

УДК 656.225.022.5

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ², В. О. БАЛАНОВ³, В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 09, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, эл. почта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта vladimir.balanov@mail.ru, ORCID 0000-0002-6137-3420

^{4*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 957 51 36, эл. почта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

РЕЗЕРВЫ ВРЕМЕНИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО РАСПИСАНИЮ

Цель. Статья посвящена разработке методов оценки величины резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, необходимых для обеспечения устойчивого взаимодействия технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог, при перевозке грузов по расписанию. **Методика.** В работе рассмотрены вопросы организации перевозки массовых грузов между промышленными предприятиями по расписанию. Для того, чтобы обеспечить поступление поездов на станции назначения к заданному моменту времени, графики оборота составов должны иметь резервы времени. Эти резервы, в свою очередь, должны быть достаточными для парирования воздействия дестабилизирующих факторов. Для исследования качества выполнения графика движения отдельными поездами использованы методы математической статистики. В настоящее время движение основной части грузовых поездов осуществляется при их готовности, а процессы занятия отдельных ниток графика определенными составами не фиксируются. Поэтому анализ графиков исполненного движения грузовых поездов не позволяет получить материал для исследования. Авторами, ввиду отсутствия статистического материала по пунктуальности выполнения графика движения грузовыми поездами, были выполнены исследования движения пассажирских поездов с последующим распространением результатов на грузовое движение. **Результаты.** Исследованием доказано, что прибытие поездов на станции назначения в соответствии с графиком должно обеспечиваться за счет установления допустимой величины опоздания, а также увеличения времени хода поездов и межпоездных интервалов. Предложены значения дополнительных резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, для обеспечения условного взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий Украины. **Научная новизна.** На основании выполненных исследований усовершенствованы методы разработки графиков оборота составов поездов, обеспечивающих перевозку грузов по расписанию. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для технико-экономических расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии.

Ключевые слова: движение поездов по расписанию; резерв времени; расписание; график движения поездов; опоздание поезда

Введение

Переход Украины к рыночной экономике вызвал значительные изменения в условиях эксплуатации железнодорожного транспорта. Работа в условиях конкуренции с автомобильным транспортом, задекларированный в проекте Закона Украины «О железнодорожном

транспорте» выход на магистральную сеть независимых перевозчиков требует совершенствования логистических технологий перевозок с участием железнодорожного транспорта.

Одной из проблем работы современного железнодорожного транспорта Украины является низкая скорость доставки грузов, составляющая порядка 10 км/ч и высокая неравномерность

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

перевозок. Решение данной проблемы может быть достигнуто за счет развития технологии перевозки грузов по расписанию на основе твердых ниток графика [5].

Технология отправления грузовых поездов по расписанию широко используется на железных дорогах Северной Америки и Европейского Союза. Так в США постоянным расписанием охвачено порядка 80 % вагонопотока. В частности, организовано движение поездов, перевозящих скоропортящиеся и другие ценные грузы с минимальным сроком доставки. Время доставки определяется по графику прибытия на конечную станцию.

На железных дорогах Канады действует постоянное расписание движения грузовых поездов, в котором отдельные «нитки» могут сниматься при отсутствии грузов или в целях оказания технологических «окон» для проведения ремонтных работ, а также при возникновении каких-либо сбоев в движении поездов.

Отправление поездов по расписанию широко практикуется в странах Европейского Союза, где реализован принцип вертикального разделения рынка железнодорожных перевозок и недискриминационного доступа перевозчиков на инфраструктуру железнодорожного транспорта. Для согласования потребностей различных перевозчиков выполняется процедура распределения пропускной способности. При этом перевозчики проводят свои поезда по выделенным ниткам графика.

В Российской Федерации реализуется «Комплексная программа поэтапного перехода на организацию движения грузовых поездов по расписанию на 2011–2015 гг.». В соответствии с этой программой движением по твердым ниткам должно быть охвачено 80 % поездов.

В чем же причины отклонения движения грузовых поездов от графика?

Анализ выполнения графика в грузовом движении представлен в [2]. В соответствии с результатами анализа только 30 % поездов имеют отклонение времени движения по участку до 5 %, 30 % поездов – 5–15 %, и 40 % поездов – более 15 %.

