

УДК 656.222.4

Е. А. ФЁДОРОВ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОМПОЗИЦИЯ РАСЧЕТНОГО ПОЛИГОНА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ДЛЯ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Определена сущность процессно-ориентированного подхода применительно к моделированию и организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Установлен состав параметров поездных назначений, достаточный для процессно-объектного моделирования графика движения поездов. Описана методика построения композиции расчетного полигона инфраструктуры железной дороги и определения приоритетов пропуска поездов различных категорий. Изложен порядок оценки технических и технологических возможностей системы организации движения поездов заявленным параметрам процессов движения поездов.

Организация перевозок на железнодорожном транспорте представляет собой комплексное взаимодействие субъектов перевозочного процесса при перемещении транспортных потоков, организованное единым регулятором. Основой эффективной реализации логистических требований всех участников является единая технология перевозочного процесса (ЕТПП), определяющая порядок их взаимодействия на инфраструктуре для различных условий и изменений параметров перемещения транспортных потоков.

Основополагающим принципом современных подходов к управлению является процессный подход, который в сфере организации перевозочного процесса предполагает формирование моделей выполнения технологических (управленческих) процессов (операций), направленных на достижение поставленной конечной цели – следования поездов по полигону инфраструктуры в установленные ТНПА (локальными актами) сроки.

Сущность процессно-ориентированного подхода применительно к моделированию и организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте заключается в систематизации и объединении на полигоне оператора инфраструктуры процессов перемещения (обслуживания) транспортного потока в соответствии с требованиями к параметрам перемещения (обслуживания) заявленными участниками процесса и возможностями инфраструктуры по их пропуску. Перевозочный процесс определяется как упорядоченное во времени и пространстве множество действий (операций) участников, связанное с перемещением транспортного потока по инфраструктуре в соответствии с маршрутом его следования и обслуживанием на объектах инфраструктуры [1].

Переход на процессно-объектные методы организации и управления движением поездов на инфраструктуре железной дороги обеспечивает соответствие требований к параметрам продвижения транспортных потоков (грузов, вагонов, поездов), устанавливаемых основополагающими технологическими документами в составе единой технологии перевозочного процесса (ЕТПП): планом формирования поездов (ПФ) перевозчиков и графиком движения поездов (ГДП).

Основным регулятором перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является ГДП как система организации процессов пропуска поездов различных категорий, заявленных организованным множеством участ-

ников перевозочного процесса на множестве участков инфраструктуры железнодорожного транспорта.

План формирования грузовых поездов (ПФ) на железнодорожных станциях является основой разработки ГДП, определяющей потребные категории грузовых поездов и маршруты их следования по сети железных дорог. Вопросы технологической увязки ПФ перевозчиков и ГДП на основе реализации ниток (расписаний), которые обеспечивают согласование логистических требований участников в рамках единой технологии перевозочного процесса (ЕТПП), не имеют достаточного теоретического решения и не находят обоснованного использования в организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте общего пользования в Республике Беларусь.

Используемые технологии разработки ГДП, основанные на объектно-ориентированных методах, обладают рядом существенных недостатков, не позволяющих в достаточной степени обеспечить соответствие ГДП и ПФ и, соответственно, обеспечить равноправные условия предоставления клиентам железнодорожного транспорта доступ к услугам инфраструктуры. Переход к процессно-ориентированным принципам построения ГДП позволяет реализовать единую полигонную технологию организации движения поездов в рамках ЕТПП, которая обеспечит на основе ГДП соответствие заявленных требований участников перевозочного процесса техническим и технологическим возможностям организации движения поездов на полигоне инфраструктуры.

Одним из возможных способов моделирования ГДП, соответствующего параметрам ЕТПП, является процессно-объектный метод разработки ГДП на полигоне инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования [4, 5], позволяющий получить процессно-объектный график движения поездов (ПОГДП) нового типа, обеспечивающий системное соответствие заявленных требований участников перевозочного процесса техническим и технологическим возможностям организации движения поездов на полигоне инфраструктуры.

В основу метода положены теория расписаний и теория графов, которые позволяют построить пространственно-временной направленный граф реализации потока поездных заявок на расчетном полигоне и рассматривать процесс моделирования ГДП посредством оптимизации путей в графе, соответствующих маршрутам

следования заявленных поездов по критерию минимизации суммарного отклонения времени их прибытия на станции назначения от установленных эталонных значений.

Применение данного метода позволяет в ЕТПП получить модель, синхронизированную с производственно-бытовыми циклами клиентов, транспортно-логистическими схемами доставки грузов и перемещения вагонов, ПФ перевозчиков, технологией работы объектов инфраструктуры.

