

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ

Пропонується адаптивна система організації вагонопотоків, яка в умовах нерівномірності потужності вагонопотоку та транспортного попиту є одним із засобів підвищення ефективності перевезень та прискорення обігу вагона за рахунок скорочення простою вагонів під накопиченням та підвищенням рівня транзитності вагонопотоків на технічних станціях.

Предлагается адаптивная система организации вагонопотоков, которая в условиях неравномерности мощности вагонопотока и транспортного спроса является одной из мер повышения эффективности перевозок и ускорения оборота вагона за счет сокращения простоя вагонов под накоплением и повышением уровня транзитности вагонопотоков на технических станциях.

The adaptive system of the organisation of car traffic volumes, which in the conditions of non-uniformity of the traffic volume capacity and transport demand is one of measures of increasing the efficiency of transportations and acceleration of a car turn owing to the reduction of idle time of cars under accumulation and increase of level of the transit car traffic volume at technical stations is offered.

Развитие рыночных отношений в нашей стране требует дальнейшего совершенствования эксплуатационной работы железной дороги, эффективного использования трудовых ресурсов и производственных фондов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте действует достаточно совершенная система организации вагонопотоков [1]. Она представляет собой совокупность взаимосвязанных подсистем:

- информационного обеспечения, ориентированной на автоматизацию определения основных расчетных нормативов;
- экономико-экономического обоснования и оптимизации организации маршрутных поездов на грузовых станциях и поездов из немаршрутизируемых с мест погрузки вагонопотоков, формируемых на сетевых опорных станциях из груженых и порожних вагонов;
- расчета внутридорожных планов формирования поездов различных категорий для станций, расположенных в районах местной работы;
- реализации нормативного плана формирования поездов, оперативной его корректировки на основе рационального управления вагонопотоками;
- контроля за исполнением плана формирования грузовых поездов на всех уровнях управления.

Современная система организации вагонопотоков в значительной степени определяет производительность работы поездных и маневровых локомотивов, интенсивность использования вагонного парка, сортировочных уст-

ройств и путевого развития станций, сохранность груза при транспортировке, выполнение срока доставки груза и норм оборота вагонов, показателей эксплуатационной работы.

Оптимизация системы организации вагонопотоков позволяет сократить затраты на осуществление перевозочного процесса, улучшить финансовое положение дороги. За последние годы железными дорогами совместно с научно-исследовательскими организациями была проделана большая работа по совершенствованию методики оптимизации системы организации вагонопотоков. Однако не удалось преодолеть важных методологических недостатков существующей парадигмы.

Во-первых, коллективы станций в существующей системе организации вагонопотоков поставлены в жесткие условия ограниченного выбора, что делает невозможным переход к созданию свободных рыночных механизмов на транспортном рынке.

Во-вторых, попытка вести управление вагонопотоками на основе их средних значений оказывается малоэффективной. Она не позволяет станциям приспосабливаться к резко меняющимся вагонопотокам (часто случайным образом). Мало того, неэффективно используется локомотивный парк, сортировочные устройства и другие технические системы. В результате больших колебаний струи вагонопотока достигают размеров переработки на попутных станциях, управлять которой практически невозможно.

В-третьих, система организации вагонопотоков на практике «распадается» на отдельные

изолированные подсистемы. Первая подсистема решает задачи выбора направления вагонопотоков при наличии параллельных линий и по кратчайшему пути в обычных условиях. Очевидно, что раздельное решение задачи направления вагонопотоков и задачи оптимизации распределения сортировочной работы на направлении приводит к значительным потерям. В условиях рынка резко возрастает роль комплексного решения этой задачи, тем более что на сети железных дорог наблюдается тенденция опережающих темпов роста эксплуатационных тонно-км над тарифными. Сложившаяся практика производственно-хозяйственной деятельности и организации вагонопотоков имеет и слабую нормативную базу. В качестве примера можно привести такой факт: оперативные работники не имеют никаких данных о поучастковской себестоимости перевозок и поэтому не имеют возможности эффективно управлять перевозочным процессом. Именно поэтому сегодня очень важно приступить на дороге к разработке системы функциональных зависимостей технико-экономических показателей работы объектов от меняющихся условий работы. Только такой подход открывает перспективу для оптимального управления перевозочным процессом. Здесь целесообразно отметить, что использование функциональных зависимостей не только делает возможным анализ экономической деятельности и производственного потенциала, но и позволяет увеличить возможность вычислительной техники. Сегодня же не ведется даже расчет такого показателя как себестоимость перевозок по отдельным участкам дороги. В результате *a priori* принимается, что наиболее выгодным с точки зрения экономики является пропуск вагонопотоков по кратчайшим путям. Однако себестоимость перевозок по отдельным участкам дороги может отличаться в 2...7 раз и поэтому следует вести пропуск вагонопотоков не всегда по кратчайшим путям, а по наиболее экономичным маршрутам.

