

Література

1. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи управління вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального оснащення. – Введ. 2007-01-01. – К. : Держспоживстандарт, 2005. – 19 с.
2. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги. – Введ. 2009-09-01. – К. : Держспоживстандарт, 2009. – 25 с.
3. Метрологія: теорія і нормативне забезпечення: Навч. посіб. /, О.М. Величко, Г.І. Хімичева та ін.; За аг. Ред. А.С. Зенкіна. – К. : Вища шк., 2008. – 335 с.
4. Волков О.І., Хімичева Г.І., Віткін Л.М. Система управління вимірюваннями як складова систем управління якістю // Вісник КНУТД. – 2004. – № 3(17). – С. 5–13.
5. Віткін Л.М., Хімичева Г.І. Інтеграція систем управління за окремими напрямками діяльності // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – №1. – С.53–58.
6. Хімичева Г.І. Економічні аспекти впровадження інтегрованих систем управління // Вісник КПУТД. – 2005. – № 1 (21). – С.54–59.
7. Хімичева Г.І. Методологічні аспекти алгоритму побудови і впровадження інтегрованих систем управління // Вісник КіГУТД. – 2005. – №2(22). С. 25–32.
8. Хімичева Г.І., Білей-Рубан П.В., Демиденко О.А. Квалиметрическая оценка нормативных составляющих процессно-ориентированной интегрированной системы управления // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2007. - №3(35). - С. 29-35.

УДК 656.222.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКІВ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ

Д.М. Козаченко

Кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідної частини*

Контактний тел.: (0562) 47-18-72

E-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua

Г.Я. Мозолевич

Старший викладач

Кафедра «Станції та вузли»*

Контактний тел.: (056) 373-15-20

E-mail: MrMozG81@mail.ru

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
вул. академіка Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна,
49010

Досліджені параметри поїздотоків та одиниць потоку на пасажиро- та вантажнонапружених залізничних напрямках України

Ключові слова: залізничні напрямки, потоки поїздів, маса та довжина поїздів

Исследованы параметры поездопотоков и единиц потока на пассажиро- и грузонапряженных железнодорожных направлениях Украины

Ключевые слова: железнодорожные направления, потоки поездов, вес и длина поездов

There were researched the parameters of the trainflows and their units on the passenger and freight tenses railway lines of Ukraine

Key words: railway directions, flow of trains, weight and length of trains

Вступ

Планування поїзної роботи, управління рухом поїздів, розвиток пропускної здатності залізничних напрямків та вибір їх технічного оснащення пов'язані

із вивченням характеристик потоків поїздів. Значна завантаженість залізничних ліній в умовах коливальних обсягів перевезень, викликаних нерівномірністю завантаження вантажів, сезонною нерівномірністю пасажирських перевезень, ремонтно-будівельними

роботами, погодними умовами, призводить до того, що традиційні технологічні методи не забезпечують стійкість перевізного процесу. Це призводить до погіршення якості використання вагонів та локомотивів, збільшує різницю між експлуатаційною та тарифною роботами залізниць. Тому, задача зменшення експлуатаційних витрат на пропуск поїздів по залізничних напрямках є актуальною задачею сьогодення залізничного транспорту України.

При вирішенні поставленої проблеми виникає два класи задач [1]: задачі аналізу, пов'язані із визначенням та прогнозуванням розмірів руху поїздів та показників використання рухомого складу, та задачі синтезу, що стосуються процесу організації руху поїздів та вибору технічного оснащення ліній.

Постановка задачі дослідження

Задачі вибору раціональних параметрів поїздів, що формуються на технічних станціях і прямують на напрямках із сумісним рухом пасажирських та вантажних поїздів, та вибір технології розподілу поїздів на паралельних ходах вимагають знань характеристик вхідних потоків поїздів на напрямках та характеристик безпосередньо одиниць потягів. Тому в даній роботі поставлена задача вивчення існуючих законів розподілу параметрів поїздів та поїздів аналітичними методами для подальшого використання їх в побудові імітаційних моделей залізничних станцій та напрямків.

