

Методологические основы реализации планов формирования поездов перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры

Е. А. ФЁДОРОВ

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), Гомель, 247045, Республика Беларусь

Аннотация. Предложена методика решения задачи по разработке графика движения поездов на замкнутом полигоне инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, обеспечивающего эффективное освоение поездопотоков, заявленных к перевозке множеством перевозчиков. В методике осуществлен переход от объектного принципа освоения неструктурированной эксплуатационной нагрузки на железнодорожные участки и станции к процессной идентификации поездопотоков перевозчиков, определяющей маршрутные назначения поездов и параметры использования объектов инфраструктуры с привязкой к назначениям плана формирования. Применение данной методики обеспечивает условия равноправной конкуренции при использовании инфраструктуры железнодорожного транспорта и создает условия для возникновения синергетического экономического эффекта взаимодействия участников перевозочного процесса.

Ключевые слова: оператор инфраструктуры; перевозчик; график движения поездов; процессно-объектное моделирование; равноправный доступ

Постановка задачи. Предоставление равноправного доступа к услугам инфраструктуры осложняет процедуру организации движения поездов. Участники перевозочного процесса формируют требования по организации вагонопотоков в поезда, условиям их следования по участкам инфраструктуры и обработке на технических станциях. Часть этих требований описана в [1]. Возникает множество планов формирования поездов перевозчиков, предъявляемых для равноправной реализации на полигоне инфраструктуры.

График движения поездов (ГДП) представляет собой интегрированную форму организации транспортного потока множества перевозчиков на участках инфраструктуры в модели поездопотоков и является важным регулятором взаимоотношений участников рынка услуг железнодорожного транспорта в условиях значительной дифференциации параметров поездопотоков.

Традиционные объектно-ориентированные методы, используемые при решении задачи разработки ГДП, не могут гарантировать удовлетворение условий продвижения поездопотоков перевозчиков на всем маршруте следования из-за бессистемного характера согласования расписаний следования поездов по же-

лезнодорожным участкам и технологии работы технических станций инфраструктуры. Одним из возможных способов решения проблемы является использование процессно-объектного ГДП в ходе решения задачи согласования множества расписаний движения поездов по маршрутам следования в пределах установленного (расчетного) полигона инфраструктуры. Принципы процессного моделирования ГДП изложены в [2].

Моделирование процессно-объектного ГДП предполагает переход от формирования базы исходных данных по объектному принципу в виде неструктурированной эксплуатационной нагрузки на железнодорожные участки и станции к процессной идентификации поездопотоков перевозчиков на инфраструктуре.

В традиционном подходе нагрузка задается размерами движения грузовых поездов, установленными в зависимости от суммарного планируемого потока поездов перевозчиков через систему долевых коэффициентов [3–5]. Согласование ниток ГДП на маршрутах следования грузовых поездов осуществляется посредством увязки независимых расписаний движения поездов на технических станциях [6]:

$$N_{s_i}^{\text{пл}} = k_{s_i} \sum N; \\ N_{s_i}^{\text{пл}}; N_{s_{i+1}}^{\text{пл}} \Leftrightarrow N_{s_{i+1}}^{\text{пл}}; N_{s_{i+2}}^{\text{пл}} \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow N_{s_{n-1}}^{\text{пл}}; N_{s_n}^{\text{пл}}, \quad (1)$$

где $N_{s_i}^{\text{пл}}$ — планируемый поток поездов перевозчиков для станции s_i ; $\sum N$ — суммарный планируемый поток поездов перевозчиков; k_{s_i} — коэффициент доли планируемого поездопотока для станции s_i .

При процессной идентификации поездопотоков перевозчиков нагрузка на объекты инфраструктуры определяется маршрутами назначения поездов и параметрами использования объектов инфраструктуры с привязкой к назначениям плана формирования:

$$N_{(p_i; q_i)j}(s_1(T) \rightarrow s_2(T) \rightarrow \dots \rightarrow s_n(T)); \\ s_1 = p_i; s_n = q_i. \quad (2)$$

Полигон инфраструктуры включает в себя S технических станций (и стыковых пунктов инфраструктуры), между которыми организуется движение

поездов. Имеется множество поездных заявок перевозчиков N . Каждая поездная заявка перевозчика состоит из станции отправления p , станции назначения q , маршрута в виде последовательности технических станций $\{s_{1i}, s_{2i}, \dots, s_{ni}\}$, а также расчетного (планируемого) количества поездов $N_{(p,q)_i}$, предъявляемых к движению. Каждая поездная заявка имеет предельный срок реализации (прибытия поездов на станцию назначения) $D_{(p,q)_i} = \max T_{(p,q)_i}^{\text{пер}}$. Оператор инфраструктуры согласовывает параметры времени обработки поездов T на объектах инфраструктуры, входящих в маршрут их следования, и устанавливает минимальное время нахождения поезда на маршруте следования, рассматриваемое при построении как директивный срок $d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}} = \sum_j T_{(p,q)_i, s_j}^{\text{о.и.}}$.