Переход на адаптивную систему организации вагонопотоков является сегодня одной из важных мер повышения эффективности перевозок и ускорения оборота вагона за счет сокращения простоя вагонов под накоплением и повышением уровня транзитности вагонопотоков на технических станциях Белорусской железной дороги. Адаптивная система организации вагонопотоков особенно эффективна в условиях повышения массы поездов и при работе на удлиненных тяговых плечах, т.к. ликвидиру-

ется отцепка поездных локомотивов на станциях обмена групп вагонов.

Внедрение адаптивной системы организации вагонопотоков имеет два аспекта: внутридорожный и междорожный. В первом случае значительно упрощается планирование и организация работы с групповыми поездами на станциях и участках в пределах границ дороги. Во втором случае требуется разработка согласованной технологии на больших полигонах, что несколько затрудняет условия эксплуатационного персонала.

Принципиальным положением новой технологии является переход к адаптивному выбору сортировочной станцией типа поезда (однотруппный или многотруппный) и повышению уровня его организованности после прохода очередной сортировочной станции. Возможны следующие принципиальные технологии.

Технология 1. На железнодорожном направлении устанавливается специальным расчетом с учетом вероятностных колебаний вагонопотоков план формирования однотруппных поездов. Для накопления вагонов каждого назначения выделяются отдельные пути. С целью сокращения простоя вагонов сквозных назначений их возможно отправлять не только однотруппными, но и групповыми поездами. В этом случае теоретически максимальное количество поездных групп равно количеству однотруппных назначений, формируемых станцией в данном направлении. Следует отметить, что расчет плана формирования поездов при незначительных колебаниях расчетных нормативов весьма существенно деформирует принятое решение, что свидетельствует о целесообразности применения адаптивной технологии, которая может приспособливаться к изменяющимся условиям эксплуатации, т.е. резкому изменению мощности струй и колебанию расчетных нормативов.

Технология 2. При наличии достаточного числа путей в сортировочном парке или их секционировании возможно выделять отдельные пути для накопления вагонов, идущих в адрес каждой впереди расположенной сортировочной станции. Такая технология позволяет формировать поездные группы только в адрес только одной сортировочной станции. В этой технологии максимальное количество поездных групп равно количеству впереди расположенных станций.

Технология 3. Вагоны маломощных назначений накапливаются на одном пути, и после пропуска потока через вспомогательное сорти-

ровочное устройство, которое размещено в хвостовой горловине сортировочного парка, вагонопоток перегруппируется в соответствии с географическим расположением сортировочных станций.

Дальнейшее совершенствование системы организации вагонопотоков неразрывно связано с поиском новых технологий работы железнодорожных направлений Белорусской железной дороги. Исследования показывают, что в результате резкого падения объемов работы сильно изменились режимы работы железнодорожных станций. Поэтому с целью экономии энергетических и других видов ресурсов важное значение приобретает поиск новых способов сокращения расходов. Необходимость внедрения новых технологий диктуется и необходимостью сокращения простоев вагонов на участковых и сортировочных станциях. Анализ работы железнодорожных станций показал, что наибольшая часть простоя связана с нахождением вагона под накоплением на сортировочных и участковых станциях, который определяется по формуле (1).

$$t_n = \frac{\sum C_j m_j}{N}, \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где C_j – параметр накопления j -го назначения;
 m_j – среднее количество вагонов в поезде j -го назначения;
 N – среднесуточное количество формируемых на станции вагонов;
 n – количество назначений, формируемых на станции.

Анализ зависимости (1) показывает, что величина t_n быстро уменьшается в зоне от 0 до 100 вагонов в сутки, а при $n > 100$ вагонов уменьшается медленно. Учитывая, что средняя мощность назначений на полигоне сети Белорусской железной дороги стала меньше 70 вагонов, то станции оказались в зоне высокой чувствительности и к изменению нагрузки.