Отклонение фактического времени движения от графикового имеет ряд причин. Во-первых, при разработке графика движения поездов в качестве исходных данных принимаются расчетные параметры поездных локомотивов

и составов. Отклонение фактических параметров локомотивов и составов от расчетных, индивидуальные особенности машинистов приводят к изменению времени движения поездов. Во-вторых, в грузовом движении практикуется стимулирование машинистов за экономию топлива и электроэнергии. В этой связи, при наличии резервов пропускной способности, осуществляется оптимизация режима движения поезда по показателю расхода энергии, что приводит к увеличению на 5–30 % времени их следования [8]. И, наконец, увеличение времени движения грузовых поездов происходит из-за сбоев в работе технического, технологического и другого характера.

Необходимо отметить, что выполнение графика движения грузовыми поездами в Украине, так же как и в других странах – участницах Содружества, можно оценить только в пределах отдельных участков ввиду отсутствия нормативов точности выполнения времени их следования от станции отправления до станции назначения [6]. В то же время в странах, где практикуется отправление грузовых поездов по расписанию, такие нормативы установлены. Например, предельно допустимое опоздание графикового грузового поезда в Дании составляет 10 мин, Германии – 30 мин [14].

Таким образом, процесс перевозок объективно подвержен воздействию значительного числа случайных факторов. В этой связи, обеспечение движения поездов по расписанию требует применения специальных методов, в том числе и на этапе разработки графиков движения поездов, оборота локомотивов и составов.

В соответствии с «Инструкцией по составлению графика движения поездов на железных дорогах Украины» [11] одним из действенных методов повышения эффективности использования тяговых средств, коренного улучшения условий труда локомотивных бригад является пропуск стабильной части (ядра) поездопотока по графику. Инструкция [11] содержит описание методики выделения ядра графика и обеспечения этого ядра локомотивами. Однако, методы обеспечения движения поездов по запланированным ниткам в [11] не представлены.

В Российской Федерации действует «Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика» [10]. В соответствии с этим

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

документом обеспечение выполнения графика движения достигается за счет дополнительных резервов времени хода. Так для обеспечения пропуска грузовых поездов дифференцированного веса (в том числе тяжеловесных) по одним и тем же ниткам с поездами унифицированного веса, а также для устойчивого выполнения графика движения поездов в соответствии с [10] необходимо предусматривать следующие резервы времени:

- к расчетному перегонному времени хода поездов в размере 3–5 %;
- на последнем перегоне участка работы локомотивных бригад для всех грузовых поездов в размере 2–4 мин;
- для исключения передачи опозданий от одних поездов другим (в виде увеличения расчетных межпоездных интервалов либо периодов графика на ограничивающих перегонах до 2 мин).

В целом, предлагаемые в [11] и [10] мероприятия позволяют организовать грузовые перевозки таким образом, что преимущественная часть локомотивов может быть закреплена за определенными нитками графика. Это дает возможность повысить показатели использования локомотивов и локомотивных бригад. При этом вопросы качества обслуживания клиентов в [11] и [10] не рассматриваются.

Методы обеспечения пунктуальности железнодорожных перевозок представлены в [4]. При этом, прибытие поезда на станцию назначения в соответствии с графиком обеспечивается за счет внесения в график разнообразных резервов времени:

- определения допустимого времени опоздания (см. выше);
- искусственного увеличения времени движения;
- создания дополнительного интервала времени с предшествующим поездом.

Международный союз железных дорог в [15] рекомендует определять добавки к времени движения следующим образом: 1 мин на 100 км плюс 3 % времени движения или 3 мин на 100 км, или 4 мин времени движения. В отдельных странах применяются другие нормативы. Так в Нидерландах [13] при разработке графика движения максимально допустимая скорость грузовых поездов принимается меньшей на 5 км/ч от возможной, а рассчитанное

время хода поездов увеличивается на 5 %. В качестве дополнительного резерва времени учитывается и то, что график движения рассчитывается на максимальную массу поезда. В этих условиях для поездов меньшей массы есть возможность сокращения продолжительности разгонов и торможений. В Швейцарии устанавливается добавка ко времени хода в размере 11 %. В Великобритании величины добавок к времени хода не имеют постоянных значений и устанавливаются на основании анализа работы за предшествующий период.

Задачи выбора оптимальных параметров резервов времени, закладываемых в график движения, решаются на основании методов статического анализа работы сети и имитационного моделирования [9].

