

УДК 656.222.4

Е. А. ФЕДОРОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССНО-ОБЪЕКТНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Определены принципы, методы и способы организации деятельности участников транспортного процесса в процессно-объектном графике движения поездов, определена область применения графика движения нового типа, описан подход к определению синергетической эффективности системы доставки грузов и перемещения порожних вагонов на основе применения процессно-объектного графика движения поездов.

Реализация деятельности субъектов транспортно-го процесса в графике движения поездов (ГДП) основывается на свойствах множества исходных грузовых и порожних вагонопотоков клиентов, предъявляемых равноправным перевозчикам для перемещения по инфраструктуре железнодорожного транспорта. На параметры процесса перемещения поездов и маршруты их следования влияют технические возможности и технология взаимодействия перевозчиков и оператора инфраструктуры [2].

Для обеспечения эффективности деятельности перевозчиков, связанной, в первую очередь, с организацией движения поездов, предусмотренных планом формирования, ГДП должен обеспечивать:

- соответствие расположению на инфраструктуре пунктов технического обслуживания (ТО) и коммерческого осмотра (КО) общей композиции полигона инфраструктуры;

- рациональное размещение участков обращения локомотивов (УОЛ) и локомотивных бригад (УОБ) и увязку локомотивов и бригад, обеспечивающая максимально эффективное их использование;

- синхронизацию процессов составаобразования на технических станциях, предусмотренных планом формирования перевозчика, с ГДП.

Процедура реализации деятельности перевозчиков в процессно-объектном ГДП приведена на рисунке 1.

На основании планируемых параметров поездопотоков перевозчик выделяет для каждого поездного назначения потребное число ниток, реализуемых в ГДП:

- 1) прокладкой ниток на маршруте следования процессно-объектным методом;

- 2) обеспечиваемых потребным уровнем пропускной способности объектов инфраструктуры на маршруте следования (что соответствует существующему подходу к разработке ГДП).

Полученное подмножество поездных назначений является исходным для моделирования ниток ГДП на инфраструктуре процессно-объектным методом.

Надежность и безопасность следования вагонопотоков клиентов обеспечивается перевозчиком в пределах установленных гарантийных участков безопасного следования вагонов на полигоне инфраструктуры.

При осуществлении ТО и КО вагонов как услуги инфраструктуры, места их возможного проведения устанавливаются оператором инфраструктуры с учетом композиции полигона и ограничений по его использо-

ванию. Перевозчик определяет станции выполнения ТО и КО для каждого поездного назначения исходя из критерия минимизации числа осмотров при соблюдении гарантийных плеч следования вагонов:

$$\begin{aligned} \min Ns^{\text{TO, KO}} \mid L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)] \leq \\ \leq L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k), \forall n_k \in N \rightarrow \text{opt TO, KO}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $Ns^{\text{TO, KO}}$ – число осмотров составов поездов в пути следования; $L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)]$ – расстояние между станциями проведения ТО, КО на маршруте следования поезда; $L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k)$ – гарантийное плечо следования вагонов типа n_k .

Осуществление ТО и КО силами перевозчика связано со значительными затратами на содержание ресурсов на технических станциях для выполнения соответствующих видов работ. Критерием выбора станций осмотра при этом может служить минимизация потребного числа пунктов проведения ТО и КО:

$$\begin{aligned} \min \sum s^{\text{TO, KO}} \mid L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)] \leq \\ \leq L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k), \forall n_k \in N \rightarrow \text{opt (TO, KO)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Прокладка ниток ГДП процессно-объектным методом предполагает определенность их параметров на всем маршруте следования, что дает перевозчику возможность повышения эффективности эксплуатации локомотивов и локомотивных бригад. Для каждого поезда, реализуемого в ГДП по процессно-объектному принципу, перевозчик устанавливает станции смены локомотивов и локомотивных бригад, а также минимальные временные нормативы для выполнения этих операций.

Оператор инфраструктуры для установленного множества поездных заявок равноправных перевозчиков определяет полигон моделирования ГДП и множество приоритетов обработки поездных заявок на технических станциях (в узлах) инфраструктуры.

Установление приоритетов обработки поездных заявок на технических станциях в пределах сформированного полигона моделирования ГДП завершает формирование матрицы поездопотоков для моделирования процессно-объектного ГДП в соответствии с подходом, изложенным в [4].