Результати дослідження

Теорії транспортних потоків розроблялися представниками двох груп вчених: математиками, які на транспорті знаходили можливості кількісної оцінки функціонування систем та вченими-транспортниками, які вивчали теорію потоків для вирішення прикладних задач [2]. Тому і виникло два напрямки розвитку теорії, один з яких базується на ідеях лінійного програмування та теорії графів, інший складає в основу апарату теорії ймовірностей і математичної статистики. З ними можна ознайомитися в роботах Ф. Хейта,

Л. Форда, Д. Фалкерсона, Г. Поттгофа, І. Сотнікова та ін. [3-6].

Дослідження, що стосуються першого класу зазначених у постановці задач, виконані на двох залізничних напрямках, що суттєво відрізняються характером поїздотоків: вантажонапружений Донбас – Кривбас та Кримський пасажиронапружений напрямок. Виявилось, що обсяги вантажних поїздотоків на протязі року мають періодичний характер із виглядом синусоїдальної функції (рис. 1), і коливаються в межах 10-20% від свого математичного очікування 118 поїздів в обох напрямках на добу із аналогічною формою по категоріям у вузлах для вантажонапруженого напрямку. Так, для станції Нижньодніпровськ-Вузол кількість поїздів, що надходять в розформування, свого формування та транзитних мають практично однаковий діапазон коливань в межах 20-45 поїздів на добу із нормальним законом розподілу (рис. 2).

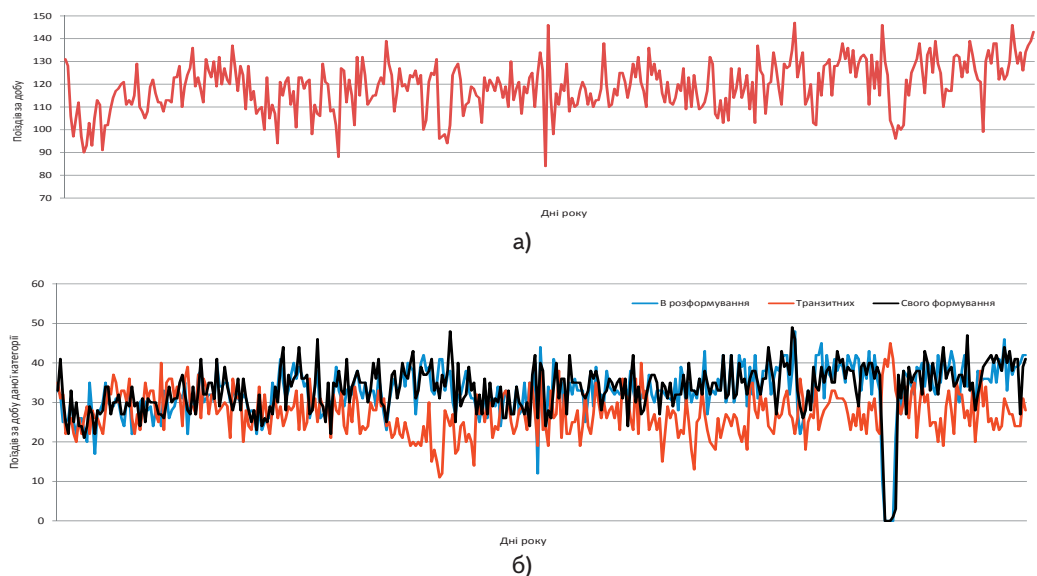


Рис. 1. Характеристика обсягів вантажних поїздотоків на залізничному напрямку на протязі року: а) сумарні поїздотоків в розрізі сортувальної станції напрямку б) потоки з розподілом по категоріям для сортувальної станції напрямку