В связи с формированием парка частных вагонов, резкого различия в техническом состоянии вагонов различных операторов на железнодорожной сети Украины организовалось значительное количество кольцевых перевозок грузов, когда вагоны движутся от грузоотправителя к грузополучателю и назад под следующую загрузку. Примерами таких перевозок являются доставка железорудного сырья из Полтавского ГОК в транспортный узел ТИС [1], доставка трубной заготовки из Металлургического завода «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ» на трубопрокатный завод «НИКО ТЬЮБ» [7], перевозка транзитных грузов от пограничных станций в морские порты и др. При этом, согласование технологических процессов предприятий и железнодорожной перевозки за счет организации движения грузовых поездов по расписанию и доставки грузов «точно в срок» рассматривается как метод повышения эффективности использования вагонов, снижения запасов сырья, уменьшения резервов погрузо-разгрузочных мощностей и, как результат, уменьшения общих логистических затрат.

Организация грузовых перевозок по расписанию будет актуальной также и при демонизации рынка железнодорожных перевозок. Директивы ЕС требуют допуска на рынок независимых перевозчиков. Наличие на рынке таких перевозчиков предусматривается проектом Закона Украины «О железнодорожном транспорте». При этом выход на магистральную инфраструктуру поездов с частными локомотивами должен будет осуществляться в соответст-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

вии с выделенными для них нитками графика. Отсутствие же у независимых перевозчиков значительных резервов локомотивов будет требовать повышения качества прогнозирования прибытия поездов на станции оборота.

Таким образом, в настоящее время есть потребность экономики страны в организации железнодорожных перевозок грузов по расписанию от станции отправления до станции назначения. В то же время, методы разработки графиков движения в Украине и государствах Содружества отсутствуют. Методы, которые используются в государствах Европейского Союза и Северной Америки, также не могут напрямую быть перенесены для условий Украины ввиду значительного различия в системе организации движения, массе поездов и др.

В этой связи, в настоящее время актуальной задачей является разработка методов построения графиков оборота грузовых составов, в частности определения резервов, закладываемых в график движения поездов и оборота составов, необходимых для обеспечения устойчивости технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог в условиях вероятных сбоев в работе железной дороги. В частности, такая методика необходима для решения задач технико-экономического обоснования перехода предприятий на обслуживания по расписанию.

Цель

Целью статьи является разработка методов оценки величины резервов времени, которые должны закладываться в график движения поездов и график оборота грузовых составов, необходимых для обеспечения устойчивого взаимодействия технологических процессов работы промышленных предприятий и железных дорог при перевозке грузов по расписанию.

Методика

Работа железнодорожного транспорта подвержена влиянию значительного количества случайных факторов. Для того чтобы обеспечить поступление поездов на станции назначения к заданному моменту времени графики оборота составов должны иметь резервы времени, достаточные для парирования воздействия дестабилизирующих факторов. Резервы

могут быть двух видов. Часть резерва должна быть предусмотрена в графике движения, а часть – на станции назначения от момента прибытия поезда в соответствии с графиком движения до момента начала технологических операций с его вагонами и локомотивом. При этом недостаточные величины резервов могут вызывать сбои в технологических процессах предприятий, конфликтные ситуации при занятии перегонов и значительные вторичные задержки. Излишние резервы вызывают ухудшение показателей использования локомотивов, локомотивных бригад, вагонов, станционных путей, а также падение пропускной способности перегонов.

Процессы, происходящие на железнодорожном транспорте, носят стохастичный характер. В этой связи для исследования показателей качества выполнения графика движения поездов использовались методы математической статистики [3]. Исходный материал для статистической обработки получен на основании наблюдения реальных процессов функционирования железнодорожного транспорта.

В настоящее время движение основной части грузовых поездов осуществляется по готовности и процессы занятия отдельных ниток графика определенными составами не фиксируются. Точное соблюдение графика движения не является целью оперативного управления грузовыми перевозками. Поэтому анализ графиков исполненного движения грузовых поездов не позволяет получить материал для исследования. В то же время, отправление пассажирских поездов и проследование ими станций осуществляется строго в соответствии с расписанием. Особенности пассажирских перевозок, по сравнению с грузовыми, является жесткая подвязка локомотивов под поезда, работа локомотивных бригад по именным расписаниям, контроль продвижения поездов диспетчерским аппаратом с организацией мероприятий по приоритетному пропуску пассажирских поездов и нагону ими времени отставания. В пассажирских службах ведется работа по фиксации случаев отклонения пассажирских поездов от графика, их классификации и анализу. Ввиду общности процессов выполнено исследование задержек пассажирских поездов для последующего распространения выводов и на грузовое движение.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результаты

На основании консультаций с инженерами-графистами установлено, что для обеспечения выполнения графика движения пассажирских поездов при его составлении закладывается резерв времени хода, равный 4 минутам на 100 км, что соответствует увеличению времени хода поездов около 5 %.

