

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВАГОНО-ЧАСОВ ПРОСТОЯ В ПРОЦЕССЕ НАКОПЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАНЦИИ ПРИМЫКАНИЯ С ПОДЪЕЗДНЫМИ ПУТЯМИ

Представлен анализ исследований по вопросу процесса накопления вагонов в различных схемах при их подаче на подъездной путь с грузовой станции с учетом закономерностей режимов взаимодействия станций примыкания с подъездными путями. Выполнено исследование по расчету средней величины группы вагонов, поступающей на грузовой фронт, в зависимости от таких факторов, как суточный вагонопоток, количество вагонов в подаче и число грузовых фронтов. Установлена взаимосвязь, имеющая наименьшую погрешность расчетов значений средней величины количества вагонов в группе по сравнению с фактическими данными. Приведены результаты исследований, подтверждающих целесообразность их применения, и определена оптимальная схема накопления вагонов, обеспечивающая наименьшую величину простоя вагонов под накоплением.

Процесс перевозки грузов железнодорожным транспортом представляет собой сложную последовательность выполняемых технических и технологических операций, в которой важное значение имеет четкая работа подъездных путей, во многом определяющих объемы перевозок магистральным железнодорожным транспортом. В свою очередь, выполнение объемов производства предприятиями находится в прямой зависимости от регулярной и своевременной доставки железными дорогами сырья, топлива и других материалов, а также своевременного обеспечения предприятий необходимым количеством подвижного состава для отправки продукции.

В данном аспекте взаимодействие железнодорожных станций примыкания с подъездными путями предприятий является сложным процессом, требующим своевременного решения вопросов, связанных:

– с рациональным распределением операций по обработке вагонов между подъездными путями и станциями примыкания (подборка групп вагонов

по фронтам погрузки-выгрузки, формирование маршрутов);

– установлением расчетных интервалов между подачами групп вагонов и маршрутов на подъездные пути предприятий;

– разработкой мероприятий по сокращению времени нахождения вагонов на путях предприятия, выбором оптимальной схемы механизации и автоматизации погрузочно-выгрузочных работ;

– организацией оперативного руководства и планированием работы на подъездных путях и железнодорожных станциях на основе обмена информацией в реальном режиме времени.

Одним из важных элементов технологии взаимодействия железнодорожных станций и подъездных путей является продолжительность накопления вагонов на технических станциях для подачи их на грузовые фронты. В условиях уменьшения вагонопотока время простоя вагонов под накоплением на станциях отправления и назначения увеличилось, что привело к увеличению срока доставки груза (рисунок 1).

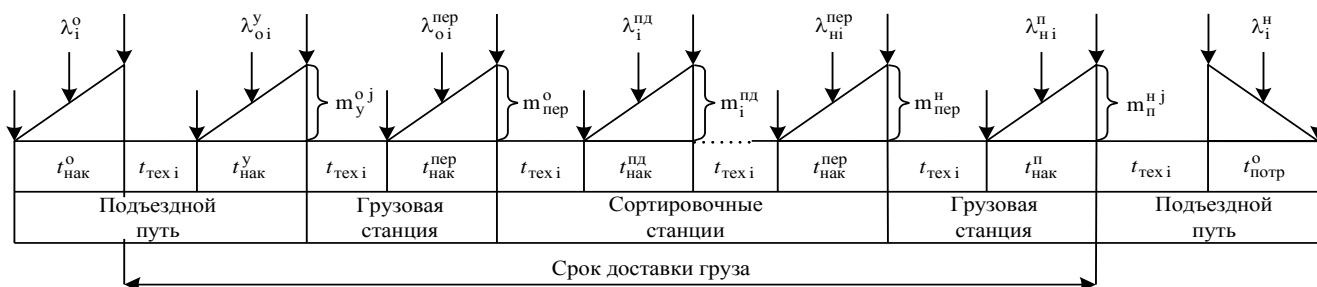


Рисунок 1 – Схема доставки груза железнодорожным транспортом:

$t_{нак}^o$ – продолжительность накопления отправки у отправителя на подъездном пути; $t_{тех i}$ – продолжительность выполнения технологических операций, связанных с перевозочным процессом; $t_{нак}^y$ – продолжительность накопления вагонов на уборку с подъездного пути; $t_{нак}^{пер}$, $t_{нак}^{пл}$ – продолжительность накопления вагонов на передачу, поезд; $t_{нак}^n$ – продолжительность накопления вагонов на подачу на подъездной путь; $t_{потр}^o$ – продолжительность потребления отправки у получателя на подъездном пути; λ_i^o – интенсивность поступления груза на i -ю отправку; λ_{oi}^y , $\lambda_{oi}^{пер}$, $\lambda_{oi}^{пл}$, λ_{oi}^n – интенсивность поступления вагонов, соответственно, на уборку, передачу, поезд, подачу; λ_i^h – интенсивность потребления i -й отправки; m_y^{oj} , $m_{пер}^o$ – количество вагонов в уборке и передаче на станции отправления; $m_i^{пл}$ – количество вагонов в поезде; $m_{пер}^h$, m_y^{hj} – количество вагонов в передаче и подаче на станции назначения

В связи с этим возникает задача исследования процесса накопления вагонов на подачу в зависимости от возможных схем накопления на основании аналитических зависимостей. Одним из критериев выбора оптимального режима взаимодействия станции примыкания с подъездными путями является величина вагоно-часов накопления на подачу, так как простой вагонов под накоплением увеличивает продолжительность доставки груза.

Анализ работ Тихомирова И. Г., Кочнева Ф. П., Повороженко В. В. показал, что предложенные ими формулы по определению параметров накопления наиболее применимы для сортировочных станций [6]. Вагоно-часы накопления авторы предлагают определять из выражения

$$B_n = c_n m, \quad (1)$$

где c_n – параметр накопления; m – состав поезда.

Подробный анализ процесса накопления вагонов на состав поезда для грузовой станции приведен в [1], а также в других научных работах. В исследованиях Козюлина Г. Е. учитывается только влияние вариации величины групп, прибывающих с различных направлений, на параметр накопления [5]. В то же время неравномерность интервала между группами не учитывается. Не принимается также во внимание и очередность поступления групп вагонов, т. е. в начале или в конце процесса накопления осуществляется подвод групп вагонов.

Для учета очередности поступления вагонов под накопление производилось исследование результатов определения расчетных суточных вагоно-часов по аналитической формуле (1) и с фактическими данными (B_{ϕ}). Фактические вагоно-часы определяются из соотношения

$$B_{\phi} = c_{\phi} m, \quad (2)$$

где c_{ϕ} – параметр накопления по фактическим данным.

Рассчитанные вагоно-часы по аналитическим формулам должны совпадать с фактическими данными. Для выполнения данного условия должно соблюдаться равенство

$$c_n m \gamma = c_{\phi} m, \quad (3)$$

где γ – коэффициент, учитывающий корректировку вагоно-часов, рассчитанных по аналитическим формулам, с фактическими данными.

В соответствии с вышеуказанными данными фактические вагоно-часы накопления можно определить исходя из величины вагоно-часов накопления, рассчитанных по аналитической формуле (1):

$$B_{\phi i} = \gamma_i B_{ni}. \quad (4)$$

Данное выражение не учитывает количество вагонов в группе и интервалы их поступления, что в меньшей мере подходит для грузовых станций, поскольку существуют отличительные особен-

ности процесса накопления по сравнению с сортировочными станциями:

- значительные изменения числа вагонов в передаточном поезде или подаче;
- подача вагонов к грузовому фронту к определенному моменту времени;
- значительные колебания количества прибывающих групп и числа вагонов в них.

Изменение интервалов между группами вагонов и простой группы под накоплением может быть охарактеризован коэффициентом вариации. Однако описание изменения интервала между группами и простоя группы под накоплением с помощью коэффициента вариации не позволяет в полной мере учесть очередность поступления групп вагонов: в начале или в конце периода накопления поступают вагоны. Для решения данной задачи было проведено исследование графиков процесса накопления составов местных поездов. В результате анализа было установлено, что основным фактором, влияющим на накопление, является его характер, который представлен на рисунке 2 в виде четырех схем.