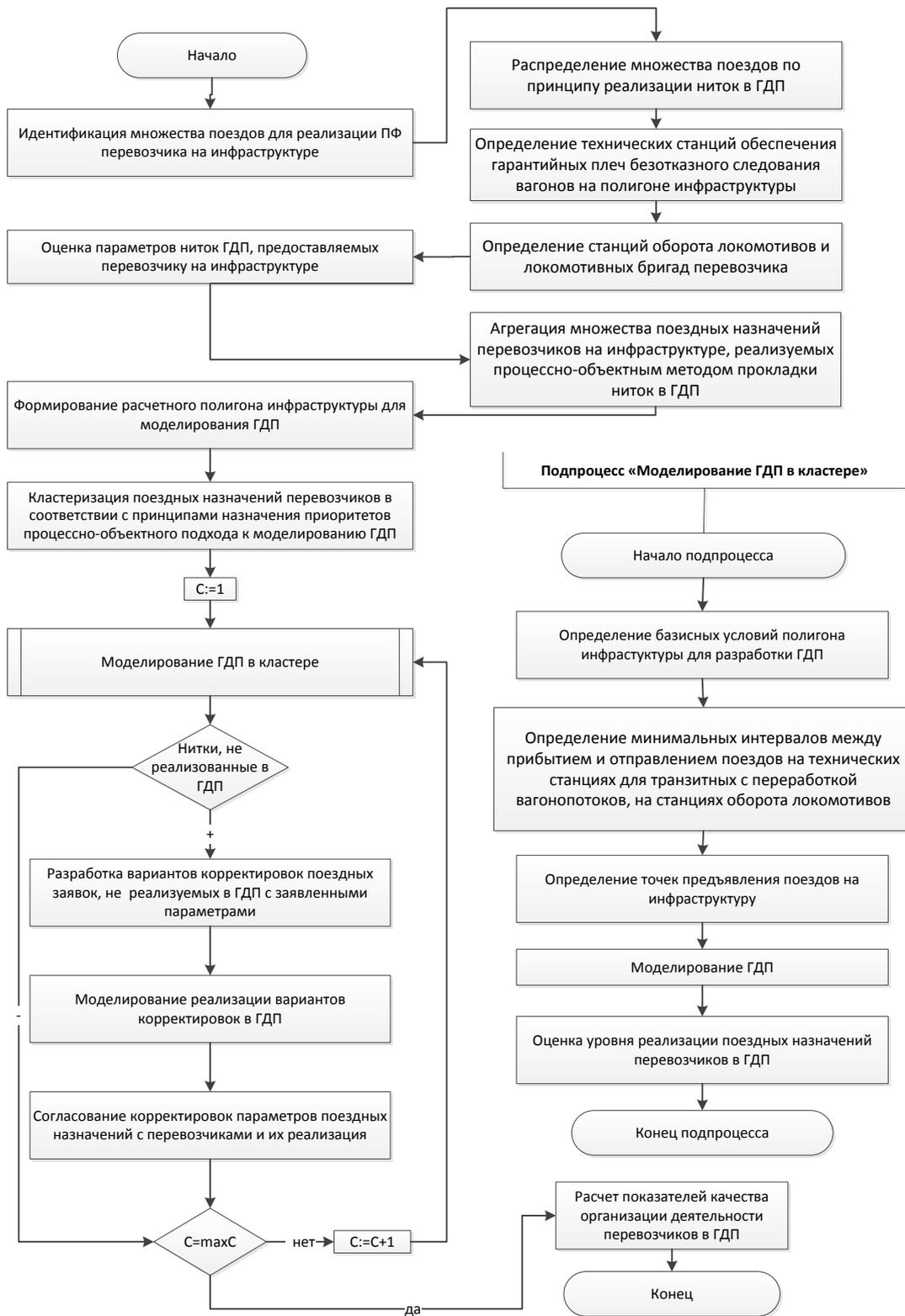


Рисунок 1 – Процесс реализации деятельности перевозчиков в ГДП

Для каждого кластера поездов, выделенного по приоритету предоставления доступа, формируется пространственно-временное поле расписаний ГДП, в котором выделяются временные зоны с различной степенью предпочтительности для прокладки ниток.

Оценка предпочтительности зон $Z(t)$ выполняется по комплексному минимаксному критерию, отражающему эффективность прокладки нитки ГДП для клиентов и оператора инфраструктуры:

$$\max Z(t) = \min \left\{ T_{(p;q)}(t) \right\} \max \left\{ \min N_{s_{c_k}}^n(t) \right\}, \quad (3)$$

где $T_{(p;q)}(t)$ – время следования поезда по маршруту при отправлении в момент времени t , определяемое без учета влияния других поездов рассматриваемого кластера; $N_{s_{c_k}}^i(t)$ – наличная пропускная способность технической станции в период обработки поезда.

В зависимости от характера образования грузопотока и условий поставки клиент устанавливает временные требования к реализации заявок на перевозку грузов в ГДП.

Для каждого типа поездопотока клиентов в процессно-объектном ГДП задаются начальные точки предъявления поездов на инфраструктуру:

1) при фиксированном времени предъявления поезда точкой предъявления поезда на инфраструктуру является ближайшая к заявленному времени (с учетом хода времени) свободная вершина отправления поезда со станции формирования.

2) при фиксированном времени прибытия поезда на станцию назначения (сдачи с инфраструктуры) время предъявления поезда определяется через предельный срок перевозки:

$$T_{(p;q)}^{\text{отпр}} = T_{(p;q)}^{\text{приб}} - D_{(p;q)}; \quad (4)$$

3) в случае, когда время отправления поездов не регламентируется клиентом, точки предъявления поездов на инфраструктуру определяются с учетом зон с минимальным количеством конфликтов с поездами более высокого приоритета.