Исходные данные по задержкам получены на основании обработки результатов анализа графика движения пассажирских поездов пассажирской службы Приднепровской железной дороги за 2012–2013 гг. В процессе этого анализа фиксируется номер поезда, место, момент возникновения и продолжительность задержки, а также служба, по вине которой задержка возникла и описание причины задержки.

В течение рассматриваемого периода времени по Приднепровской дороге проследовало 86 446 пассажирских поездов, из которых 941 проследовали с отклонением от графика движения. В этой связи частота задержки поездов может быть определена как

$$p_3^* = \frac{n_3}{n_{\text{общ}}},$$

где $n_3, n_{\text{общ}}$ – число пассажирских поездов, проследовавших с задержкой и общее число поездов соответственно.

Продолжительность задержки поезда представляет собой случайную величину. Минимальное фиксируемое значение задержки составляет 1 мин, максимальное зафиксированное – 723 мин.

Основными причинами возникновения задержек пассажирских поездов являются полные отказы устройств пути, энергоснабжения, СЦБ, поездных локомотивов и вагонов, их частичные отказы, выражающиеся в ограничении скорости, выполнение работ по ремонту и обслуживанию инфраструктуры, ошибки персонала, несанкционированное вмешательство в работу железнодорожного транспорта, чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера, а также вторичные задержки из-за задержек других поездов в потоке.

В процессе учета задержек пассажирских поездов они относятся на различные службы в соответствии с причинами возникновения.

В табл. 1 выполнена группировка задержек по различным службам.

Таблица 1

Table 1

Группировка задержек по причинам возникновения**Delays group for occurrence reasons**

Причина	Число задержек	Продолжительность, мин		
		Максимальная	Минимальная	Средняя
Служба локомотивного хозяйства	209	308	1	75,2
Служба пути	155	162	1	20,6
Служба энергоснабжения	149	343	2	75,6
Другие	142	723	1л	92,3
УЗШК	126	226	1	13,1
Служба сигнализации и связи	69	85	2	21,2
Служба вагонного хозяйства	44	153	4	57,0
Служба пассажирского хозяйства	32	160	5	40,2
Служба перевозок	15	138	6	26,7

Анализ табл. 1 показывает, что наибольшее количество задержек приходится на службы локомотивного хозяйства, пути и энергоснабжения. На долю этих служб приходится более 54 % задержек. Значительное количество задержек связано с работой «Украинской железнодорожной скоростной компании» (УЗШК). При этом 96 этих задержек возникло с двумя составами УЗШК, что связано с их опытной эксплуатацией. В этой связи задержки составов УЗШК из анализа исключены.

Наибольшие по продолжительности задержки отнесены к категории «Другие» и связаны со стихийными бедствиями, ДТП на переездах, несанкционированным вмешательством

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

в работу железнодорожного транспорта и т.п. Эти задержки, как правило, носят разовый, неповторяющийся характер. В этой связи дальнейшего анализа величины задержек использовались 95 % выборки.

Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины задержки представлена на рис. 1.

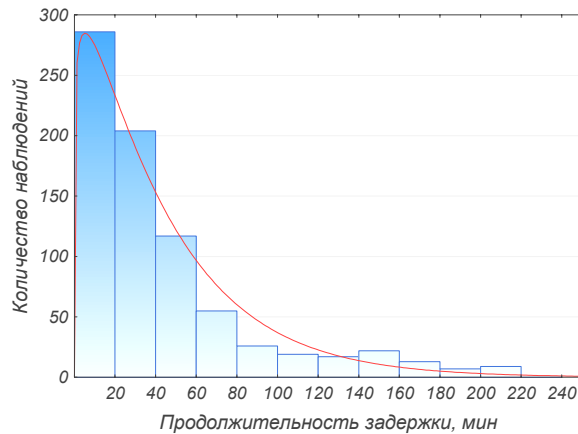


Рис. 1. Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины задержки поезда

Fig. 1. Histogram and density function of the random variable distribution of trains delays

В целом, по результатам исследования сделаны выводы о том, что комплекс мероприятий, используемых в пассажирском движении, позволяет обеспечить выполнение графика движения с вероятностью 0,99. С вероятностью 0,01 поезд следует с задержкой. Статистический анализ показал, что случайная величина задержки имеет закон распределения близкий к показательному. При этом математическое ожидание величины задержки составляет $\bar{t}_3 = 43,9$ мин.