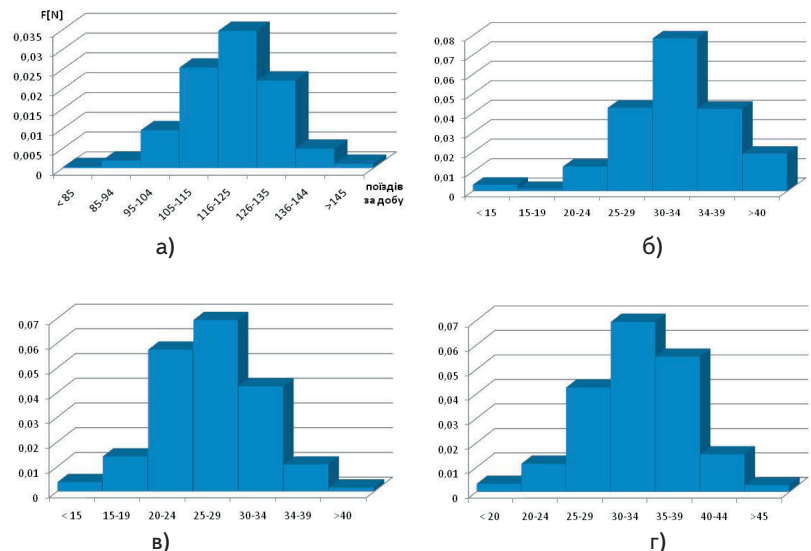


Рис. 2. Розподілення випадкової величини кількості поїздів по категоріям, що надходять на станцію за одну добу: а) разом поїздів; б) поїздів у розформування; в) транзитних поїздів; г) поїздів свого формування

Отримано диференційні функції розподілу кількості поїздів різних категорій, що прямують по напрямку, в розрізі опорної сортувальної станції:

– в розформування: $f(N) = \frac{1}{5,87 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-31,9)^2}{68,9}}$;

– транзитних: $f(N) = \frac{1}{5,54 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-26,3)^2}{61,4}}$;

– свого формування $f(N) = \frac{1}{5,67 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-32,5)^2}{64,3}}$;

– разом поїздів $f(N) = \frac{1}{11,6 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-118,4)^2}{269,1}}$.

На пасажиронапруженому напрямку у вузлі Джанкої розподіл кількості одиниць вантажного поїздопоту також нормальний, коливається в межах 10-15 пар поїздів на добу.

Випадкова величина інтервалів між вантажними поїздами в потоці для транзитних дільниць напрямків розподілена за законом Ерланга із параметром $k = 1$ (рис. 3). Чим ближче проводити аналіз розподілу інтервалів між поїздами до сортувальних станцій, тим меншим стає статистичне значення коефіцієнту варіації інтервалів v (зменшується від 0,9-0,93 до 0,6-0,7). Розрахунки показали, що відхилення від показникового закону розподілу $f(I) = \lambda e^{-\lambda I}$ не значні і перевірки закону розподілу за критеріями Пірсона або Уїлкоксона підтверджують висунуту гіпотезу про розподілення.

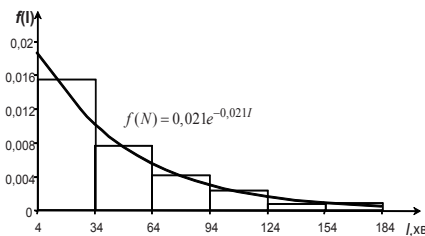


Рис. 3. Розподілення випадкової величини інтервалів між поїздами в потоці

При вивченні інтервалів між одиницями потоку поїздів на залізничних дільницях, де на кінцевих станціях локомотиви прямують завжди по обороту, існує взаємозв'язок між парними та непарними потоками. Він пояснюється технологією роботи залізниць, в якій на локомотивних та дорожніх диспетчерів покладено функцію підв'язки ниток графіку парних та непарних потоків для мінімізації простою поїздів в очікуванні локомотивів і локомотивів в очікуванні поїздів на станціях обороту локомотивів. Для станції П'ятихатки-стикова Придніпровської залізниці було вивчено характер випадкової величини простою локомотивів по обороту. Виявилось, що простій розподілений за законом Ерланга з математичним очікуванням $M[t]=102$ хв та коефіцієнтом Ерланга $k=5$. Тому, при моделюванні потоків поїздів пропонується спочатку моделювати, наприклад, парний потік за показниковим законом розподілу, а потім до моментів прибуття парних поїздів на кінцеву стан-

цію (або до їх математичних очікувань) прив'язувати моменти відправлення непарних поїздів з інтервалами, розподіленими за законом відповідним до закону простою локомотивів по обороту.

