

УДК 656.21

Ю. И. Ефименко, М. В. Четчуев, А. Г. Филиппов**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ,
НЕЛИНЕЙНО СВЯЗАННЫХ С РАЗМЕРАМИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ**

Дата поступления: 05.02.2016

Решение о публикации: 14.04.2016

Цель: Рассмотреть возможные методы расчета эксплуатационных показателей, нелинейно связанных с размерами работы станций. Определить наиболее простой метод и оценить достоверность результатов расчетов, полученных с его использованием. **Методы:** В статье изложены два приближенных метода учета колебаний объемов работы и пропускной способности при определении показателей работы станций. **Результаты:** По предлагаемым методам выполнены расчеты средних значений времени ожидания формирования и расформирования составов на сортировочной станции. Сравнение результатов расчетов показало, что расхождения в полученных значениях времени ожидания формирования и расформирования составов незначительны, поэтому для выполнения таких расчетов рекомендован более простой из сравниваемых в статье методов учета нестационарности транспортного процесса. **Практическая значимость:** Использование рекомендуемого в статье метода позволит существенно упростить расчеты эксплуатационных показателей, нелинейно связанных с размерами работы станции.

Эксплуатационные показатели, железнодорожная станция, неравномерность транспортного процесса, размеры движения, пропускная способность, время ожидания обслуживания.

Yuriy I. Yefimenko, D. Eng., professor, kjdstan@pgups.edu.ru; **Maksim V. Chetchuyev**, Cand. Eng., assistant professor, maxetion@mail.ru; ***Anton G. Filippov**, postgraduate student, tigropard10@mail.ru (Petersburg State Transport University) SPECIFIC FEATURES OF CALCULATION OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS NONLINEARLY CONNECTED TO STATION TRAFFIC VOLUMES

Objective: To consider possible methods for calculation of operational characteristics nonlinearly connected to station traffic volumes. To identify the simplest method and to evaluate the reliability of calculation results obtained through it. **Methods:** The paper describes two approximate methods for registering fluctuations in the traffic volume and train-handling capacity in determining stations' operational characteristics. **Results:** The proposed methods were used to calculate average values of waiting for train forming and splitting at a marshal yard. Comparison of calculation results indicated that the discrepancies between obtained values of train forming and splitting waiting time are insignificant, thus the simpler of the two methods for registering non-stationary character of transport process was recommended for such calculations. **Practical importance:** Application of the method recommended in the article will allow for significant simplification of calculations of operational characteristics nonlinearly connected to station traffic volumes.

Operational characteristics, railway station, irregularity of transport process, traffic volumes, train-handling capacity, service waiting time.

При обосновании рациональных этапов развития железнодорожных станций и узлов срок целесообразного перехода к очередному этапу устанавливается путем сопоставления потребных капиталовложений на усиление мощности устройств с экономией эксплуатационных расходов, достигаемой за счет этого усиления мощности, а также совершенствования схемы и технологии работы станций. Основная экономия эксплуатационных расходов достигается за счет сокращения простоев подвижного состава в ожидании обслуживания и задержек поездов из-за неприема станциями. Трудности правильной оценки этих расходов, нелинейно зависящих от размеров работы, связаны с неравномерностью транспортных процессов в течение года.

Общие положения

Средние значения простоев в ожидании обслуживания зависят от загрузки обслуживающих устройств ρ [1–5, 10–12, 15, 16], которая представляет собой отношение плотности входящего потока λ к интенсивности обслуживания μ : $\rho = \lambda/\mu$. Величины λ и μ можно определить через суточные значения размеров движения N и наличной пропускной (перерабатывающей) способности N_H :

$$\lambda = \frac{N}{24}; \mu = \frac{N_H}{24}.$$

Следовательно, загрузка системы может быть представлена в виде

$$\rho = \frac{N}{N_H}. \quad (1)$$

Использование значения ρ , полученного по формуле (1) для подсчета годовых расходов, затруднено из-за непостоянства величин N и N_H . В настоящее время общепризнано, что колебания суточных размеров грузового движения N подчиняются нормальному закону распределения [7, 13, 14]. Согласно исследованиям БелИИЖТа [8, 9] наличная пропускная способность станционных устройств N_H также подвержена случайным колебаниям. Это естественно приводит к колебаниям коэффициента загрузки обслуживающих устройств ρ .