Новые, ранее не учитываемые при разработке ГДП, свойства поездопотоков, определяющие их как процессы, упорядоченные во времени и пространстве, устанавливаются при формировании поездных заявок на основе ПФ перевозчиков. В поездных заявках перевозчиков учитываются параметры и свойства исходных корреспонденций вагонопотоков, параметры времени предъявления и прокладки заявленных поездов на инфраструктуре с учетом их взаимного позиционирования на пространственно-временном поле ГДП для перемещения по заданным маршрутам следования распределенной по времени предъявления к перевозке грузовой массы клиентов:

$$Z_N = \frac{p_{(p;q)}(t)}{\bar{q}_z \bar{l}_v m_n} = \left\{ (\bar{p}; \bar{q}); N_{(p;q)}(t); T_{(p;q)}^D; \{T_{(p;q)}^{S_i}\} \right\}, \quad (1)$$

где $p_{(p;q)}(t)$ – грузовая масса, распределенная по времени предъявления к перевозке в соответствии с параметрами ЕТПП, контактными графиками взаимодействия железнодорожного транспорта общего пользования с клиентами и другими видами транспорта; \bar{q}_z – средняя поездная нагрузка, т/м; \bar{l}_v – условная длина грузового вагона; m_n – нормативное число вагонов в составе поезда; $(\bar{p}; \bar{q})$ – маршрут следования поездной заявки; $N_{(p;q)}(t)$ – распределенное по времени совокупное (или среднесуточное) количество ниток в ПОГДП для реализации поездной заявки по назначениям ПФ перевозчика; $T_{(p;q)}^D$ – предельно допустимый срок следования заявленных поездов, устанавливаемый перевозчиком по каждой поездной заявке на основании нормативных сроков доставки грузов, планируемых затрат времени на обслуживание транзитных поездов и переработку вагонопотоков на технических станциях; $T_{(p;q)}^{S_i}$ – параметры времени обслуживания заявленных поездов на железнодорожных участках и технических станциях, в соответствии с ЕТПП [2].

Формирование таких требований позволяет перевозчикам систематизировать поездные заявки с учетом категорий поездов и условий их реализации в ПОГДП на инфраструктуре (отправительские и технические маршруты, контейнерные, конрейлерные и другие поезда).

В результате позиционирования поездных заявок на инфраструктуре формируется множество временных зон, требующих совместного размещения поездов на пространственно-временном поле ГДП:

$$\{NTL_{(p;q)_i}^{ГДП}\} = \left\{ \left(T_{(p;q)_i}^{инт}, v_{(p;q)_i}^{о.н}, L_{(p;q)_i}(t, R), T_{(p;q)_i}^{S_{ij}}(t, R) \right) \right\}, \quad (2)$$

где $T_{(p;q)_i}^{инт}$ – интервал времени предъявления потока поездов на инфраструктуру; $v_{(p;q)_i}^{о.н}$ – число степеней свободы оператора инфраструктуры при реализации поездной заявки в ГДП; $L_{(p;q)_i}(t, R)$ – расстояния маршрута следования поездной заявки; $T_{(p;q)_i}^{S_{ij}}(t, R)$ – параметры времени реализации поездной заявки на объектах инфраструктуры.

При совмещении зон пропускки различных поездных заявок могут возникать конфликтные ситуации (рисунк 1), формирующие эксплуатационный риск невыполнения предельно допустимого срока следования заявленных поездов за счет возникновения ожиданий обслуживания поездов по причине отсутствия пропускной способности объектов инфраструктуры $N_{(p;q)_i}^H(t)$ в совместной зоне пропускки.

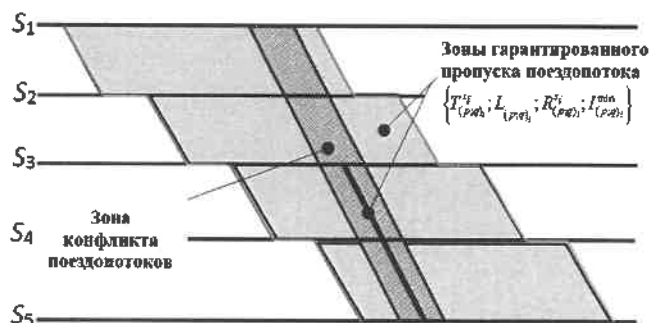


Рисунок 1 – Зоны гарантированного пропуска поездопотоков различных категорий и их совмещение на пространственно-временном поле ГДП