Параметри поїздів як одиниць потоку можуть суттєво відрізнятися в залежності від напрямку руху. В переважній більшості існуючих залізничних напрямків масових перевезень можна виділити переважно вантажний напрямок та переважно порожній напрямок руху вагонопотоків. Це пояснюється структурою вантажопотоку і породжує окрему категорію порожніх поїздів в потоці.

В переважно вантажному напрямку маса поїздів має нормальний закон розподілу (рис. 4) із математичним очікуванням $M[Q]=4770$ т та середньоквадратичними відхиленням $\sigma[Q]_{Д-К}=290$ т і $\sigma[Q]_{КР}=580$ т для вищезазначених напрямків. У порожньому напрямку при аналізі поїздопоту необхідно розділити порожні та навантажені поїзди із відповідною для напрямку пропорцією. Так для досліджених напрямків частина порожніх поїздів складає 45-50% в переважно порожніх напрямках із Кримського регіону та із центральної частини України в Донбас із параметрами $M[Q]=1610$ т і $\sigma[Q]_{КР}=300$ т (рис. 5).

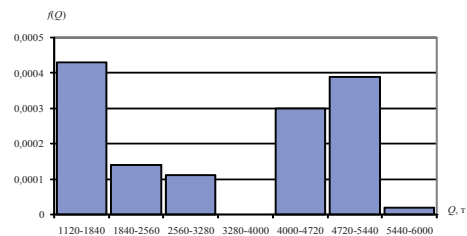


Рис. 4. Розподілення маси поїздів для потоків парного та непарного напрямку

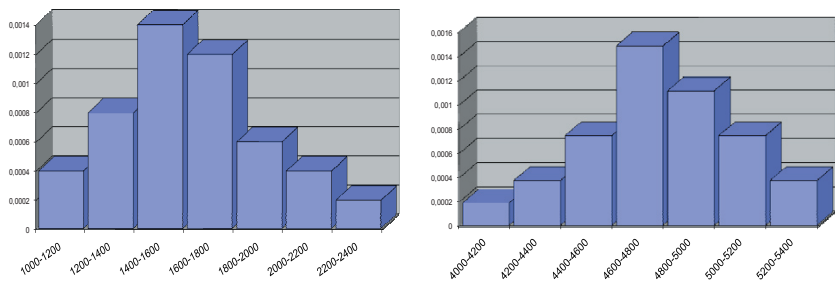


Рис. 5. Розподілення маси поїздів порожнього та навантаженого потоків

Диференційні функції розподілу маси поїздів мають наступний вигляд

– порожній потік: $f(Q) = \frac{1}{300 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-1610)^2}{180000}}$;

– навантажений потік: $f(Q) = \frac{1}{290 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-4770)^2}{168200}}$.

Довжина составів транзитних поїздів вантажонапруженого напрямку коливається в широких межах від 20 до 100 умовних вагонів або 280-1400м. Розподілення цієї випадкової величини представлено на рис. 6. Нижня частина розподілу досягається місцевими поїздами (вивізними та збірними), верхня частина – порожніми поїздопотоків.

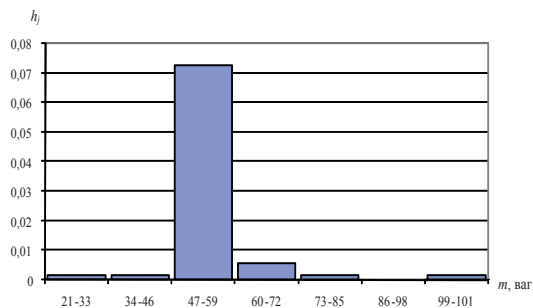


Рис. 6. Гістограма розподілу випадкової величини довжини поїздів

Як видно з розподілу, найбільший інтерес складають ті состави, що мають масовий характер довжини, тобто від 49 до 61 вагону в поїзді (рис. 7).