Для доказательства этого положения определим скорость изменения параметра t_n , т.е.

$$dt_n / dN = Cm / N_n^2. \quad (2)$$

Если происходит изменение N_n , то относительная чувствительность изменения параметра будет равна

$$\gamma = (Cm / N_{n1}^2) / (Cm / N_{n2}^2). \quad (3)$$

Преобразуя (3), получим

$$\gamma = N_{n1}^2 / N_{n2}^2. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что изменение чувствительности равно отношению квадратов величин средней мощности назначений. Например, изменение средней мощности назначений со 120 до 60 вагонов в сутки приводит к повышению чувствительности параметра t_n в 4 раза.

Работа станций Белорусской железной дороги в зонах мощности назначений меньше 60...70 вагонов в сутки требует значительного усиления внимания к оперативной организации вагонопотоков в групповые поезда. Технология и конструкция современных станций должны обеспечить устойчивое формирование и обращение таких поездов.

На сегодня в теории и практике организации вагонопотоков лежит принцип выделения дальних струй. Таким образом, общая экономия времени $T_{эк}$ в приведенных часах от пропуска одного вагона струи N через i -ю станцию без переработки определяется как усредненная величина. Применяемый в настоящее время в системе организации принцип выделения дальних струй не учитывает внутреннюю организацию струи. Т.е. его недостатками являются, во-первых, большое допустимое количество вагонов в составе поезда. В результате на каждой станции, где осуществляется переработка, приходится выполнять дробную сортировку, затрачивая на это неоправданные материальные, трудовые и энергетические ресурсы.

Формирование групповых поездов приводит к значительному сокращению простоя вагонов под накоплением. Групповые поезда формируют из двух и более назначений, причем вагоны каждого назначения подбирают в отдельную группу. К сожалению, большинство железнодорожных станций и направлений работают в условиях высокой неравномерности вагонопотоков, и сфера реальной эффективности групповых поездов оказывается значительно ниже теоретической, и поэтому на практике такая система используется весьма осторожно. В связи с этим предлагается новая технология формирования групповых поездов, которая предусматривает создание на направлении (полигоне) станций обмена групп, систематизирование размещения групп в поезде и ограничение их количества до трех. Принципиальным отличием новой технологии является постоянное повышение уровня организованности поезда по мере его продвижения от начальной до конечной станции. Вагоны в составе должны подбираться в соответствии с географическим расположением станций переработки, а количество

групп в составе не должно превышать трех. Новая технология носит адаптивный характер и предполагает набор допустимых вариантов объединения групп по станциям направления.

Указанная технология предполагает:

- установление ниток графика на направлении, по которым организуется отправление групповых поездов с возможным согласованным подводом групп вагонов;

- обеспечение формирования (в пределах допустимых норм) тяжеловесных групп и включения в групповой поезд максимального количества вагонов соответствующего назначения, поступивших до его прибытия на станцию;

- непрерывное планирование поездообразования на направлении, с целью снижения простоя подвижного состава;

- минимизацию маневровой работы и безопасное размещение порожних вагонов в составе поезда;

- выделение специальных путей на станциях направления для формирования групповых поездов.

Внедрение новых технологий неразрывно связано с выбором оптимального количества групп в поезде. Выполненные исследования и анализ показателей работы станций показывает, что с увеличением количества групп в составе поезда простой вагонов под накоплением сокращается. Однако рост количества групп приводит к усложнению работ по перецепке групп или их переформированию. Поэтому необходимо выбрать такое количество групп, при которых суммарные затраты будут наименьшими.

Для выбора оптимального количества поездных групп необходимо исходить из условия исключения перестановки транзитных групп поезда. Поэтому технология должна обеспечить условия, когда на каждой станции перегруппировки групп местная группа должна быть крайней, которая может располагаться в головной или в хвостовой частях поезда. Станции перегруппировки также должны обеспечивать отправление поезда на смежную станцию с местной группой, расположенной с головы или хвоста поезда. Станции также должны обеспечивать отправление поезда на смежную станцию с местной группой, расположенной с головы или хвоста поезда.