Если поездная заявка на организацию движения поездов включает множество поездов ($N_{(p,q)_i} > 1$), то каждый поезд данного назначения представляется как отдельная поездная заявка, т. е. множество поездной заявки образуется через совокупность идентичных заявок. При этом перевозчик может задавать ожидаемое (планируемое) время готовности каждого из поездов к отправлению в течение установленного (расчетного) интервала предъявления поездопотока. Если время готовности не указано, то принимается допущение о равномерном распределении времени готовности поездов к отправлению в течение интервала предъявления потока.

Отклонение времени прибытия поездов (запаздывание) на станцию назначения $\Delta T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}}$ определяется разницей между временем следования по маршруту, установленным по ГДП, и директивным сроком. Отклонение времени прибытия поезда, приводящее к превышению предельного срока реализации поездной заявки, не допускается. Отклонение считается равным нулю, если прибытие поезда на станцию назначения произошло раньше директивного срока:

$$\Delta T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}} = \begin{cases} T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}} - d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}} & |T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}} - d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}}| > d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}}; \\ 0 & |T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}} - d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}}| \leq d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}}; \\ T_{(p,q)_i}^{\text{ГДП}} \leq D_{(p,q)_i} & . \end{cases} \quad (3)$$

Проблема обеспечения поездной заявки перевозчика заключается в организации движения поездов на полигоне инфраструктуры, для которого необходимо разработать ГДП с учетом совокупности поездных заявок всех перевозчиков с целью минимизации отклонения времени прибытия поездов на станции назначения.

На технических станциях с поездами выполняются технологические операции, обусловленные системой технической эксплуатации подвижного состава, которые определяют необходимую продолжительность стоянки транзитного поезда. Время занятия поездом

железнодорожного участка устанавливается оператором инфраструктуры исходя из технического оснащения, условий эксплуатации инфраструктуры, затрат на продвижение поездов различных категорий и ограничений перевозчика, обусловленных предельным сроком реализации поездной заявки.

Методология решения задачи. Расписание движения поезда (нитка ГДП) на направлении характеризуется последовательностью времени прибытия на каждую техническую станцию и времени отправления с каждой технической станции на маршруте следования. Необходимо разработать ГДП так, чтобы минимизировать суммарное взвешенное отклонение времени прибытия всех поездов на станции назначения.

Разработка ГДП представляет собой модифицированную оптимальную задачу с гибким расписанием движения поездов при фиксированных маршрутах [7–9].

Полигон инфраструктуры задан пространственно-временным направленным графом (*space-time network*) $\bar{G} = (\bar{V}, \bar{A})$. Множество поездных заявок обозначим через O , ранг (важность) поездной заявки — $\omega_{(p,q)_i}$, директивный срок — $d_{(p,q)_i}^{\text{о.и.}}$.

Вершины $\bar{V}$ графа $\bar{G}$ делятся на типы:

- вершины отправления (подмножество $\bar{V}^{\text{out}}$). Каждая вершина v_{ii}^{out} соответствует отправлению с технической станции $i \in S$ некоторого поезда $n \in N$ в момент времени $t = t_{ni}^{\text{out}}$;
- вершины прибытия (подмножество $\bar{V}^{\text{in}}$). Каждая вершина v_{ii}^{in} соответствует прибытию на техническую станцию $i \in S$ некоторого поезда $n \in N$ в момент времени $t = t_{ni}^{\text{in}}$.