Выполненные исследования позволяют установить необходимые резервы времени для обеспечения устойчивых перевозок. Добавление резервов к времени хода в размере 4 мин на 100 км (что соответствует увеличению времени хода на 3–5 %), позволяет обеспечить выполнение графика движения пассажирских поездов при отсутствии отказов технических средств и ошибок персонала. Опоздание прибытия поездов в пункт назначения при этом происходит с частотой, близкой к 1 на 100 поездов. Необ-

ходимо отметить, что график движения пассажирских поездов разрабатывают на их максимальную массу. В этой связи пассажирские поезда, обладающие меньшей массой, имеют некоторый дополнительный резерв времени за счет разгонов и замедлений. При организации движения грузовых поездов между предприятиями их масса существенно изменяться не будет, что ограничивает возможность нагона опоздания. Поэтому резервы времени для грузовых поездов целесообразно увеличить до 5–7 % от времени хода.

При необходимости повышения качества выполнения графика движения поездов и парирования большей части отказов в пунктах назначения могут создаваться дополнительные резервы времени. Величина резерва может быть установлена из выражения

$$t_p = -\bar{t}_3 \ln \frac{n_{дз}}{Np_3^*}, \quad (1)$$

где $n_{дз}$ – допустимое количество поездов, прибывающих к началу технологических операций на предприятии с опозданием; N – общее число поездов, следующих по маршруту в течение года.

При организации движения поездов между предприятиями по расписанию время нахождения на них вагонов определяется как разница между моментами отправления и прибытия. Это время включает резерв времени от момента прибытия до начала технологических операций $t_{рп}$, собственно продолжительность технологических операций на предприятии $t_{то}$ и резерв времени от момента окончания технологических операций до отправления $t_{ро}$. Величина выделенного резерва времени $t_{рп}$ позволяет определить ожидаемое число поездов, поступающих на предприятие с опозданием

$$n_{оп} = Np_3^* e^{-t_p/\bar{t}_3}. \quad (2)$$

Анализ задержек пассажирских поездов показывает, что в процессе перевозок могут возникать значительные отклонения движения поездов от графика. Так в 2012–2013 году наблюдались задержки, которые превышали 12 часов. Создание резервов времени для предотвращения таких задержек является экономически необоснованным.

Если, аналогично железным дорогам Герма-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нии [14], на железных дорогах Украины установить допустимое время опоздания в 30 мин, то при размерах движения между предприятиями в один поезд в сутки, можно ожидать не более двух опозданий в год (1,85 поезда). Сокращение количества задержанных поездов до одного в год требует увеличения резерва времени до 60 мин. Это не является рациональным ввиду появления дополнительного простоя локомотивов в 30 мин.

Для предотвращения влияния на поезд, движущийся по расписанию предшествующих поездов, целесообразно предусматривать увеличенный межпоездной интервал. Значение данного увеличения может быть принято равным 2 мин [10].

При организации перевозок грузов по расписанию на железной дороге и предприятиях также должны быть разработаны мероприятия, направленные на устранение последствий прибытия вагонов позже установленного срока. К таким мероприятиям могут относиться интенсификация производственных процессов за счет перераспределения технических средств, создание запасов сырья и переключение части грузопотока на автомобильный транспорт в период выполнения ремонтов инфраструктуры, возмещение потерь предприятиям в виде штрафов за несвоевременную доставку и др.

Научная новизна и практическая значимость

На основании выполненных исследований усовершенствованы методы разработки графиков оборота составов поездов, обеспечивающих перевозку грузов по расписанию. Полученные результаты могут быть использованы для технико-эксплуатационных расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание их по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии.