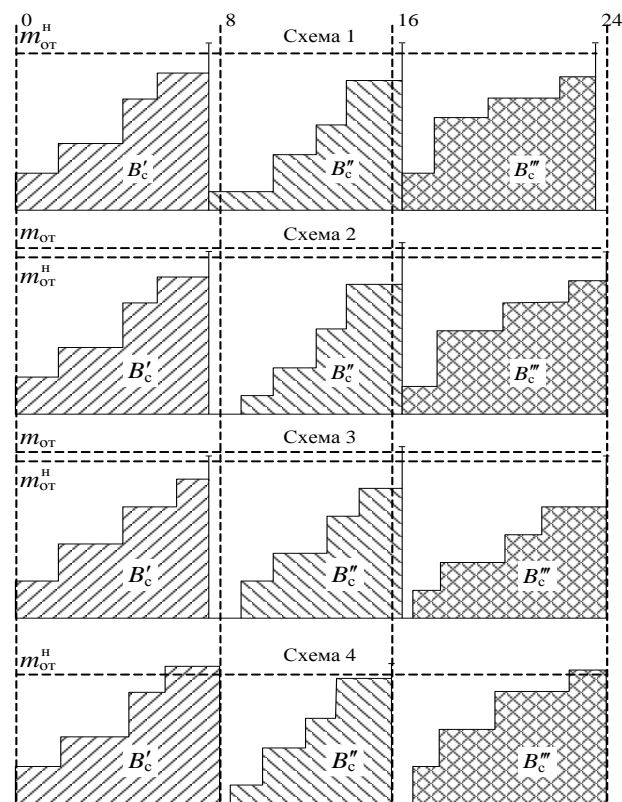


Рисунок 2 – Основные схемы процесса накопления вагонов на грузовой станции:

B_c – вагоно-часы накопления на передачу или подачу;

$m_{от}^н$ – количество вагонов в передаче или подаче; $m_{от}$ – среднее число вагонов в передаче или подаче при отправлении их строго по расписанию

Среднюю величину группы вагонов ($m_{гр}$) в зависимости от суточного вагонопотока можно определить по эмпирической формуле, предложенной Сотниковым Е. А. [4]:

$$m_{гр} = \frac{0,7m_{пр}\sqrt{N_c}}{(5,5+0,024N_c)k'}, \quad (5)$$

где $m_{пр}$ – средний состав поезда по прибытию: для передаточных поездов – средний состав поезда по прибытию на сортировочную станцию; для подач-уборок на подъездные пути – средний состав передаточного (вывозного) поезда; N_c – суточный вагонопоток конкретного назначения; k' – среднее число назначений, на которое прибывают вагоны в одном поезде:

- для сортировочных станций $k' = (0,3 \dots 0,5)k$;
- для грузовых станций $k' = (0,5 \dots 0,6)k$;

где k – общее число назначений.

Аналитические зависимости для определения процесса накопления вагонов позволяют [3]:

– рассчитать характеристики нахождения вагонов на грузовых станциях, например: путь накопления – выставочные пути – пути грузового фронта;

– установить период накопления вагонов в зависимости от неравномерности их поступления, величины подачи, суточного вагонопотока, режимов работы фронта и взаимодействия с маневровыми средствами.

По аналитическим формулам можно определить другие параметры процесса накопления вагонов на состав передаточного поезда или подачи вагонов на подъездные пути (грузовые фронты).

Расчетные формулы определения параметров (затраты вагоно-часов на накопление одной подачи или передачи) для различных схем процесса накопления приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Расчетные формулы определения вагоно-часов простоя для различных схем процесса накопления вагонов

Параметры процесса накопления		Примечание	Значение коэффициента γ
Схема 1 Непрерывный процесс	$B_c = \frac{12\varphi\gamma_1}{N_c} \left(m_{гр} + \frac{m_{от}^H - m_{гр}(1+v_{гр}^2)}{\varphi} \right) \left(m_{гр}v_{гр}^2 + \frac{m_{от}^H}{\varphi} \right)$ $\varphi = \frac{2m_{от}^H - m_{гр}(1+v_{гр}^2)}{2m_{от}^H - m_{гр}(1-v_{гр}^2)}$	N_c – суточный вагонопоток конкретного назначения; $m_{гр}$ – средняя величина группы вагонов на данное назначение; $v_{гр}$ – коэффициент вариации числа вагонов в группе, прибывающей на определенное назначение; $m_{от}^H$ – количество вагонов в передаче или подаче (жестко регламентировано); γ_1 – корректирующий коэффициент	1,09
Схема 2 Частично прерывный процесс	$B_c = \frac{12m_{от}^H\gamma_2}{N_c} (m_{от}^H + 2m_{гр}v_{гр}^2) \frac{2m_{от}^H - m_{гр}(1+v_{гр}^2)}{2m_{от}^H - m_{гр}(1-v_{гр}^2)}$	Число вагонов в передаче или подаче лежит в диапазоне $m_{от}^H < m < m_{от}$. В частично прерывном процессе накопления колебания числа вагонов в составах передачи (подачи-уборки) приводит к сокращению вагоно-часов накопления, а следовательно, и времени накопления T_H . γ_2 – корректирующий коэффициент	1,05
Схема 3 Прерывный процесс	$B_c = \frac{12\gamma_3}{N_c} [m_{от} - m_{гр}(1+v_{гр}^2)](m_{от} + m_{гр}v_{гр}^2)$	По сравнению со схемой 2 $m_{от} = m_{от}^H - 1 + m_{гр}$. Нижняя граница равна $m_{от}^H$, но когда прибывает группа вагонов величины $m_{гр}$, состав становится больше $m_{от}^H$, и все вагоны убираются с пути накопления. γ_3 – корректирующий коэффициент	0,94
Схема 4 Накопление вагонов до определенного момента времени	$B_c = \frac{12\gamma_4}{N_c} (m_{от} - m_{гр})(m_{от} + m_{гр}v_{гр}^2)$	$m_{от}$ – среднее число вагонов в передаче или подаче при отправлении их строго по расписанию, γ_4 – корректирующий коэффициент	1,08