Ребра $\bar{A}$ графа $\bar{G}$ отражают следующие процессы (состояния поезда):

- движение поезда (подмножество $\bar{A}^{\text{mov}}$). Каждое ребро $a_{nij}^{\text{mov}} = (v_{ii}^{\text{out}}, v_{jj}^{\text{in}})$ соответствует движению поезда $n \in N$ с технической станции i на следующую на его маршруте техническую станцию j , здесь $t' = t_{ni}^{\text{out}}$ и $t'' = t_{nj}^{\text{in}}$;
- стоянка поезда на технической станции (подмножество $\bar{A}^{\text{tr}}$). Каждое ребро $a_{ni}^{\text{tr}} = (v_{ii}^{\text{in}}, v_{ii}^{\text{out}})$ соответствует стоянке транзитного поезда $n \in N$ на технической станции i его маршрута следования, здесь $t' = t_{ni}^{\text{in}}$ и $t'' = t_{ni}^{\text{out}}$.

Вершины стоянки поезда v_{ii}^{tr} определены для каждой технической станции $i \in S$, каждого поезда $n \in \bar{V}_i^{\text{in}} \cup \bar{V}_i^{\text{out}}$, имеющего станцию i в маршруте следования, и каждого момента времени $t \in T$. Обозначим множество вершин из $\bar{V}^{\text{tr}}$, соответствующих маршруту продвижения поезда $n \in N$, как $\bar{V}_n$, множество ребер из $\bar{A}^{\text{mov}} \cup \bar{A}^{\text{tr}}$ как $\bar{A}_n$. На рис. 1 представлена часть пространственно-временного графа $\bar{G}$.

Расписание движения каждого поезда $n \in N$ однозначно определяется путем в графе $\bar{G}$, причем этот путь может проходить только по ребрам маршрута, соответствующим следованию данного поезда n .

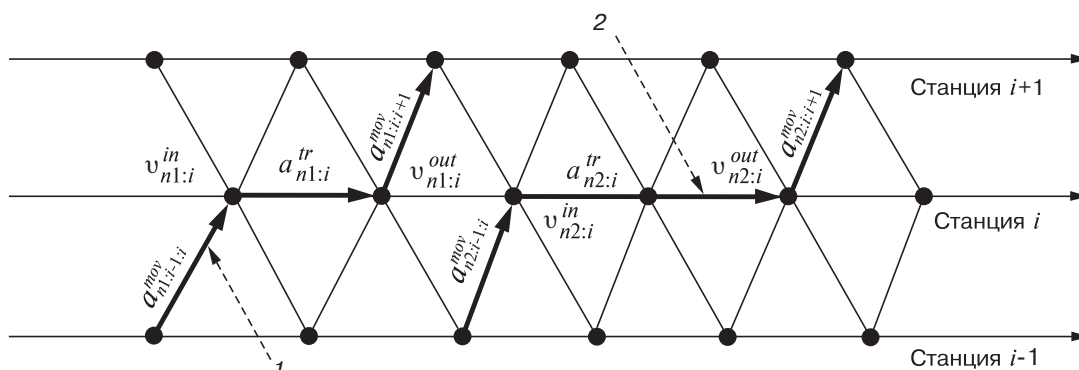


Рис. 1. Фрагмент пространственно-временного графа $\bar{G}$: 1 — маршрут поезда $n1$; 2 — маршрут поезда $n2$
Fig. 1. Fragment of the space-time graph $\bar{G}$: 1 — route of the train $n1$; 2 — route of the train $n2$

Начальной и конечной станцией маршрута поезда $n \in N$ являются $p(n)$ и $q(n)$. Тогда путь, соответствующий расписанию следования (нитке ГДП) поезда n , начинается в вершине $v_{n,p(n),0}^{tr}$ и заканчивается в вершине $v_{n,q(n),T_{\max}}^{tr}$, где $T_{\max}$ — максимально допустимое время прибытия поезда на станцию назначения.

Пусть бинарная переменная g_n^a определяет, проходит ли путь, соответствующий расписанию (нитке ГДП) поезда $n \in N$, по ребру $a \in \bar{A}_n$ ($g_n^a = 1$) или нет ($g_n^a = 0$); δ_v^{n-} и δ_v^{n+} — множество входящих и исходящих ребер для вершины $v \in \bar{V}$, по которым может проходить путь следования поезда $n \in N$. Следующие ограничения задают множество путей, соответствующих движению поездов:

$$\sum_{a \in \delta_v^{n+}} g_n^a = 1, \text{ где } v = v_{n,p(n),0}^{tr}, \forall n \in N; \quad (4)$$

$$\sum_{a \in \delta_v^{n-}} g_n^a = \sum_{a \in \delta_v^{n+}} g_n^a, \forall n \in N, \forall v \in \bar{V}_n, \quad (5)$$

$$v \neq v_{n,p(n),0}^{tr}, v_{n,q(n),T_{\max}}^{tr};$$

$$\sum_{a \in \delta_v^{n-}} g_n^a = 1, \text{ где } v = v_{n,q(n),T_{\max}}^{tr}, \forall n \in N. \quad (6)$$

При использовании графа $\bar{G}$ для моделирования процессно-объектного ГДП необходимо учитывать ограничения на максимальное число обслуживаемых поездов на объектах инфраструктуры, обусловленные их техническими возможностями.