Таким образом, выполнить указанные требования возможно, только если в составе поезда будет не более трех групп. В этом случае после отцепки группы местных вагонов на пути

перестановки остаются две транзитные группы. Пополнение состава может происходить с любой стороны. В отдельных случаях транзитные группы могут следовать далее и без накопления.

Один из принципиальных вопросов новых технологий является выбор сфер целесообразности перецепки группы или расформирования.

Перецепка групп вагонов целесообразна при наличии на сортировочных и участковых станциях специальных устройств и их рационального размещения. Скоростная перецепка групп может быть организована только при подключении к этой работе локомотивов сортировочной горки и вытяжек. При этом должна обеспечиваться возможность одновременной обработки, как с головы, так и с хвоста поезда. Такая возможность обеспечивается только при расположении специальных парков перецепки параллельно сортировочному. На отдельных станциях эту роль могут взять на себя крайние пути сортировочных парков, на которые имеются выходы в обход сортировочной горки.

Формирование групповых поездов через сортировочную горку позволяет значительно повысить поточность и технологичность операций. Однако такой способ формирования может увеличить объем переработки, что является основной причиной малого удельного веса групповых поездов, формируемых на сети Белорусской железной дороги. Однако применение предлагаемой технологии позволит существенно увеличить среднее количество вагонов в отцепе, повысить скорость роспуска, резко сократить расходы на расформирование состава поезда. Выбор способа перегруппировки составов необходимо выполнять на основе технико-экономических расчетов. Для этого необходимо определить среднее количество перецепок на направлении.

Количество перецепок зависит от числа сортировочных и участковых станций на направлении, структуры вагонопотоков и многих других факторов.

Вагоны самой дальней струи вагонопотока максимально могут перецепляться $(k - 2)$ раз, то есть на каждой попутной технической станции. Минимальное количество перецепок равно нулю. Поэтому в среднем, когда отсутствует целенаправленное направление на уменьшение перецепок, количество перецепок этой струи составит $(k - 2)/2$.

Вагоны следующей струи (по дальности) головной станции будут перецепляться в сред-

нем $(k - 3)/2$. Вагоны менее дальних струй $(k - 4)/2$, $(k - 5)/2$ и т.д.

В общем виде среднее количество перецепок на направлении, включающем k станций, можно определить по формуле:

$$n_{\text{переч}} = \frac{(k-2) + (k-3) \cdot 2 + (k-4) \cdot 3 + (k-5) \cdot 4 + \dots}{2} \quad (5)$$

Для иллюстрации рассмотрим линейное железнодорожное направление с четырьмя стан-

циями (рис. 1).

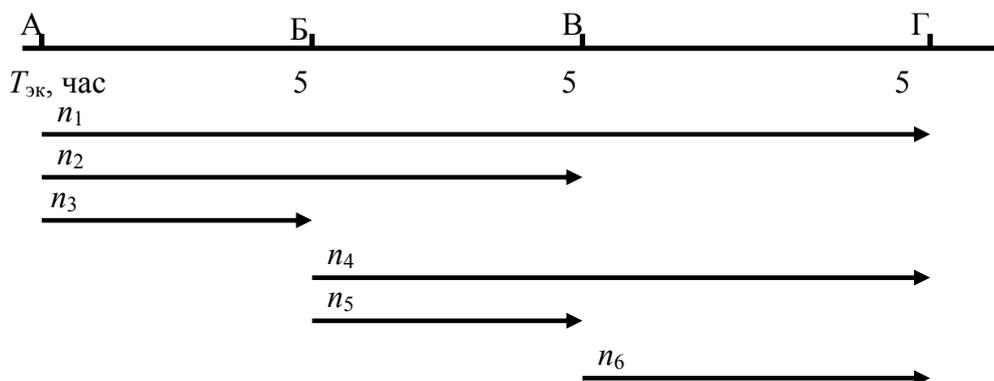


Рис. 1. Исходные данные для определения оптимального плана формирования поездов на участке из 4-х технических станций

При адаптивной технологии переработки вагонопотока, когда на каждой станции направления струи накапливаются отдельно, а затем формируются одnogруппные, двухгруппные или трёхгруппные поезда, то затраты вагоно-часов изменятся. При этом в самом благоприятном случае струя 1 будет иметь 0 перецеп-

пок, а в неблагоприятном – 2. Расчет среднего количества перецепок приведен в табл. 1.

