verification by functional models. **Scientific novelty.** The work consists of perfection of estimation methods of calculation volumes of work of railheads which, take into account the presence of peak-loads on the different subsystems of the station in different periods of time. **Practical meaningfulness.** Proposed methodology allows to inverse quality of estimation of technical equipment accordance and technology of railheads for its forecast volumes of work.

Keywords: railway station; uneven traffic; time series; design of railway stations; technological process.