Выводы

1. Для обеспечения прибытия поездов, следующих по расписанию, на станции назначения «точно в срок» в график движения должны быть внесены резервы времени для уменьшения влияния случайных факторов на процесс перевозок. Для железных дорог Украины целе-

сообразно установит добавку времени ко времени следования в размере 5–7 %, увеличит межпоездной интервал перед поездом, следующим по расписанию на 2 мин, установит допустимое время опоздания на станцию назначения 30 мин.

2. Полученные результаты могут быть использованы для технико-экономических расчетов эффективности перехода промышленных предприятий на обслуживание их по расписанию, а также при разработке графиков движения на начальных этапах опробования технологии. После накопления статистического материала по результатам перевозок грузов по расписанию предлагаемые значения резервов времени могут быть уточнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Березовый, Н. И. Перевозка металлургической продукции кольцевыми маршрутами по расписанию с использованием частных локомотивов / Н. И. Березовый // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2014. – № 2 (3). – С. 51–55.
2. Бородин, А. Ф. О ходе работы «Переход на новую технологию управления движением поездов по расписанию на опытных полигонах» в рамках приоритетного направления «Разработка технологии эксплуатационной деятельности холдинга «РЖД», обеспечивающей достижение целевых экономических параметров на базе процессных моделей» / А. Ф. Бородин // Бюллетень Объед. ученого совета ОАО «РЖД». – 2011. – № 6. – С. 3–21.
3. Верлан, А. И. Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте / А. И. Верлан // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 75–85.
4. Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика. – Москва : РЖД, 2011. – 198 с.
5. Інструкція зі складання графіків руху поїздів на залізницях України. – Київ : Транспорт України, 2002. – 148 с.
6. Козаченко, Д. Н. Исследование потребности в вагонном парке для обеспечения перевозок массовых грузов по расписанию / Д. Н. Козаченко // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2013. – № 35. – С. 11–16.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

7. Козаченко, Д. Н. Исследование эффективности организации перевозок металлургических грузов по расписанию / Д. Н. Козаченко // Проблемы и перспективы развития трансп. систем и строит. комплекса : материалы III междунар. науч.-практ. конф. (17.10 – 18.10.2013) / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2013. – С. 25–27.
8. Корецкая, С. А. Необходимость внедрения логистики в связи с реформированием железнодорожного транспорта в Украине / С. А. Корецкая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007 – Вип. 18. – С. 206–208.
9. Папахов, А. Ю. Обоснование движения поездов на направлениях по согласованным расписаниям / А. Ю. Папахов, В. В. Хлонникова // Тр. РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2013. – № 2 (23). – С. 76–80.
10. Тимошек, И. Н. Поиск и реализация практических рекомендаций, обеспечивающих наименьшие энергозатраты на тягу поездов / И. Н. Тимошек, В. Н. Зубков // Вестн. ВНИИЖТа. – 1997. – № 4. – С. 40–43.
11. Цуцков, Д. В. Выбор оптимальных технологических параметров организации перевозочного процесса с использованием твердых ниток графика / Д. В. Цуцков // Тр. ВНИИАС. – Москва, 2005. – № 3. – С. 66–75.
12. Kroon, L. G. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004 / L. G. Kroon, R. Dekker, M. J. C. M. Vromans // Lecture Notes in Computer Science. – 2007. – Vol. 4359. – P. 41–66. doi: 10.1007/978-3-540-74247-0_2.
13. Landex, A. Reliability of Railway Operation / A. Landex // Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. – Denmark, 2013. – P. 63–81.
14. Schittenhelm, B. Planning with Timetable Supplements in Railway Timetables / B. Schittenhelm // Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. – Denmark, 2011. – P. 47–61.
15. Timetable recovery margins to guarantee timekeeping. UIC CODE 451-1 OR. Union International des Chemins de fer. Recovery margins, 4th Ed. – Paris, UIC, 2000. – 17 p.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ², В. О. БАЛАНОВ³, В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 09, ел. пошта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта vladimir.balanov@mail.ru, ORCID 0000-0002-6137-3420

^{4*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 957 51 36, ел. пошта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