Таким образом, в реальности станционные устройства работают в условиях переменной загрузки, меняющейся в отдельные сутки в некоторых пределах от ρ_{\min} до ρ_{\max} (рис. 1), где

$$\rho_{\min} = \frac{N^{\min}}{N_i^{\max}}; \rho_{\max} = \frac{N^{\max}}{N_i^{\min}}.$$

При этом не исключается, что вследствие колебаний размеров движения и наличной пропускной способности загрузка обслужи-

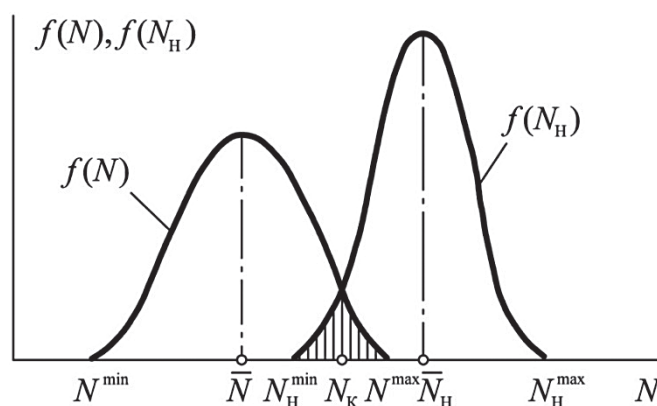


Рис. 1. Кривые плотности распределения суточных размеров работы и наличной пропускной способности

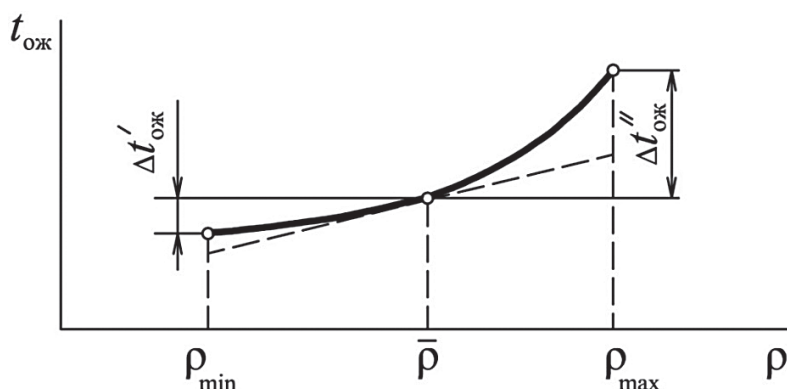


Рис. 2. Характер зависимости времени ожидания обслуживания от загрузки системы

вающего устройства или канала в отдельные сутки может превышать единицу, если размеры движения окажутся больше пропускной способности. В этом случае произойдет переполнение системы, вероятность чего будет характеризоваться площадью области, заштрихованной на рис. 1. Такие ситуации возникают в зимний период перед сортировочными станциями, когда из-за сильных морозов или снегопадов резко возрастает сопротивление скатыванию отцепов на горках и уменьшается интенсивность роспуска составов, в то время как размеры поступления поездов в переработку остаются высокими. Приходится принимать специальные регулировочные меры, наиболее распространенной из которых является временное оставление части составов на предузловых станциях. Аналогичные трудности периодически возникают при неблагоприятных погодных условиях и перед портовыми станциями.