Значения параметров, устанавливаемых при формировании поездных заявок, позволяют при моделировании пропускки поездов на полигоне инфраструктуры выделить ядро N_j и факультативную часть N_ϕ поездопотока, которые обеспечиваются нитками для пропускки поездов на маршрутах их следования по постоянному расписанию (с учетом периода действия поездной заявки). Оставшиеся поездные заявки при разработке ПОГДП по процессно-объектному методу рассматриваются как переменная (дополнительная) часть поездопотоков $N_{доп}$, которая реализуется за счет наличия резерва пропускной способности инфраструктуры на маршрутах следования поездов:

$$N_n^{ГП} = N_j + N_\phi + N_{доп} < N_n^{ГП} - \Delta N_p, \quad (3)$$

где $N_n^{ГП}$ – потребная пропускная способность инфраструктуры на маршруте следования; $N_n^{ГП}$ – наличная пропускная способность в грузовом движении; ΔN_p – минимальный резерв пропускной способности расчетного полигона инфраструктуры на маршруте следования, уста-

новленный по допустимому уровню эксплуатационного риска невыполнения поездной заявки.

Для реализации процессно-объектного моделирования разработана методика построения композиции расчетного полигона инфраструктуры железной дороги, позволяющая определить множество расчетных полигонов моделирования ГДП с использованием процессно-ориентированного подхода и установить приоритетную очередность пропуска поездов различных категорий в пределах потребных интервалов времени на объектах инфраструктуры, обеспечивающую более эффективное использование пропускной способности железнодорожных направлений.

Построение композиции предусматривает: формирование расчетных железнодорожных направлений для процессно-ориентированного моделирования ГДП; установление приоритетов пропуска заявленных поездов различных категорий на технических станциях; комплексную оценку технических возможностей и резервов пропускной способности объектов инфраструктуры и отдельных технических устройств по пропуску заявленных поездопотоков.

Железнодорожные направления преимущественного пропуска поездных заявок клиентов по маршрутам следования $S_{(p;q)}$ определяются в соответствии с установленной оператором инфраструктуры системой приоритетов пропуска поездопотоков.

Любое железнодорожное направление на полигоне инфраструктуры представляет собой совокупность последовательно расположенных технических станций (с учетом обслуживаемого района местной работы) и участков инфраструктуры, на которых организуется процесс движения поездов на маршрутах их следования, выраженный через согласованные нитки графика:

$$S_H = \cup S_{CT}^{TECH} + \cup S_{уч}. \quad (4)$$

По объектному признаку отношения к выделенным железнодорожным направлениям поездные заявки позиционируются как (рисунок 2):

– образующие направление S_{Hj} , маршрут следования которых полностью проходит по направлению: $S_{(p;q)_i} \in S_{Hj}$;

– частично включенные в направление S_{Hj} , маршрут следования которых проходит, как минимум, по одному железнодорожному участку направления:

$$\begin{cases} S_{(p;q)_i} \in \cup_{j=1}^n S_{Hj}, n > 1, \\ \sum S_{уч} \in (S_{Hj} \cup S_{(p;q)_i}) \geq 1; \end{cases} \quad (5)$$

– пересекающиеся с направлением S_{Hj} , маршрут следования которых проходит только через одну техническую станцию направления:

$$\begin{cases} S_{(p;q)_i} \in \cup_{j=1}^n S_{Hj}, n > 1, \\ \sum S_{CT}^{TECH} \in (S_{Hj} \cup S_{(p;q)_i}) = 1. \end{cases} \quad (6)$$

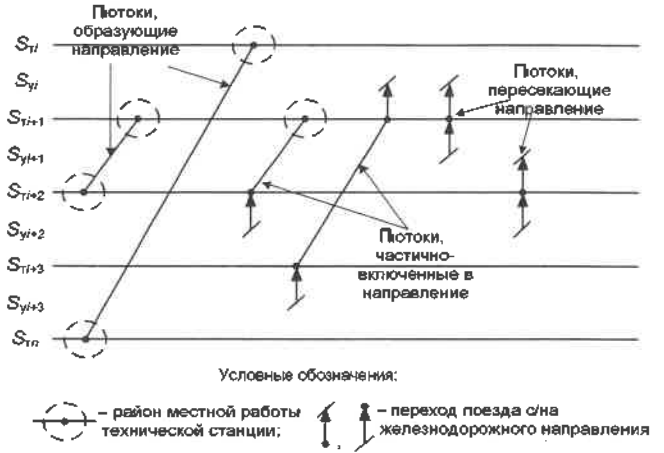


Рисунок 2 – Позиционирование поездных заявок по объектному признаку на расчетном железнодорожном направлении