РЕЗЕРВИ ЧАСУ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ ЗА РОЗКЛАДОМ

Мета. Стаття присвячена розробці методів оцінки величини резервів часу, які повинні закладатися в графік руху потягів і графік обороту вантажних составів, необхідних для забезпечення стійкої взаємодії технологічних процесів роботи промислових підприємств та залізниць при перевезенні вантажів за розкладом. **Методика.** У роботі розглянуті питання організації перевезення масових вантажів між промисловими підприємствами за розкладом. Для того, щоб забезпечити надходження поїздів до станції призначення в заданий момент часу, графіки обороту составів повинні мати резерви часу. Ці резерви, в свою чергу, повинні бути достатніми для парировання впливу дестабілізуючих факторів. Для дослідження якості виконання графіка руху окремими поїздами використані методи математичної статистики. В даний час рух основної частини вантажних поїздів здійснюється при їх готовності, а процеси заняття окремих ниток графіка певними складами не фіксуються. Тому аналіз графіків виконаного руху вантажних поїздів не дозволяє отримати матеріал для дослідження. Авторами, зважаючи на відсутність статистичного матеріалу з пунктуальності ви-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

конання графіка руху вантажними поїздами, були виконані дослідження руху пасажирських поїздів із наступним поширенням результатів на вантажний рух. **Результати.** Дослідженням доведено, що прибуття поїздів на станції призначення згідно з графіком має забезпечуватися за рахунок встановлення допустимої величини запізнення, а також збільшення часу ходу поїздів та міжпоїздних інтервалів. Запропоновані значення додаткових резервів, які повинні закладатися в графік руху поїздів та графік обороту вантажних составів, для забезпечення умовної взаємодії залізниць і промислових підприємств України. **Наукова новизна.** На підставі виконаних досліджень удосконалено методи розробки графіків обороту составів поїздів, що забезпечують перевезення вантажів за розкладом. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для техніко-економічних розрахунків ефективності переходу промислових підприємств на обслуговування за розкладом, а також при розробці графіків руху на початкових етапах випробування технології.

Ключові слова: рух поїздів за розкладом; резерв часу; розклад; графік руху поїздів; запізнення поїзда

D. M. KOZACHENKO^{1*}, M. I. BEREZOVYI², V. O. BALANOV³, V. V. ZHURAVEL^{4*}

^{1*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 09, e-mail kozachenko@upp.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

²Dep. «Station and Units», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 03, e-mail niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

³Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, vladimir.balanov@mail.ru, ORCID0000-0002-6137-3420

^{4*}Dep. «Stations and Nodes», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 957 51 36 e-mail zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

TIME RESERVES DURING THE ORGANISATION OF FREIGHT TRAIN MOVEMENT ON SCHEDULE

Purpose. The article is devoted to the development of estimation methods of time reserves that should be formed at the train schedule and the schedule for the turnover of freight trains, required to ensure the sustained interaction of technological processes of industrial enterprises and railways for the transportation of freight on schedule.

Methodology. The paper considers the issues of bulk conveyance organization between industrial enterprises on schedule. In order to ensure the arrival of trains at the destination station to the specified time, the schedules of rolling stocks turnover must have some time reserves. These reserves, in their turn, should be sufficient for correction action of destabilizing factors. The methods of mathematical statistics were used to study the schedule performance quality of separate trains. Currently the movement of the main part of freight trains is performed on preparedness and occupation processes of separate schedule train paths by some depots are not fixed. Therefore, the analyses of the schedule performance of freight trains do not allow receiving the material for research. And, due to the lack of statistical material on the punctuality of the schedule for the movement of freight trains, research of the passenger trains movement with subsequent dissemination of results on freight movement were carried out by the authors.

Findings. The research proved that the trains arrival at the destination station according to the schedule should be ensured by permissible rating of delay as well as increase the operating time of trains and running intervals. The values of the additional time reserves that should be included in the schedule of trains, and the schedule for the turnover of freight trains to provide conditional interaction of railroads and industrial enterprises in Ukraine were proposed. **Originality.** On the basis of the research development graph methods of trains turnover, providing transportation of goods on schedule were improved. **Practical value.** The obtained results can be used for the technical-and-economic calculations of transition effectiveness of industrial enterprises for maintenance on schedule as well as in the development of schedule on the initial stages of testing technology.