На основании анализа данных таблицы 1 можно сделать вывод, что схема 3 процесса накопле-

ния вагонов на состав подачи или передачи в наибольшей степени может быть использована для

расчета технологических параметров процесса доставки грузов железнодорожным транспортом: срока доставки груза (T_d) и минимального состава подачи или передачи ($m_{от}^H$).

В вышеприведенных формулах определения вагоно-часов накопления встречается параметр $m_{гр}$ – средняя величина группы вагонов, поступающая на грузовой фронт под погрузку-выгрузку, и $v_{гр}$ – коэффициент вариации числа вагонов в группе, прибывающей на определенное назначение, которые также влияют на продолжи-

тельность процесса накопления вагонов на подачу (передачу).

Эмпирическая формула (5), предложенная Сотниковым Е. А. для определения средней величины группы вагонов, не учитывает изменения числа вагонов в группе, прибывающей на определенное назначение, а также имеет ограничение по применению в зависимости от величины суточного вагонопотока.

В таблице 2 приведено описание схем процесса накопления вагонов на состав передачи или подачи.

Таблица 2 – Характеристика схем накопления составов передаточных поездов или подач-уборок вагонов на подъездные пути и их параметров

Номер схемы	Характеристика схемы накопления вагонов и их параметров	Применение
1	Количество вагонов в составе передачи или подачи ($m_{от}^H$) жестко регламентировано ($m_{от}^H = \text{const}$). В отдельные периоды времени возможны перерывы	Обоснование оптимальных режимов взаимодействия станций и подъездных путей (грузовых дворов) по обеспечению полной занятости грузового фронта и эффективному использованию маневровых и поездных локомотивов
2	Число вагонов в передаточном поезде или подаче-уборке вагонов находится в диапазоне $m_{от}^H < m < m_{от}$. Верхняя граница ($m_{от}$) может регламентироваться выполнением срока доставки груза, нижняя граница ($m_{от}^H$) – обеспечением необходимых минимальных объемов работы в течение смены, большими простоями вагонов на станции и др.	Рациональное использование маневровых локомотивов; длины пути подачи-уборки вагонов на грузовой фронт; тяговыми возможностями локомотива и др.
3	Минимальный состав поезда или подачи-уборки ограничен величиной $m_{от}^H$. В то же время, с другой стороны, ограничения практически не существует: прибывает группа вагонов величины $m_{гр}$, состав передачи становится больше величины $m_{от}^H$ и все вагоны отправляются в передаче со станции или подаются с пути накопления на подъездной путь	Используется как при отправлении передаточных поездов с сортировочной на грузовую станцию, так и при подаче-уборке на подъездной путь с грузовой станции
4	Количество вагонов в передаче или подаче ($m_{от}$) определяется исходя из суточного вагонопотока и количества передач или подач-уборок	Накопление передачи или подачи-уборки производится строго по расписанию до определенного момента времени

На основании статистических данных с помощью уравнения множественной регрессии методом Брандона получена аналитическая зависимость средней величины количества вагонов в группе $m_{гр}$ от влияющих факторов [2]. При определении зависимости в качестве изучаемых факторов выбраны: N_c – суточный вагонопоток, поступающий на подъездной путь, $m_{пр}$ – количество вагонов в подаче, k – число грузовых фронтов. Особенность метода заключается в том, что порядок расположения выбранных факторов неважен для точности обработки результатов наблюдений: чем больше влияние на параметр $m_{гр}$ оказывает выбранный фактор, тем меньше должен быть порядковый номер фактора. В результате выполненных исследований на основании коэффициентов детерминации определена последовательность использования переменных и установлена зависи-