Для правильной оценки потерь, связанных с простоями подвижного состава в ожидании обслуживания, а также с задержками поездов на участках из-за неприема станциями, необходимо знать среднее время этих простоев, приходящихся на одну транспортную единицу в течение года. Если бы зависимость времени ожидания $t_{ож}$ и времени задержек $t_{зд}$ от загрузки системы ρ была линейной, то средние значения этого времени, подсчитанные для среднего за год значения $\rho = \bar{N}/N_n$, можно было бы принять в качестве средних для всех транспортных единиц. Однако функции $t_{ож} = f(\rho)$ и

$t_{зд} = f(\rho)$ являются нелинейными и выпуклыми, поэтому среднее время ожидания и задержки одной транспортной единицы в течение года будет всегда больше величин, рассчитанных для средних значений $\bar{\rho}$ (рис. 2).

Задачу учета случайных колебаний загрузки транспортных систем при определении времени ожидания обслуживания и задержек поездов по неприему в общем виде точно решить невозможно, поскольку эмпирические формулы, полученные при статистической обработке результатов имитационного моделирования работы станций, справедливы на ограниченном отрезке значений ρ . Поэтому ниже рассмотрим два приближенных метода учета колебаний объемов работы и пропускной способности при определении показателей работы станций.

Первый из них (метод 1) основан на замене нестационарного потока кусочно-стационарным, а второй (метод 2) – на использовании числовых характеристик случайной величины ρ , представляющих собой отношение двух случайных величин N и N_n с известными параметрами распределения.

Первый метод учёта нестационарности транспортного потока

Если выражение для определения среднего времени ожидания обслуживания представить в общем виде

$$t_{\text{ож}} = \varphi(\rho) = \varphi(N, N_{\text{н}}),$$

то при использовании первого метода учета нестационарности транспортного потока кривые плотности вероятности $f(N)$ и $f(N_{\text{н}})$ (см. рис. 1) необходимо заменить гистограммами с величиной разрядов не менее среднеквадратических отклонений σ_N и $\sigma_{N_{\text{н}}}$ и рассмотреть вероятности сочетания каждого разряда одной гистограммы со всеми разрядами другой гистограммы.

Тогда среднее время ожидания обслуживания, приходящееся на одну транспортную единицу в течение года, можно получить из выражения

$$t_{\text{ож}}^{\text{ср}} = \sum_{i=1}^k p_i^{(N)} \sum_{j=1}^s \varphi(\overline{N}_i, \overline{N}_{\text{н}j}) p_j^{(N_{\text{н}})}, \quad (2)$$

где k, s – число разрядов, на которое разделены значения, соответственно, N и $N_{\text{н}}$; $p_i^{(N)}$, $p_j^{(N_{\text{н}})}$ – вероятности попадания значений N и $N_{\text{н}}$, соответственно, в i -й и j -й разряды; \overline{N}_i , $\overline{N}_{\text{н}j}$ – средние значения N и $N_{\text{н}}$ в соответствующих разрядах.

Аналогичным образом можно определить средние значения числа задержанных поездов $N_{\text{зд}}^{\text{ср}}$ и времени их простоя на предузловых станциях $t_{\text{зд}}^{\text{ср}}$, для чего необходимо только изменить вид функции $\varphi(N, N_{\text{н}})$.

Учитывая большую трудоемкость расчетов по формуле (2), их целесообразно выполнять на ЭВМ.

Второй метод учёта нестационарности транспортного потока

Реализация второго метода учета колебаний объемов работы и пропускной способности рассмотрим на примере времени ожидания расформирования $t_{\text{ож}}^{\text{рф}}$ и формирования $t_{\text{ож}}^{\text{ф}}$ составов на сортировочных станциях.

Среднее время ожидания расформирования составов на сортировочных станциях по рекомендованной для проектных целей методике [6] определяется по формуле

$$t_{\text{ож}}^{\text{рф}} = 14,4 \cdot (av_{\text{вх}}^2 + bv_{\text{вх}}),$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от коэффициента загрузки горки $\rho_{\text{г}}$:

$$a = 43,5069\rho_{\text{г}}^2 - 20,2034\rho_{\text{г}} - 8,3783; \quad (3)$$

$$b = 7,3172\rho_{\text{г}}^2 - 38,2992\rho_{\text{г}} + 24,288; \quad (4)$$

$v_{\text{вх}}$ – коэффициент вариации входящего потока перерабатываемых поездов.