Композиция полигона инфраструктуры должна удовлетворять общему достаточному условию (ОДУ), обеспечивающему возможность реализации в ГДП на каждом направлении установленных поездной заявкой сроков перемещения $T_{(p;q)_i}^{ДОГ}(S_{Hj})$ для всех поездов, принятых оператором к перевозке на инфраструктуре железнодорожного транспорта:

$$\begin{aligned} NT_{(p;q)_i}^{э.п}(S_{Hj}) &\leq NT_{(p;q)_i}^{ДОГ}(S_{Hj}); \\ \forall N_{(p;q)_i}(t_p; t_q) &\in N_{(p;q)}, \forall S_{Hj} \in S_H, \end{aligned} \quad (7)$$

где $N_{(p;q)_i}(t_p; t_q)$ – заявленный поезд с определенными параметрами времени предъявления (t_p) и сдачи (t_q) поездов с инфраструктуры; $T_{(p;q)_i}^{э.п}$ – эталон (норматив) времени перевозки на расчетном железнодорожном направлении, определяемый условиями моделирования ГДП и параметрами заявленных поездов; $N_{(p;q)}$ – множество поездных заявок; S_H – множество железнодорожных направлений полигона инфраструктуры.

Формирование железнодорожных направлений производится с технических станций концентрации вагонопотоков или стыковых пунктов полигона инфраструктуры в направлении r_{S_H} перемещения наиболее приоритетных для оператора и устойчивых по объему поездопотоков, устанавливаемых по суммарной мощности поездопотока и величине эксплуатационного риска необеспечения предельного срока реализации поездной заявки $r_{(p;q)_i}$:

$$r_{S_H} = \sum \xi N_{(p;q)_i} r_{(p;q)_i}, \quad (8)$$

где ξ – коэффициент повышения приоритета отдельных категорий поездов, установленный оператором инфраструктуры; $N_{(p;q)_i}$ – мощность i -й поездной заявки, включенной в рассматриваемое направление S_H .

Значение коэффициента ξ устанавливается оператором инфраструктуры при формировании композиции расчетного полигона для повышения значимости поездных заявок отдельных категорий на основании сложившихся без-

условных приоритетов. Например, значения коэффициентов должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{cases} \xi_{МПП} > \xi_{МРЛБ} > \xi_{МРЛЭ} > \xi_{РЛ,ГЛ}; \\ \forall \xi_{Пас} \gg \forall \xi_{Гр}; \\ \xi_{Конт} > \xi_{Уск} > \xi_{Маршр} > \xi_{Лф}, \end{cases} \quad (9)$$

где $\xi_{МПП}$; $\xi_{МРЛБ}$; $\xi_{МРЛЭ}$; $\xi_{РЛ,ГЛ}$ – коэффициент повышения приоритета для международных пассажирских поездов, поездов межрегиональных линий бизнес- и экономкласса соответственно, региональных и городских линий; $\xi_{Пас}$; $\xi_{Гр}$ – то же для пассажирских и грузовых поездов любых категорий; $\xi_{Конт}$; $\xi_{Уск}$; $\xi_{Маршр}$; $\xi_{Лф}$ – то же для контейнерных, ускоренных грузовых поездов, маршрутов и организованных планом формирования сквозных и участковых грузовых поездов.

Композиция полигона инфраструктуры для разработки ПОГДП позволяет установить очередность обслуживания поездных заявок множества перевозчиков в пределах потребных интервалов времени на объектах инфраструктуры с учетом их технических возможностей и распределения резервов пропускной способности (рисунок 3).

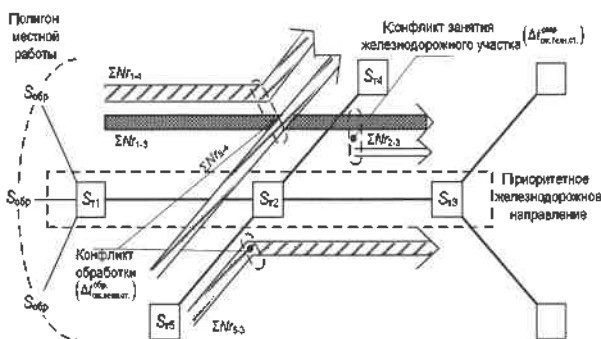


Рисунок 3 – Выбор очередности согласования расписаний следования заявленных поездов на технических станциях

Сформированная оператором композиция полигона инфраструктуры оценивается перевозчиками на соответствие системе технической эксплуатации подвижного состава. В результате оценки перевозчики устанавливают границы участков выполнения регламентированных технологических операций по условиям гарантированного обеспечения требований безопасности движения поездов, регламентированных сертификатом безопасности оператора инфраструктуры и нормативной документацией по эксплуатации подвижного состава.