мость средней величины группы вагонов от суточного вагонопотока, количества вагонов в подаче и числа грузовых фронтов:

$$m_{гр} = 1,005199 \left(2,81 + 0,008N_c - \frac{8,55}{N_c} \right) \times \left(0,75 + 0,012m_{пр} + \frac{0,60}{m_{пр}} \right) \left(2,19 - 0,034k - \frac{8,24}{k} \right). \quad (6)$$

На основании тех же статистических данных при помощи прикладной программы Statgraphics рассчитана средняя величина количества вагонов в группе $m_{гр}$. Уравнение, описывающее зависимость

$$m_{гр} = f(N_c, m_{пр}, k),$$

имеет вид

$$m_{гр} = 2,02151 + 0,00986227N_c +$$

$$+ 0,0382703m_{\text{пр}} - 0,0116555k. \quad (7)$$

Эмпирическая формула (5) Е. А. Сотникова достоверно описывает среднюю величину группы вагонов $m_{\text{гр}}$, поступающую на грузовой фронт, при суточном вагонопотоке 40 вагонов и более, размере подачи 20–30 вагонов и количестве грузовых фронтов, находящихся в интервале 10–15. Формула (7) точно описывает среднюю величину группы вагонов $m_{\text{гр}}$, поступающую на грузовой фронт, при суточном вагонопотоке 10 вагонов и более, при любых размерах подачи и количестве грузовых фронтов на подъездном пути не более 20. Формула (7), определенная методом Брандона, наиболее точно описывает среднюю величину группы вагонов $m_{\text{гр}}$, поступающую на грузовой фронт, при любых значениях суточного вагонопотока, размера подачи и количества грузовых фронтов на подъездном пути.

Наименьшие отклонения расчетных значений средней величины количества вагонов в группе от фактических значений имеет аналитическая формула, определенная методом Брандона, так как учитывается нелинейная зависимость между изучаемыми факторами.

На продолжительность накопления вагонов на подачу также влияет коэффициент вариации числа вагонов в группе. Поэтому выполнены исследования по определению зависимости коэффициента вариации $v_{\text{гр}}$ от средней величины группы вагонов $v_{\text{гр}} = f(m_{\text{гр}})$, поступающих на грузовой фронт (рисунок 3).

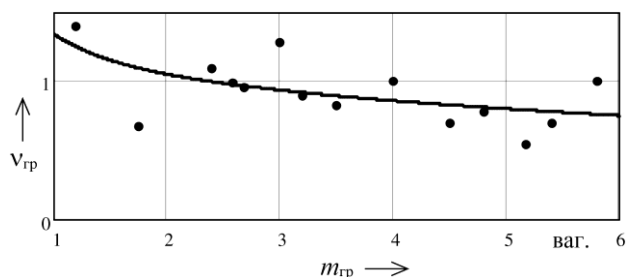


Рисунок 3 – Графическая зависимость коэффициента вариации от средней величины группы вагонов

Выполненные исследования позволили установить следующую зависимость, которая также использовалась при определении величины вагоно-часов простоя:

$$v_{\text{гр}} = 0,860 - 0,033m_{\text{гр}} + \frac{0,515}{m_{\text{гр}}}. \quad (8)$$

Вагоно-часы простоя под накоплением на основании полученных аналитических зависимостей определялись по методу Брандона как наиболее точно описывающему взаимосвязи между суточным вагонопотоком, количеством вагонов в подаче и числом грузовых фронтов.

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Затраты вагоно-часов накопления на подачу с учетом коэффициента вариации, зависящего от количества вагонов в группе

Суточный вагонопоток	Вагоно-часов простоя для различных схем процесса накопления			
	1	2	3	4
10	525,08	523,29	415,68	473,37
20	260,76	262,68	199,62	231,13
30	173,49	175,34	130,65	152,38
40	130,00	131,60	96,75	113,39
50	103,96	105,34	76,59	90,12
60	86,61	87,81	63,23	74,66
70	74,23	75,29	53,73	63,64
80	64,94	65,90	46,62	55,39
90	57,72	58,59	41,10	48,97
100	51,94	52,74	36,70	43,85

Как показали результаты расчетов, выполненные для $m_{\text{пр}} = 20$ вагонов, $k = 15$ фронтов, максимальная величина вагоно-часов простоя под накоплением приходится на схему 2, когда применяется частично прерывный процесс накопления и число вагонов в передаточном поезде или подаче лежит в определенном диапазоне $m_{\text{от}}^{\text{H}} < m < m_{\text{от}}$.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наименьший простой вагонов под накоплением наблюдается при применении схемы 3 (прерывный процесс накопления вагонов), которая является наилучшей схемой накопления вагонов на грузовой станции для подачи на подъездной путь.