Среднее время ожидания формирования составов в сортировочном парке при загрузке маневровых локомотивов, работающих на вытяжных путях, при $\rho_{\text{б}} \leq 0,55$ рекомендуется принимать в размере 1,5 мин, а при $\rho_{\text{б}} > 0,55$ – определять из выражения

$$t_{\text{ож}}^{\text{ф}} = 146,4 - 526,2\rho_{\text{б}} + 478,8\rho_{\text{б}}^2. \quad (5)$$

Чтобы учесть влияние случайных колебаний суточных размеров работы и перерабатывающей способности обслуживающих устройств на среднесуточные за год простои составов в ожидании обслуживания, предварительно необходимо решить задачу об определении числовых характеристик распределения отношения двух случайных величин.

Предположим, что случайные величины X и Y независимы, имеют конечные моменты и все возможные значения X и Y сосредоточены на положительной полуоси. Необходимо получить формулы для вычисления моментов первых двух порядков величины $Z = \frac{X}{Y}$ по заданным моментам величин X и Y :

$$m_X = MX > 0; \quad \sigma_X^2 = M(X - MX)^2 = DX;$$

$$m_Y = MY > 0; \quad \sigma_Y^2 = M(Y - MY)^2 = DY,$$

где m_X, m_Y – первые моменты случайных величин X и Y , равные их математическим ожиданиям MX и MY ; σ_X, σ_Y – среднеквадратические отклонения величин X и Y , соответственно.

Как увидим из дальнейшего, точность полученных приближенных формул окажется

тем выше, чем меньше будет коэффициент вариации величины Y

$$v_Y = \frac{\sigma_Y}{m_Y}.$$

Рассмотрим величину

$$Y_0 = \frac{Y - m_Y}{\sigma_Y},$$

являющуюся результатом центрирования и нормирования случайной величины Y , так, что

$$m_{Y_0} = MY_0 = 0; \sigma_{Y_0}^2 = DY_0 = 1.$$

Тогда величину Z можно представить в виде

$$Z = \frac{X}{m_Y(1 + v_Y Y_0)},$$

или, применяя разложение в ряд,

$$Z = \frac{X}{m_Y}(1 - v_Y Y_0 + v_Y^2 Y_0^2 - \dots). \quad (6)$$

Правомерность такого разложения гарантируется, если коэффициент вариации v_Y достаточно мал, так что с вероятностью, близкой к единице, справедливо неравенство

$$v[Y_0] < 1.$$

Переходя к математическим ожиданиям в обеих частях равенства (6), получаем приближенную формулу

$$MZ \cong \frac{m_X}{m_Y}(1 + v_Y^2). \quad (7)$$

Погрешность вычисления MZ по формуле (7) определяется величиной отброшенного в скобках выражения (6) остатка, т. е. в общем случае имеет порядок v_Y^2 , а в случае симметричных распределений, к которым относится нормальное, – v_Y^2 .

Для вычисления второго момента величины Z целесообразно воспользоваться разложением

$$Z^2 = \frac{X^2}{m_Y^2}(1 - 2v_Y Y_0 + 3v_Y^2 Y_0^2 - \dots).$$

В результате получим следующую приближенную формулу:

$$MZ^2 = \frac{m_X^2 + \sigma_X^2}{m_Y^2}(1 + 3v_Y^2), \quad (8)$$

погрешность вычисления по которой имеет тот же порядок, что и в формуле (16).