Обобщая результаты табл. 1, можно отметить, что общее количество перецепок (наиболее вероятное):

$$\begin{aligned} \text{для первой струи} & n_{\text{переч},1} = (k_{\text{ст}}^1 - 2)/2; \\ \text{для второй струи} & n_{\text{переч},2} = (k_{\text{ст}}^2 - 2)/2; \\ \text{для четвертой струи} & n_{\text{переч},4} = (k_{\text{ст}}^4 - 2)/2. \end{aligned}$$

Таблица 1

Расчет количества перецепок

Номер струи	Количество перецепок		Среднее количество перецепок
	благоприятный исход	неблагоприятный исход	
1	0	2	1
2	0	1	0,5
4	0	1	0,5
Общее количество перецепок	0	4	2

Подставив исходные данные в выражение (5), для направления из четырех станций получим

$$n_{\text{переч}} = \frac{(4-2) + (4-3) \cdot 2}{2} = 2 \text{ перецепки};$$

для направления из пяти станций –

$$n_{\text{переч}} = \frac{(5-2) + (5-3) \cdot 2 + (5-4) \cdot 3}{2} = 5.$$

Аналогично для направлений, включающих k станций соответственно:

$$\begin{aligned} k = 6 - n_{\text{переч}} &= 10; & k = 7 - n_{\text{переч}} &= 17,5; \\ k = 8 - n_{\text{переч}} &= 28,0 & k = 9 - n_{\text{переч}} &= 45,0. \end{aligned}$$

Общее количество перецепок можно определять по ранее полученной формуле (5) или по выражению

$$n_{\text{переч}} = \frac{n_{\text{ст}}^1 - 2}{2} + \frac{n_{\text{ст}}^2 - 2}{2} + \frac{n_{\text{ст}}^4 - 2}{2} = \frac{1}{2}(n_{\text{ст}}^1 + n_{\text{ст}}^2 + n_{\text{ст}}^4 - 2Z), \quad (6)$$

где $n_{ст}^1, n_{ст}^2, n_{ст}^4$ – количество станций, которые проследует струя (с учетом станций зарождения и погашения);

Z – количество сквозных назначений.

Однако, наличие системы управления, как показало моделирование процесса перегруппировки, приводит к резкому снижению количества перецепок, особенно при большом количестве станций на направлении. Поэтому реальное количество перецепок определять по формулам

$$n_{переч} = \frac{[(k-2) + (k-3)/2 + (k-4)/3 + \dots] \varphi}{2}$$

$$\text{или } n_{переч} = \frac{1}{2} (n_{ст}^1 + n_{ст}^2 + n_{ст}^4 - 2Z) \varphi, \quad (7)$$

где φ – коэффициент, который учитывает влияние системы управления на количество перецепок.

Анализ формул (7) показывает, что наименьшее количество перецепок будет при максимальном объединении в групповые поезда наиболее дальних назначений.

Наиболее целесообразные варианты организации вагонопотоков в групповые поезда необходимо устанавливать на основе технико-экономических расчетов.

Применение предлагаемой технологии, а именно, вагоны должны подбираться в соответ-

ствии с географическим положением станций переработки, а количество групп в составе не должно превышать трех, позволит получить целый комплекс косвенных эффектов, т.е. снизится загрузка станций, повысится транзитность маломощных вагонопотоков, загрузка маневровых локомотивов на технических станциях, снизится срок доставки грузов и т.п. Кроме того, с увеличением количества станций на расчетном полигоне эффект от применения новой технологии увеличивается. Аналогичное влияние на величину эффекта оказывает и сокращение продолжительности перецепки вагонов.

Для проверки аналитических зависимостей было выполнено графическое моделирование работы железнодорожного направления, включающее 8 станций. Результаты моделирования показали, что средний простой вагонов под накоплением при адаптивной системе организации вагонопотоков не зависит от количества назначений.

Для определения эффективности групповых поездов было рассмотрено несколько направлений Белорусской железной дороги. В качестве примера на рис. 2 приведена диаграмма вагонопотоков на направлениях Брест–Орша–Смоленск.