Число поездов, следующих по участкам инфраструктуры, ограничивается наличной пропускной способностью в рассматриваемый период времени, выраженной в поездах соответствующей категории k (группы приоритета) N_{ij}^{nk} :

$$\sum_{\substack{n \in N: \\ \exists a = a_{nij}^{mov}}} g_n^a \leq N_{ij}^{nk}, \forall t \in T, \forall (i, j) \in S. \quad (7)$$

При этом следует учитывать, что время следования поезда по железнодорожному участку инфраструктуры $T_{ij}^{yч}$ зависит от момента начала движения поезда, пропускной способности, параметров загрузки участка поездами более высоких групп приоритета, ограничений на использование инфраструктуры (производство работ в «окно», предупреждения о снижении скорости). Для моделирования ГДП принимается допущение, что поезда одной группы приоритета могут обгонять друг друга только на технических станциях.

Время обработки поезда на технической станции T_{it}^{ct} устанавливается перевозчиком в зависимости от параметров грузопотока в составе поезда на момент начала разработки ГДП. Ограничение на обслуживание поездов на технических станциях определяется наличием и доступностью необходимых ресурсов инфраструктуры и перевозчика, установленных технологическим процессом выполнения работ. Пусть $\bar{T}_i$ — множество интервалов времени, в течение которых на технической станции i может быть обслужено не более N_{it}^{nk} поездов. В случае если обработка поездов на станции происходит в различных технологических подсистемах (при их специализации по направлениям), то в рамках данной постановки задачи их необходимо рассматривать как отдельные станции:

$$\sum_{n \in N} \sum_{\substack{a = a_{nij}^{tr}: \\ t \in (t', t'']}} g_n^a \leq N_{it}^{nk}, \forall i \in S, \forall (t', t''] \in \bar{T}_i. \quad (8)$$

Установленное ограничение гарантирует, что для каждого интервала времени из $\bar{T}_i$ и каждой станции $i \in S$ количество обрабатываемых транзитных поездов на станции i не превышает пропускную способность.

Для оценки целевой функции моделирования ГДП введем бинарную переменную z . Переменная $z_{N_{(p,q)_i} t}$, $N_{(p,q)_i} \in N^n$, $t \in T$ принимает значение 0 тогда и только тогда, когда все поезда из поездажной заявки $N_{(p,q)_i}$ прибыли на станцию назначения q к моменту

времени t . Целевая функция минимизации суммарного взвешенного отклонения времени прибытия всех поездов на станции назначения имеет вид:

$$F_{\text{ГДП}} = \min \sum_{N_{(p;q)_i} \in N^n} \sum_{t=d_{(p;q)_i}^{\text{ан}} + I_i}^{\bar{T}_i} \omega_{(p;q)_i} z_{N_{(p;q)_i} t} \quad (9)$$

ГДП, удовлетворяющий условию минимума суммарного отклонения времени прибытия поездов на станции назначения $\min \sum \Delta T_{(p;q)_i}^{\text{ГДП}}$, может быть построен методом динамического моделирования [10] продвижения поездопотоков на инфраструктуре при соблюдении принципа обработки поездов на объектах инфраструктуры по возрастанию моментов их предъявления.

В условиях различных рангов поездных назначений перевозчиков соблюдение указанного принципа при моделировании ГДП не представляется возможным, так как время простоя в ожидании обслуживания поездов с различными рангами $\omega_{(p;q)_i}$ не равнозначно. Соответственно, может возникать необходимость изменения очередности обработки поездов на объектах инфраструктуры с целью минимизации суммарного взвешенного времени обработки поездов:

$$\min \sum_{\substack{N_{(p;q)_i} \in N^n, \\ s \in S}} T_{(p;q)_i s} \omega_{(p;q)_i} \quad (10)$$

Очевидно, что минимум суммарного взвешенного времени обработки поездов достигается при отнесении возникающих ожиданий обслуживания на поезда с минимальными рангами:

$$\max T_{(p;q)_i s}^{\text{ож}} \Leftrightarrow \min \omega_{(p;q)_i} \quad (11)$$

Необходимо учитывать, что взаимное смещение ниток ГДП для разрешения конфликтных ситуаций должно контролироваться по всем станциям маршрутов следования поездов на полигоне инфраструктуры.