Из (8) и (7) получим формулу для дисперсии величины Z :

$$\begin{aligned} DZ &= MZ^2 - (MZ)^2 \cong \\ &\cong \frac{(v_Y^2 m_X^2 + 1 + 3v_Y^2)\sigma_X^2}{m_Y^2}. \end{aligned}$$

Зная дисперсию, легко определить среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_Z = \sqrt{DZ}; v_Z = \sigma_Z / MZ.$$

Полученные формулы позволяют установить зависимость числовых характеристик σ_Z и v_Z от исходных значений MX , MY , σ_X и σ_Y (рис. 3, 4) для любых рассматриваемых распределений случайных величин X и Y . Кроме того, представляется возможным, используя выражения (7) и (8), уточнить расчетные формулы для определения среднего времени ожидания расформирования и формирования составов на сортировочных станциях. Для этого необходимо вместо значений ρ и ρ^2 подставить в расчетные формулы (3)–(5) их математические ожидания, определяемые из выражений

$$M\rho = \frac{\bar{N}}{N_H}(1 + v_{N_H}^2);$$

$$M\rho^2 = \frac{\bar{N}^2 + \sigma_N}{N_H^2}(1 + 3v_{N_H}^2),$$

где v_{N_H} – коэффициент вариации наличной перерабатывающей способности.

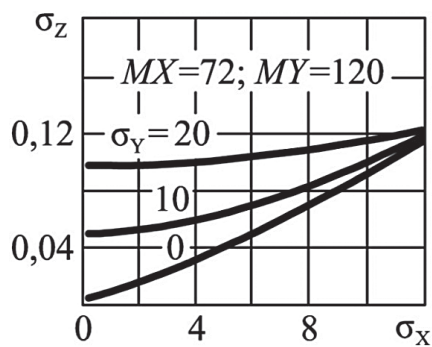


Рис. 3. Зависимость σ_z от σ_x и σ_y

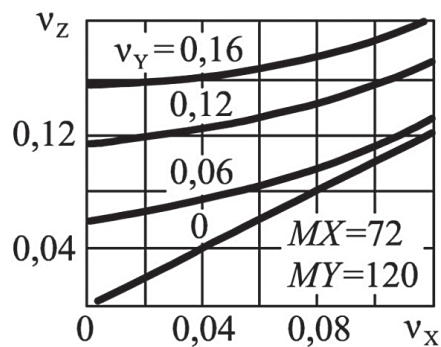


Рис. 4. Зависимость v_z от v_x и v_y

Заключение

Сравнение части результатов расчетов средних значений времени ожидания расформирования и формирования составов по

первому и второму рассмотренным методам учета колебаний загрузки системы представлено в таблице, из которой видно, что полученные по обоим методам результаты весьма близки. Расхождение составляет не более 2%.

Сравнение методов учета колебаний загрузки станций

Исходные данные для расчетов				Среднее время ожидания, мин			
				расформирования		формирования	
\bar{N}	\bar{N}_H	v_N	v_{N_H}	Метод 1	Метод 2	Метод 1	Метод 2
72	90	0	0	11,22	11,22	31,87	31,87
			0,02	11,41	11,40	32,07	32,07
			0,04	11,97	11,91	32,69	32,67
			0,06	12,92	12,77	33,73	33,67
	90	0,03	0	11,52	11,50	32,15	32,15
			0,02	11,71	11,68	32,35	32,35
			0,04	12,27	12,19	32,97	32,95
			0,06	13,22	13,05	34,01	33,94
	90	0,06	0	12,42	12,34	32,99	32,98
			0,02	12,60	12,52	33,19	33,18
			0,04	13,17	13,04	33,81	33,78
			0,06	14,13	13,90	34,86	34,78
80	0	0	30,98	30,98	60,65	60,65	
		0,02	31,24	31,22	60,93	60,92	
		0,04	32,04	31,96	61,78	61,75	
		0,06	33,40	33,19	63,22	63,13	
	80	0,06	0	32,49	32,39	62,06	62,04
			0,02	32,75	32,64	62,34	62,32
			0,04	33,56	33,38	63,19	63,15
			0,06	34,93	34,62	64,64	64,54

Это свидетельствует о целесообразности применения в практических расчетах более простого второго метода учета нестационарности транспортного процесса, основанного на представлении суточной загрузки обслуживающих устройств как отношения случайных значений объема работы и наличной пропускной или перерабатывающей способности.