В рамках Единой технологии перевозочного процесса для каждой технической станции полигона инфраструктуры перевозчики определяют потребное время обслуживания заявленных поездов $T_{(p,q)t}^{Sj}$, перечень технологических операций $\{O_{(p,q)t}^{Sj}\}$ и потребные (собственные или привлекаемые) ресурсы объектов инфраструктуры $\{R(O)_{(p,q)t}^{Sj}\}$ для их выполнения.

Структурно-сетевая композиция полигона определяет порядок и параметры времени обслуживания

поездных заявок на объектах инфраструктуры, согласованные с системой технической эксплуатации подвижного состава перевозчиков. Это позволяет выполнить комплексную оценку технических возможностей и резервов пропускной способности объектов и отдельных технических устройств инфраструктуры при пропуске заявленных поездопотоков. Оценка выполняется для технических станций и железнодорожных участков на возможность обслуживания поездов в следующих режимах:

- пропуск поезда (движение) и организация технических стоянок (обгон, скрещение поездов) по участкам инфраструктуры;

- стоянка на технической станции для выполнения технологических операций (осмотр, смена локомотива и др.).

При моделировании ГДП, соответствующего принципам процессно-ориентированного подхода, технические возможности оцениваются:

- по техническим и технологическим ограничениям объектов инфраструктуры по пропуску заявленных поездопотоков;

- уровню наличной пропускной способности объектов инфраструктуры, выделяемому оператором инфраструктуры для обслуживания поездных заявок различных перевозчиков исходя из категории поездной заявки, параметров времени обслуживания поездопотока, наличия резервов пропускной способности технических и технологических подсистем объектов инфраструктуры для обслуживания поездов;

- параметрам технологии работы и системы технической эксплуатации объектов инфраструктуры.

Для железнодорожных участков технические и технологические ограничения характеризуются отказом в обслуживании (полном или частичном) и выражаются в виде невозможности обслуживания или увеличении времени движения поезда по участку инфраструктуры в связи с такими ограничениями, как:

- несоответствие вида тяги локомотива и участка;
- превышение критических значений расчетных параметров составов поездов, допустимых на участке по возможностям тяговых средств, габариту подвижного состава и др.;

- предоставление «окон» на ГДП в зоне интервала времени гарантированного пропуска заявленного поездопотока;

- использование пропускной способности участка для реализации поездных заявок других категорий и (или) более высокого приоритета;

- длительно (постоянно) действующие предупреждения о снижении скорости движения поездов по состоянию инфраструктуры.

Обслуживание поезда на технической станции представляет собой поток работ во времени, в котором каждая из технологических операций определяет использование определенных видов ресурсов.

Существующие методики оценки пропускной способности железнодорожных станций и их элементов [3] позволяют получить значимые результаты расчетов при

условии распределения поездопотоков по приоритетам обслуживания и известных интервалах предъявления поездов к обработке.

Разрабатываемая в соответствии с изложенными принципами композиция расчетного полигона инфраструктуры дает возможность установить очередность обслуживания поездов различных категорий, заявленных перевозчиками в пределах потребных интервалов времени на объектах инфраструктуры, и является основой более эффективной организации использования инфраструктуры на основе применения процессного подхода в управлении перевозочным процессом.

Список литературы

1 Применение предметно-ориентированной ГИС для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на

Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2. – С. 50–57.

2 Цифровая модель ГИС-технологий для решения задач оперативного управления перевозочным процессом / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2. – С. 66–71.

3 Методические рекомендации по расчету пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных сооружений и устройств. Ч. I. Методика расчета : [утв. приказом первого зам. начальника Белорусской ж.д. 03.09.2009 № 1043НЗ].

4 Фёдоров, Е. А. Методологические основы реализации планов формирования поездов перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры / Е. А. Фёдоров // Вестник ВНИИЖТ – 2018. – № 2. – С. 92–97.

5 Фёдоров, Е. А. Процессное моделирование разработки графика движения поездов / Е. А. Фёдоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 70–72.

Получено 18.06.2019

E. A. Fyodorov. Composition of the calculation polygon of the railway infrastructure for process-oriented modeling of the train schedule.

The essence of the process-oriented approach in relation to the modeling and organization of the transportation process on the railway transport has been determined. A set of parameters of train assignments, sufficient for the process-object modeling of train schedules, has been established. The method of constructing a composition of the calculated polygon of the railway infrastructure and determining the priorities of movement of trains of various categories is described. The procedure for assessing the technical and technological capabilities of the system of organizing the movement of trains to the declared parameters of the processes of train traffic.