Задача может быть решена в том случае, если для каждой конфликтной ситуации с поездами различных рангов будет гарантировано, что поезда с большими рангами распределены оптимально в соответствии с поставленной целевой функцией (9). Таким образом, решение задачи может быть найдено в результате составления расписания движения поездов в ГДП для $c \leq N^{\text{ГДП}}$ кластеров поездных назначений с близкими значениями рангов на железнодорожных направлениях. Оптимизация достигается за счет разрешения конфликтов обработки поездов посредством корректировки ниток ГДП с различными приоритетами. При возникновении превышений допустимых сроков реализации поездных заявок полученный вариант ГДП

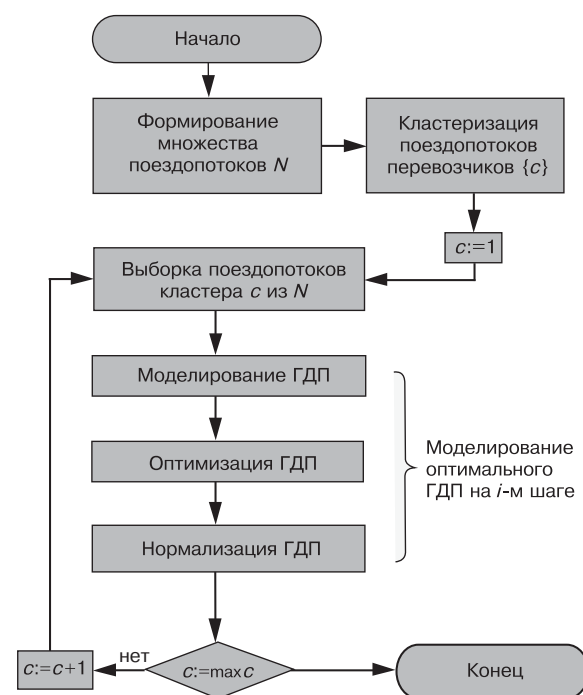


Рис. 2. Общий алгоритм процесса моделирования ГДП перевозчиков на инфраструктуре

Fig. 2. General algorithm of the process of modeling the train schedule for carriers at the infrastructure site

подлежит нормализации по процедуре рекурсивной прокладки ниток ГДП с выявленными нарушениями. Общий алгоритм процесса моделирования ГДП перевозчиков на инфраструктуре приведен на рис. 2.

В зависимости от условий организации движения множество поездопотоков делится на подмножества с прокладкой ниток на полигоне инфраструктуры:

- с обязательным применением процессно-объектного метода разработки ГДП по условиям (типу) реализации $N_{\text{тр.}}^{\text{п.-о.ГДП}}$;
- с применением процессно-объектного метода разработки ГДП (при условии обеспечения экономической эффективности хотя бы одному из участников транспортного процесса) и принятием решения об использовании метода оператором инфраструктуры $N_{\text{эк.эфф.}}^{\text{п.-о.ГДП}}$;
- без применения процессно-объектного метода разработки ГДП в связи с невозможностью обеспечения потребного уровня формализации параметров процессов поездообразования и (или) отсутствием положительного эффекта при переходе на организацию движения поездов с применением ГДП нового типа $N_{\text{неэфф.}}^{\text{п.-о.ГДП}}$.

Синергетическая эффективность доставки груза и перемещения вагонов достигается за счет повышения транспортно-логистической эффективности товарораспределительной сети, основанной на воз-

никновении эффектов: организационного, технологического, экономического.

Организационный эффект процессно-объектного ГДП достигается за счет повышения эффективности управленческих решений по доставке грузов и перемещению вагонов, принимаемых участниками транспортного рынка. Рост эффективности связан с их взаимодействием при разработке ГДП, а также расширением возможностей по формированию состава требований к процессу перемещения грузов и вагонов, идентификацией движения поездов на маршрутах следования по полигону инфраструктуры.