Что касается увеличения времени ожидания операции при учете колебаний размеров работы и наличной пропускной способности, то в зависимости от соотношения коэффициентов вариации v_N и v_{N_n} это увеличение может достигать и более 40% по сравнению с расчетами по средним значениям. Это свидетельствует о необходимости такого учета, что существенно повысит обоснованность проектных решений по развитию станций и узлов.

Библиографический список

1. Акулиничев В. М. Научные основы решения задачи оптимизации перевозочного процесса / В. М. Акулиничев // Оптимальная эксплуатация железных дорог : Сб. трудов МИИТа. – М., 1973. – Вып. 420. – С. 6–15.
2. Акулиничев В. М. Организация вагонопотоков / В. М. Акулиничев. – М. : Транспорт, 1982. – 224 с.
3. Акулиничев В. М. Основные направления в размещении и развитии сортировочных станций на сети железных дорог / В. М. Акулиничев // Вопросы эксплуатации железных дорог : Сб. трудов МИИТа. – М., 1970. – Вып. 333. – С. 3–65.
4. Архангельский Е. В. Уровни загрузки и потребная мощность устройств сортировочной станции : Труды ВНИИЖТа / Е. В. Архангельский. – М., 1975. – Вып. 544. – 128 с.
5. Буянова В. К. Система организации вагонопотоков / В. К. Буянова, А. И. Сметанин, Е. В. Архангельский. – М. : Транспорт, 1988. – 223 с.
6. Методические рекомендации по выбору оптимального варианта организации строительных работ при развитии станций. – М. : ВНИИ трансп. Строительства, 1984. – 94 с.
7. Негрей В. Я. Научные основы расчетов и проектирования железнодорожных станций и узлов : дисс. ... д-ра техн. наук / В. Я. Негрей. – Гомель, 1987. – 402 с.
8. Правдин Н. В. Методика расчета наличной пропускной способности одноканальных транспортных систем (на основе вероятностного подхода) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, Н. П. Негрей // Проблемы развития железнодорожных станций и узлов : Межвуз. сб. науч. статей. – Гомель : БелИИЖТ, 1985. – С. 3–27.
9. Правдин Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1988. – 347 с.
10. Правдин Н. В. Проектирование железнодорожных станций и узлов / Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей. – Ч. 1. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 1984. – 288 с.
11. Сотников И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог (Исследование операций на станциях) / И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1976. – 272 с.
12. Сотников И. Б. Теоретические основы взаимодействия в работе приемо-отправочных парков станций и прилегающих участков: учеб. пособие / И. Б. Сотников. – М. : МИИТ, 1967. – 62 с.
13. Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов / А. К. Угрюмов. – М. : Транспорт, 1968. – 112 с.
14. Федотов Н. И. Колебания потоков в транспортных системах : Тр. НИИЖТа / Н. И. Федотов. – Новосибирск, 1972. – Вып. 139. – 58 с.
15. Шабалин Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. Н. Шабалин. – М. : Транспорт, 1973. – 184 с.
16. Шабалин Н. Н. Применение теории массового обслуживания для расчета устройств станций / Н. Н. Шабалин. – М. : МИИТ, 1968. – 89 с.

References

1. Akulinichev V.M. Nauchnye osnovy resheniya zadachi optimizacii perevozochnogo processa [Scientific Basis for Solving the Problem of Optimizing the Transportation Process]. *Optimalnaya ekspluatatsiya zheleznikh dorog: Sbornik trudov MIITa (Optimum*

Operation of Railways: MIIT Proc.). Moscow, 1973, Is. 420. Pp. 6-15.

2. Akulinichev V.M. Organizatsiya vagonopotokov [Railcar Traffic Organisation]. Moscow, Transport, 1982. 224 p.

3. Akulinichev V.M. Osnovnye napravleniya v razmeshchenii i razvitii sortirovochnykh stantsiy na seti zheleznykh dorog [The main directions in the distribution and development of marshalling yards on the rail network]. *Optimalnaya ekspluatatsiya zheleznykh dorog: Sbornik trudov MIITa (Optimum Operation of Railways: MIIT Proc.)*. Moscow, 1970, Is. 333. Pp. 3-65.