Keywords: scheduled train operation; time reserve; schedule; train schedule; train delay

REFERENCES

1. Berezovyy N.I. Perevozka metallurgicheskoy produktsii koltsevymi marshrutami po raspisaniyu s ispolzovaniyem chastnykh lokomotivov [Transportation of steel products of circular routes on schedule using private locomotives]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, no. 2 (3), pp. 51-55.
2. Borodin A.F. O khode raboty «Perekhod na novuyu tekhnologiyu upravleniya dvizheniyem poyezdov po raspisaniyu na opytnykh poligonakh» v ramkakh prioritetnogo napravleniya «Razrabotka tekhnologii ekspluatatsionnoy deyatelnosti kholdinga «RZhD», obespechivayushchey dostizheniye tselevykh ekonomicheskikh parametrov na baze protsessnykh modeley» [About the work «Transition to a new technology to control the movement of trains scheduled in the experimental stations» within the framework of priority «Development of operational activity technology of the holding company «Russian Railways» for achieving the special-purpose economic parameters on the basis of process models»]. *Byulleten Obedinnogo uchenogo soveta OAO «RZhD»* [Bulletin of the United Scientific Council of JSC «Russian Railways»], 2011, no. 6, pp. 3-21.
3. Verlan A.I. Sovershenstvovaniye metodov stimulirovaniya otpravitskoy marshrutizatsii na zheleznodorozhnom transporte [Simulation methods improvement of exit route on railway transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 1 (49), pp. 75-85.
4. *Instruktsiya po organizatsii poyezdnoy raboty pri otpravlenii gruzovykh poyezdov po tverdym nitkam grafika* [The instruction about the train work organization during sending freight trains on hard train paths]. Moscow, RZhD Publ., 2011. 198 p.
5. *Instruktsiia zi skladannia hrafikiv rukhu poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy* [Instructions for scheduling the movement of trains on the Railways of Ukraine]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2002. 148 p.
6. Kozachenko D.N. Issledovaniye potrebnosti v vagonnom parke dlya obespecheniya perezovok massovykh gruzov po raspisaniyu [Research needs in car park to ensure transportation of bulk cargo on schedule]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2013, no. 35, pp. 11-16.
7. Kozachenko D.N. Issledovaniye effektivnosti organizatsii perezovok metallurgicheskikh gruzov po raspisaniyu [Organization effectiveness study in transportation of metallurgical cargoes on schedule]. *Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya transportnykh sistem i stroitel'nogo kompleksa (17.10-18.10.2013)»* [Proc. of the IIIrd Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of development of transport systems and building complex»]. Gomel, BelGUT Publ., 2013, pp. 25-27.
8. Koretskaya S.A. Neobkhodimost vnedreniya logistiki v svyazi s reformirovaniyem zheleznodorozhnogo transporta v Ukraine [The need for implementation of logistics in connection with the reform of railway transport in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 206-208.
9. Papakhov A.Yu., Khlonnikova V.V. Obosnovaniye dvizheniya poyezdov na napravleniyakh po soglasovannym raspisaniyam [The rationale for the movement of trains on the lines according to agreed schedules]. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Rostov State University of Railway Engineering], 2013, no. 2 (23), pp. 76-80.
10. Timoshek I.N., Zubkov V.N. Poisk i realizatsiya prakticheskikh rekomendatsiy, obespechivayushchikh naimenshiye energozatraty na tyagu poyezdov [The search and implementation of recommendations to ensure the the lowest energy consumption for traction trains]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 1997, no. 4, pp. 40-43.
11. Tsutskov D.V. Vybory optimalnykh tekhnologicheskikh parametrov organizatsii perezovozhnogo protsessa s ispolzovaniyem tverdyykh nitok grafika [The choice of the optimal technological parameters of the transportation process organization using solid lines of graphics]. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta avtomatiki i svyazi* [Proc. of All-Union Scientific Research Institute of Automation and Communication], 2005, no. 3. pp. 66-75.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Kroon L.G., Dekker R., Vromans M.J.C.M. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004. *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, vol. 4359, pp. 41-66. doi: 10.1007/978-3-540-74247-0_2.
13. Landex A. Reliability of Railway Operation. Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. Denmark, 2013, pp. 63-81.
14. Schittenhelm B. Planning with Timetable Supplements in Railway Timetables. Proc. from the Annual Transport Conf. at Aalborg University. Denmark, 2011, pp. 47-61.
15. Timetable recovery margins to guarantee timekeeping. UIC CODE 451-1 OR. Union International des Chemins de fer. Recovery margins, 4th Ed. Paris, UIC, 2000. 17 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Бобровским (Украина); д.т.н., проф. А. В. Лаврухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 16.01.2015

Принята к печати 22.03.2015