Технологический эффект заключается в обеспечении согласованности технологий перевозчиков и оператора инфраструктуры по обработке поездов на объектах инфраструктуры в соответствии с установленными маршрутами следования.

Экономический эффект обусловлен совокупным снижением транспортных издержек всех участников перевозочного процесса, а также привлечением дополнительных доходов за счет повышения качества организации перевозочного процесса.

Выводы. 1. Организация движения поездов на полигоне инфраструктуры железнодорожного транспорта должна обеспечивать согласование требований всех участников перевозочного процесса, что не в полной мере обеспечивается при использовании известных методов разработки ГДП. Одним из вариантов решения проблемы является использование процессно-объектного подхода, обеспечивающего согласование множества расписаний движения поездов по маршрутам следования.

2. Данный подход к разработке ГДП на полигоне инфраструктуры позволяет минимизировать потери оператора инфраструктуры при обеспечении удовлетворения спроса участников рынка транспортных услуг на перемещение товарных потоков с максимальной совокупной доходностью. Отказ в удовлетворении заявок на организацию движения поездов может происходить только по объективным причинам, соответствующим экономическим приоритетам оператора инфраструктуры и техническим возможностям объектов инфраструктуры.

3. Применение процессно-объектного подхода обеспечивает условия равноправной конкуренции в вопросах предоставления доступа к услугам инфраструктуры железнодорожного транспорта и создает условия для возникновения синергетического экономического эффекта взаимодействия участников пере-

возочного процесса. На его основе в настоящее время разрабатывается методика практической реализации поставленной задачи для замкнутых полигонов железнодорожной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика: утв. 19.12.2006 / ОАО «РЖД». М.: Техинформ, 2006. 54 с.
2. Фёдоров Е.А. Процессное моделирование разработки графика движения поездов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2015. № 2. С. 70–72.
3. Фёдоров Е.А. Информационное обеспечение процессно-объектной модели разработки графика движения поездов на инфраструктуре железной дороги // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС-2016): материалы Междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Беларусь, 26 октября 2016). Минск: БГУИР, 2016. С. 38–39.
4. Оперативное планирование поездной работы на основе модели поездообразования / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2009. № 1. С. 42–47.
5. Фёдоров Е.А. Оценка разработки и выполнения графика движения поездов с учетом плана формирования // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию двух основополагающих кафедр МГУПС (МИИТ) «Железнодорожные станции и узлы» и «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» (Москва, 16–17 октября 2014 г.) / ред. В. Н. Морозов, Ю. О. Пазойский. М.: ВИНТИ РАН, 2015. С. 112–113.
6. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой. Ч. II. График движения поездов и пропускная способность: учеб. пособие. М.: РГОТУПС, 2002. 171 с.
7. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования / А. А. Лазарев, Е. Г. Мусатова, Е. Р. Гафаров, А. Г. Кварачхелия. М.: ИПУ РАН, 2012. 92 с.
8. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 222 с.
9. Mastrolilli M. Efficient Approximation Schemes for Scheduling Problems with Release Dates and Delivery Times // Journal of Scheduling. 2003. Vol. 6. № 6. P. 521–531.
10. Potts C.N., Wassenhove L.N. van. Dynamic programming and decomposition approaches for the single machine total tardiness problem // European Journal of Operational Research. 1987. Vol. 32. № 3. P. 405–414.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ФЁДОРОВ Евгений Александрович,
заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», БелГУТ

Статья поступила в редакцию 09.01.2018 г., принята к публикации 07.04.2018 г.

Methodological basis for the implementation of train formation plans for carriers in the train schedule at the infrastructure site

E. A. FEDOROV

Belarusian State University of Transport (BelGUT), Gomel, 247045, Republic of Belarus

Abstract. The current market of railway transport participants is distinguished by an expanded composition of possible participants in comparison with the traditional approach “shipper – carrier – recipient”, taking into account the tendencies of limiting natural monopolies and ensuring equitable access to the services of the railway transport infrastructure provided by the agreement on the Eurasian Economic Union. Organization of train work in such conditions is complicated by an expanded list of requirements for the train operation along the routes and the need to coordinate the actions of a significant number of participants in the transportation.

The article offers the method of the decision of a task on development of the train schedule on the closed range of an infrastructure of railway transportation of the general using, providing effective development of the train flows declared for transportation by set of carriers.