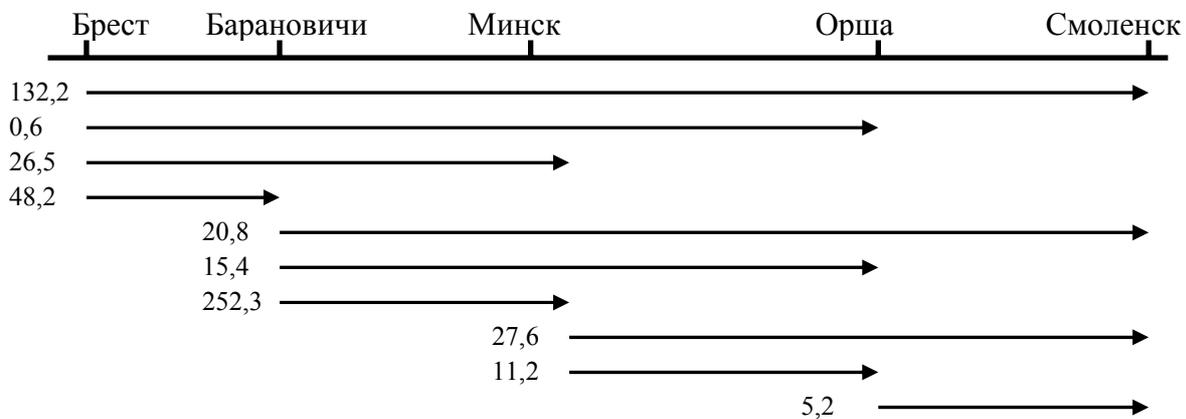


Рис. 2. Диаграмма вагонопотоков на направлении Брест–Смоленск

Анализ данных рис. 2 позволяет отметить чрезвычайно высокий уровень колебаний мощности струй вагонопотоков на направлении Брест–Орша–Смоленск от 0,6 вагона в сутки до 252,3 вагона в сутки. Очевидно, что в таких условиях, как показали исследования, действующая система организации вагонопотоков не может обеспечить максимальную эффективность перевозочного процесса. Аналогичная ситуация характерна и для направления Брест–

Гомель. Это направление отличается дополнительно и малой мощностью струй.

Для расчетов по эффективности новой технологии использованы следующие данные: параметр накопления $C = 10$, среднее число вагонов в составе поезда $m = 60$, $T_{эк} = 5$. Кроме того, исследовано влияние $T_{эк}$ на выбор технологии.

При традиционном подходе суммарные затраты вагоно-часов для направления Брест–Орша–Смоленск составят

$$B_n = 4 \cdot 10 \cdot 60 + 5 \cdot (139,2 + 0,6 + 26,5 + 20,8 + 15,4 + 27,6) = 3550,5 \text{ ваг-час.}$$

При новой технологии, если предположить, что на перецепку группы вагонов в среднем затратить 0,5 часа и простой под накоплением вырастет на 30 %, то

$$B_n = 1,3 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 60 + 0,5 \cdot (1,5 \cdot 139,2 + 1 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 26,5 + 1 \cdot 20,8 + 0,5 \cdot 15,4 + 0,5 \cdot 27,6) = 3252,5 \text{ ваг-час.}$$

Если $T_{\text{пер}} = 2$ часа, то

$$B_n = 1,3 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 60 + 2 \cdot (1,5 \cdot 139,2 + 1 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 26,5 + 1 \cdot 20,8 + 0,5 \cdot 15,4 + 0,5 \cdot 27,6) = 3649,9 \text{ ваг-час.}$$

Выводы

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие выводы.

На участке Брест–Смоленск предлагаемая технология дает ожидаемый эффект при $T_{\text{эк}} = 5$ ч и увеличении времени простоя под накоплением на 30, 50 и 70 %. При $T_{\text{эк}} = 5$ ч эффект наблюдается при увеличении времени на пере-

цепку на 30 %, а также при увеличении времени простоя под накоплением на 50 % образуется эффект при времени на перецепку 0,5 часа.

На направлении Гомель–Брест экономия наблюдается при увеличении времени под простоем на 30 %. На направлении Брест–Гомель технология эффекта не дает.

Кроме того, с увеличением времени на перецепку экономия вагоно-часов уменьшается.

Внедрение данной технологии позволит получить целый комплекс косвенных эффектов – снизится загрузка станций, повысится транзитность потоков, уменьшится потребность в штате, капитальных вложениях, энергетических ресурсах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) [Текст] / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

Поступила в редколлегию 14.06.2010.

Принята к печати 16.06.2010.