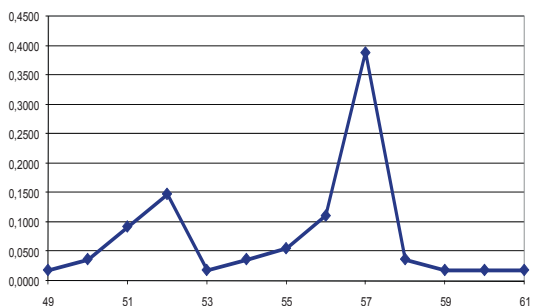


Рис. 7. Гістограма розподілу випадкової величини найбільш ймовірної довжини поїздів

Цей аналіз показує, що 39% транзитних поїздів мають стандартну довжину прийнятих на напрямку, 9% поїздів прямують підвищеної довжини і 52% поїздів мають запас для збільшення довжини. Це пояснюється тим, що частина з них при формуванні обмежувалась за масою, частина формувалась на станціях, що належать до інших напрямків з іншою стандартною довжиною поїздів.

Довжина составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку коливається в межах від 47 до 71 вагону. Розподілення цієї випадкової величини представлено на рис 8а). Цей поїздопотік має як стандартну

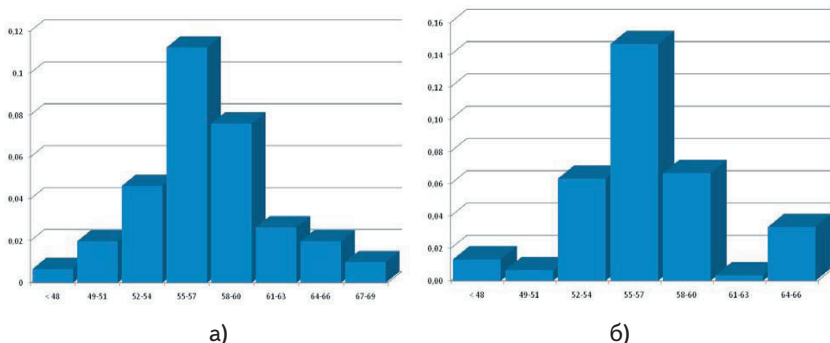


Рис. 8. Гістограма розподілу випадкової величини довжини составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку

довжину прийнятих на напрямку составів (до 57 вагонів), так і практично рівномірнісні відхилення довжини в більшу та меншу сторони. Аналізуючи довжину прийнятно-відправних колій станцій кримського напрямку, можна зазначити, що в експлуатаційній роботі є проблеми із зупинкою поїздів довжиною більше за 61 ум. ваг., тому вони формуються виключно коли диспетчер має можливість без зупинного пропуску довгосоставного поїзду між вузловими станціями напрямку.

Аналіз розподілу довжини поїздів, показує, що вона є випадковою величиною із нормальним законом розподілення: $f(m) = \frac{1}{5,2 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-57,84)^2}{54,08}}$.

Що стосується парного менш завантаженого напрямку, то розподілення є нормальним якщо відкинути порожні подовжені состави (вони складають 10-15% на практиці – рис 8б). Тут спостерігається два піки: більшість поїздів прямує стандартної довжини 57 умовних вагонів та подовженою з порожніми поїздопотоків довжиною 64-66 ваг.

В результаті аналізу структури поїздопотіку вантажних поїздів було визначено, що 90% усіх составів складається із завантаженого вагонопотоку див. рис. 9а), і по 5% змішаного та порожнього вагонопотоків для переважно вантажного напрямку. Середньостатистична кількість порожніх вагонів при цьому складала 10 ваг/сост із дисперсією 12 (ваг/сост)².

В оберненому напрямку переважає вже порожній вагонопотік (близько 50%) а на інших проміжках можливої кількості порожніх вагонів у составах поїздів їх кількість практично рівномірна - рис. 9б).