Графическая зависимость сокращения вагоно-часов простоя под накоплением на подачу с учетом формулы (8) представлена на рисунке 4.

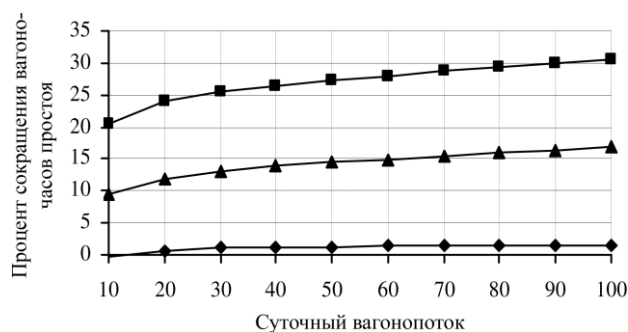


Рисунок 4 – Сокращение вагоно-часов простоя под накоплением относительно схемы 2:

—◆— схема 1; —■— схема 3; —▲— схема 4

В данном случае минимальный состав подачи уборки ограничен величиной $m_{\text{от}}^{\text{H}}$, но в то же время ограничения практически не существуют, когда прибывает группа вагонов величины $m_{\text{гр}}$, состав подачи становится больше величины $m_{\text{от}}^{\text{H}}$, и все вагоны подаются с пути накопления на подъездной путь.

Исследования позволили:

– определить значимые факторы, влияющие на процесс накопления вагонов для подачи на подъездной путь (суточный вагонопоток, количество вагонов в подаче, число грузовых фронтов, а также коэффициент вариации числа вагонов в группе);

– разработать адекватную математическую модель по определению средней величины группы вагонов на основе анализа выборочной совокупности статистических данных о процессе накопления вагонов, что позволило учесть сложный характер взаимодействия станции примыкания с подъездными путями;

– получить расчетные значения вагоно-часов простоя под накоплением по каждой схеме для различных величин суточного вагонопотока и определить оптимальную схему накопления вагонов, обеспечивающую сокращение срока доставки грузов.

Получено 12.10.2009

Y. V. Alferovich. Research of fluctuation of wagon-hours of idle time in the course of accumulating depending on interaction modes of the stations of adjunction with secondary railways.

The analysis of researches concerning process of accumulating of rail cars in various schemes is presented at their giving on a secondary railway from a freight yard with allowance for laws of modes of interaction of stations of an adjunction with secondary railways. Research on account of an average of group of the rail cars acting on cargo front depending on such factors, as is executed: a daily traffic volume, quantity of rail cars in giving and number of cargo fronts. The interrelation having the least error of accounts of significances of an average of quantity of rail cars in group in comparison with the fact sheet is installed. Results of the above-named researches confirming expediency of their application are reconciled, and the optimum scheme of accumulating of the rail cars, supplying the least size of a load-unload time under accumulating is specified.

Список литературы

1 **Чурай, В. В.** Исследование процесса накопления вагонов на грузовых и пограничных станциях / В. В. Чурай // Сборник студенческих научных работ. Вып. 1 / под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелГУТ, 1996. – С. 93–101.

2 **Кафаров, В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 464 с.

3 **Яловой, Ю. Г.** Организация перевозок на промышленном транспорте / Ю. Г. Яловой, А. М. Катляров. – М. : Транспорт, 1982. – 248 с.

4 **Сотников, Е. А.** Интенсификация работы сортировочной станции / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1979. – 230 с.

5 **Козюлин, Г. Е.** Затраты вагоно-часов на накопление составов сквозных и участковых поездов / Г. Е. Козюлин // Тр. МИИТ. Вып. 458. – М. : Транспорт, 1985. – С. 24–32.

6 Организация движения на железнодорожном транспорте : учеб. пособие для вузов. Ч. 1 / И. Г. Тихомиров [и др.] ; под общ. ред. И. Г. Тихомирова. – 3-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 1979. – 192 с.