In the methodology, a transition was made from the objective principle of developing the unstructured operational load to the railway sections and stations to process identification of the traffic flows of the carriers, which determines the route assignments of trains and the parameters of using the infrastructure objects with reference to the destination of the formation plan. The application of this methodology provides conditions for equitable competition in the use of the railway transport infrastructure and creates the conditions for the synergetic economic effect of the interaction of participants in the transportation process.

Keywords: infrastructure operator; carrier; train schedule; process-object modeling; equitable access

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-2-92-97>

REFERENCES

1. *Instruction on the organization of train work for the dispatch of freight trains on solid threads of the schedule.* Approved on 19.12.2006, JSC “Russian Railways”. Moscow, Tekhninform Publ., 2006, 54 p. (in Russ.).
2. Fedorov E. A. *Protsessnoe modelirovanie razrabotki grafika dvizheniya poezdov* [Process modeling of train schedule development]. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transportation], 2015, no. 2, pp. 70–72.
3. Fedorov E. A. *Informatsionnoe obespechenie protsessno-ob'ektnoy modeli razrabotki grafika dvizheniya poezdov na infrastrukture zheleznoy dorogi* [Information support of the process-object model for the development of the train schedule on the railway infrastructure]. Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2016 (ITS-2016): materialy Mezhdunar. nauch. konf. (BGUIR, Minsk, Belarus', 26 oktyabrya 2016) [Information Technologies and Systems 2016 (ITS-2016): materials of the Intern. sci. conf. (BSUIR, Minsk, Belarus, October 26, 2016)]. Minsk, BGUIR Publ., 2016, pp. 38–39.

4. Kuznetsov V. G., Fedorov E. A., Ovsyannikov V. F., Al'shevs-kaya S. P. *Operativnoe planirovanie poezdnoy raboty na osnovе modeli poezdoobrazovaniya* [Operational train planning based on the model of train formation]. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transportation], 2009, no. 1, pp. 42–47.

5. Fedorov E. A., Morozov V. N., Pazoyskiy Yu. O. *Otsenka razrabotki i vypolneniya grafika dvizheniya poezdov s uchetom plana formirovaniya* [Evaluation of the development and implementation of the schedule of train traffic taking into account the plan of formation]. Sovremennyye problemy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta i upravleniya perevozochnym protsessom. Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu dvukh osnovopolagayushchikh kafedr MGUPS (MIIT) “Zheleznodorozhnye stantsii i uzly” i “Upravlenie ekspluatatsionnoy rabotoy i bezopasnost'yu na transporte” (Moskva, 16–17 oktyabrya 2014 g.) [Modern problems of the development of railway transport and management of the transportation process. Coll. pr. of Intern. scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of the two main departments of the Moscow State Railway University (MIIT) “Railway Stations and Units” and “Management of Operational Safety and Security in Transport” (Moscow, October 16–17, 2014)]. Moscow, VINITI RAS Publ., 2015, pp. 112–113.

6. Abramov A. A. *Upravlenie ekspluatatsionnoy rabotoy. Ch. II. Grafik dvizheniya poezdov i propusknaya sposobnost': ucheb. posobie* [Management of operational work. Part II. Traffic schedule and throughput capacity: Tutorial]. Moscow, RGOTUPS Publ., 2002, 171 p.

7. Lazarev A. A., Musatova E. G., Gafarov E. R., Kvaratskhe-liya A. G. *Teoriya raspisaniy. Zadachi zheleznodorozhnogo planirovaniya* [Theory of schedules. The tasks of railway planning]. Moscow, IPU RAS Publ., 2012, 92 p.

8. Lazarev A. A., Gafarov E. R. *Teoriya raspisaniy. Zadachi i algoritmy* [Theory of schedules. Tasks and algorithms]. Moscow, MGU Publ., 2011, 222 p.

9. Mastrolilli M. *Efficient Approximation Schemes for Scheduling Problems with Release Dates and Delivery Times*. Journal of Scheduling, 2003, Vol. 6, no. 6, pp. 521–531.

10. Potts C. N., Wassenhove L. N. van. *Dynamic programming and decomposition approaches for the single machine total tardiness problem*. European Journal of Operational Research, 1987, Vol. 32, no. 3, pp. 405–414.

ABOUT THE AUTHOR

Evgeniy A. FEDOROV,

Head of the Department “Management of the operational work”, BelGUT

Received 09.01.2018

Accepted 07.04.2018

E-mail: rwitor@gmail.com (E. A. Fedorov)