4. Arkhangelskiy Ye.V. Urovni zagruzki i potrebnyaya moshchnost' ustroystv sortirovochnoy stantsii [Levels and Download the Required Power Yard Equipment]. *Trudy VNIIZhTa – VNIIZhT Proc.* Moscow, 1975, Is. 544. 128 p.

5. Buyanova V.K., Smetanin A.I. & Arkhangelskiy Ye.V. Sistema organizatsii vagonopotokov [Railcar Traffic Organisation System]. Moscow, Transport, 1988. 223 p.

6. Metodicheskiye rekomendatsii po vyboru optimalnogo varianta organizatsii stroitelnykh работ pri razvitii stantsiy [Recommended Practices for Choice of Optimal Variant of Organisation of Construction Works in Station Development]. Moscow, VNIi transportnogo stroitelstva, 1984. 94 p.

7. Negrey V.Ya. Nauchnyye osnovy raschetov i proyektirovaniya zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov [Scientific Foundations for Calculations and Designs of Railway Stations and Hubs]: A Dissertation for Doctorate in Engineering. Gomel, 1987. 402 p.

8. Pravdin N.V., Negrey V.Ya. & Negrey N.P. Metodika rascheta nalichnoy propusknoy sposobnosti odnokanal'nykh transportnykh sistem (na osnove veroyatnostnogo podhoda) [Methods of Calculating Cash Bandwidth Single-Channel Transport Systems (Based

on Probabilistic Approach)]. *Problemy razvitiya zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov: Mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh statey (Prob. in Development of Railway Stations and Hubs: Inter-University Coll. of Papers)*. Gomel, BellIZht, 1985. Pp. 3-27.

9. Pravdin N.V., Dykanyuk M.L. & Negrey V.Ya. Prognozirovaniye gruzovykh potokov [Forecasting Freight Flows]. Moscow, Transport, 1988. 347 p.

10. Pravdin N.V., Banek T.S. & Negrey V.Ya. Proyektirovaniye zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov [Designing Railway Stations and Hubs]. Pt. 1. Minsk, Vysheyshaya shkola, 1984. 288 p.

11. Sotnikov I.B. Vzaimodeystviye stantsiy i uchastkov zheleznykh dorog (Issledovaniye operatsiy na stantsiyakh) [Interaction Between Stations and Railway Sections (Study of Station Operation)]. Moscow, Transport, 1976. 272 p.

12. Sotnikov I.B. Teoreticheskiye osnovy vzaimodeystviya v rabote priyemo-otpravochnykh parkov stantsiy i prilgayushchikh uchastkov: uchebnoye posobiye [Theoretical Foundations for Interaction in the Operation of Station Receiving-departure Yards and Adjacent Railway Sections: Course Guide]. Moscow, MIIT, 1967. 62 p.

13. Ugryumov A.K. Neravnomernost dvizheniya poyezdov [Irregularity of Train Traffic]. Moscow, Transport, 1968. 112 p.

14. Fedotov N.I. Kolebaniya potokov v transportnykh sistemakh [Fluctuations of Flows in Transport Systems]. Novosibirsk, NiiZhT, 1972. 58 p.

15. Shabalin N.N. Optimizatsiya protsessa pere-rabotki vagonov na stantsiyakh [Optimisation of Yard Operation Process at Stations]. Moscow, Transport, 1973. 184 p.

16. Shabalin N.N. Primeneniye teorii massovogo obsluzhivaniya dlya rascheta ustroystv stantsiy [Application of Mass Service Theory to Calculation of Station Design]. Moscow, MIIT, 1968. 89 p.

ЕФИМЕНКО Юрий Иванович – доктор техн. наук, профессор, kjdstan@pgups.edu.ru; ЧЕТЧУЕВ Максим Владимирович – канд. техн. наук, доцент, maxetion@mail.ru; *ФИЛИППОВ Антон Геннадьевич – аспирант, tigropard10@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).