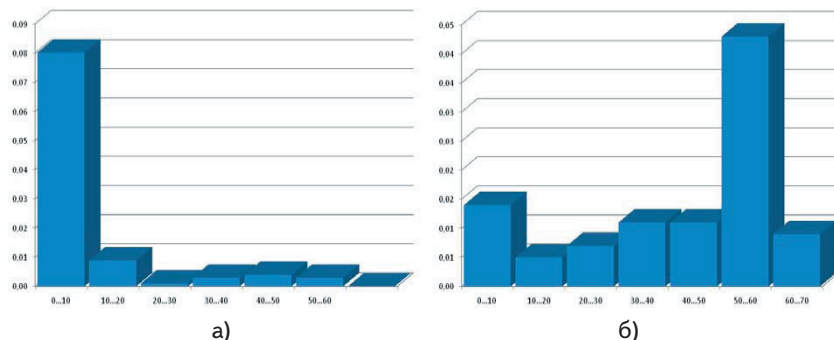


Рис. 9. Гістограма розподілу випадкової величини кількості порожніх вагонів у составах поїздів: а) вантажонапружений напрямок, б) переважно порожній напрямок

Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів (рис 10). Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку. Функціональний зв'язок між масою та довжиною поїздів встановлено методом мінімальних квадратів. Суть його полягає у знаходженні такої функції $Q=f(m)$, яка б найкращим чином описувала поле точок (m, Q). Найкращим чином описує поле точок

функція, яка має найменшу суму відхилень статистичних і теоретичних значень, що в математичному вигляді відповідає запису:

$$S = \sum_{i=1}^n (f(m_i) - Q_i)^2 \rightarrow \min.$$

Графічне зображення поля точок (рис. 10) та отримане значення коефіцієнта кореляції дають підстави для опису залежності лінійною функцією виду $Q = a + bm$. Підставивши цю функцію у вищезазначену формулу, отримуємо цільову функцію

$$S = \sum_{i=1}^n (a + bm_i - Q_i)^2 \rightarrow \min,$$

де a, b – коефіцієнти, які підлягають визначенню.

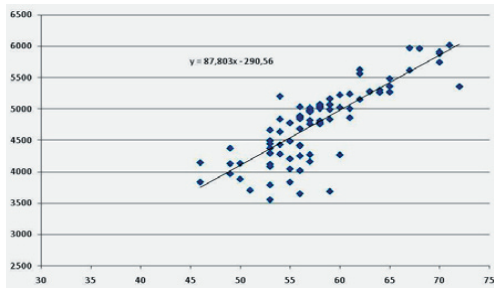


Рис. 10. Поле точок $N(m;Q)$

Для пошуку екстремуму функції знайдені частинні похідні по її аргументам та прирівняні до нуля. В результаті отримано систему лінійних рівнянь із ста-

тистичними параметрами розподілу маси та довжини поїздів:

$$\begin{cases} a + bM[m] = M[Q] \\ aM[m] + bM[m^2] = M[mQ] \end{cases}$$

де $M[m], M[Q], M[m^2], M[mQ]$ – математичні очікування величин довжини составів, маси поїздів, квадрату довжини та добутку маси на довжину поїздів.

З цієї системи виходить, що значення коефіцієнту b є відношенням кореляційного моменту випадкових величин маси та довжини до дисперсії довжини:

$$b = \frac{M[mQ] - M[m]M[Q]}{M[m^2] - (M[m])^2} = \frac{K_{mQ}}{D[m]}.$$

В результаті отримано функціональну залежність $Q = 87,803m - 290,56$.

Висновки

В роботі визначені закономірності параметрів поїздопотоків на пасажиро- та вантажонапружених залізничних напрямках України. Встановлено, що моделювання потоків поїздів не може відбуватися незалежно по напрямкам. Крім того, параметри поїздів не можуть моделюватися окремо кожний, оскільки між ними існує внутрішній кореляційний зв'язок. Отримані результати використовуються в подальшому для побудови математичних моделей залізничних напрямків з метою зменшення експлуатаційних витрат на пропуск поїздопотоків.

Література

1. Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1998. – 175 с.
2. Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем [Текст] / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н.С. Усков ; – М.: Транспорт, 1972. – 207 с.
3. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст] / Ф. Хейт. – М.: Мир., 1966.
4. Форд, Л. Р. Потоки в сетях [Текст] / Л. Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон. – М.: Мир, 1966.
5. Поттгофф, Г. Теория транспортных потоков [Текст] / Г. Поттгофф. – Берлин, 1962.
6. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог в примерах и задачах [Текст] / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 231 с.