Моделирование ГДП производится поэтапно в пределах установленных групп поездов с равноправными условиями реализации на инфраструктуре. При этом любой моделируемой нитке ГДП к данному этапу определена совокупность необходимых параметров для ее прокладки:

$$N_{(p;q)}^{\text{ГДП}} = \left(c_k; (p; \{s_k\}; q); T_{(p;q)_j}^p; \left\{ T_{(p;q)_j}^{s_k} \right\}; D_{(p;q)_j}^{\text{мп}} \right), \quad (5)$$

где c_k – группа поездов, к которой отнесена нитка ГДП; $(p; \{s_k\}; q)$ – маршрут следования по инфраструктуре; $T_{(p;q)_j}^p$ – время (точка) предъявления нитки на инфраструктуру; $T_{(p;q)_j}^{s_k}$ – нормативное время обработки поезда на технической станции маршрута следования; $D_{(p;q)_j}^{\text{мп}}$ – предельный срок реализации заявки на движение поезда.

В условиях сложившейся неравномерности сбыта продукции в условиях рынка значительная часть поездных назначений клиентов может предъявляться на инфраструктуру не ежедневно, а в соответствии с календарными графиками, определенными на основании процессов образования товарной массы клиентов или ее потребления [5]. Разработка ГДП, обеспечивающего прокладку ниток в общей постановке задачи, приводит к возникновению значительного числа вариантов ГДП. При этом процессно-объектный метод моделирования предполагает поиск рационального решения прокладки ниток ГДП на основании принципов равноправного доступа к инфраструктуре. Соответственно, параметры множества ниток ГДП будут переменной величиной, определяемой вариантом ГДП.

Решение сформулированной проблемы в процессно-объектном ГДП достигается за счет консолидации поездных заявок, допускающих совместное использование ниток ГДП, очередность доступа клиентов к которым устанавливается оператором инфраструктуры на основе календарного планирования.

Организационная процедура разработки и оперативной корректировки ГДП определяет порядок и сроки взаимодействия участников рынка транспортных услуг по согласованию доступа к инфраструктуре железнодорожного транспорта в части организации движения поездов (рисунок 2).

Корректировка ГДП в течение периода его действия может носить периодический или оперативный характер. Периодическая корректировка ГДП предусматривает разработку вариантного ГДП и осуществляется в случаях:

- значительных изменений параметров поездных заявок по результатам подачи грузоотправителями месячных и декадных заявок на перевозку грузов;
- проведения на объектах инфраструктуры плановых и внеплановых работ, оказывающих влияние на условия движения, обработки поездов и пропускную способность объектов инфраструктуры.

Оператор инфраструктуры прокладывает нитки ГДП на заявленных маршрутах следования в зоне резерва пропускной способности.

Прокладка ниток может быть осуществлена следующими способами:

- выбор и увязка (при необходимости) резервных ниток ГДП на маршруте следования поездной заявки с последующим закреплением ниток за клиентом на период действия дополнительной заявки;
- агрегирование дополнительных заявок клиентов и разработка вариантного ГДП процессно-объектным методом в пределах свободного поля ГДП.

Область возможного применения процессно-объектного ГДП $D_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}}$ определяется:

- при идентификации множества поездопотоков, по требованиям к реализации и (или) обеспечению повышения экономической эффективности, подлежащих прокладке ниток поездных заявок на основании процессно-объектного метода;
- установлении полигона реализации маршрутов следования поездных заявок процессно-объектного ГДП на инфраструктуре по условиям совместимости технических средств и надежности перевозочного процесса:

$$D_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}} = \begin{cases} N = \left\{ N_{\text{т.р.ij}}^{\text{п.-о.ГДП}}; N_{\text{эк.эф.ij}}^{\text{п.-о.ГДП}} \right\}, \\ \sum N_{(p;q)_j}^j \left(1 - \prod P_k^j \right) \bar{\text{ш}}_j \leq \text{Ш}_{\text{max}}^j; \\ S_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}} = \left\{ s_i^{\text{инфр}} \right\} | s_i^{\text{инфр}} \in S_{\text{пер}}^{\text{ГДП}} \wedge s_i^{\text{инфр}} \in S_{\text{о.в}}^{\text{ГДП}}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\bar{\text{ш}}_j$ – средняя величина штрафных санкций (и иных потерь, связанных с восстановлением работоспособности транспортной системы) для j -го участника перевозочного процесса при срыве нитки ГДП; Ш_{max}^j – максимально допустимый размер штрафных санкций (и иных потерь) для j -го участника перевозочного процесса, определяемый исходя из уровня ожидаемой прибыли при переходе на движение поездов по процессно-объектному ГДП; $s_i^{\text{инфр}}$ – объект инфраструктуры; $S_j^{\text{ГДП}}$ – множество объектов инфраструктуры, на которых осуществляет деятельность j -й участник транспортного процесса.

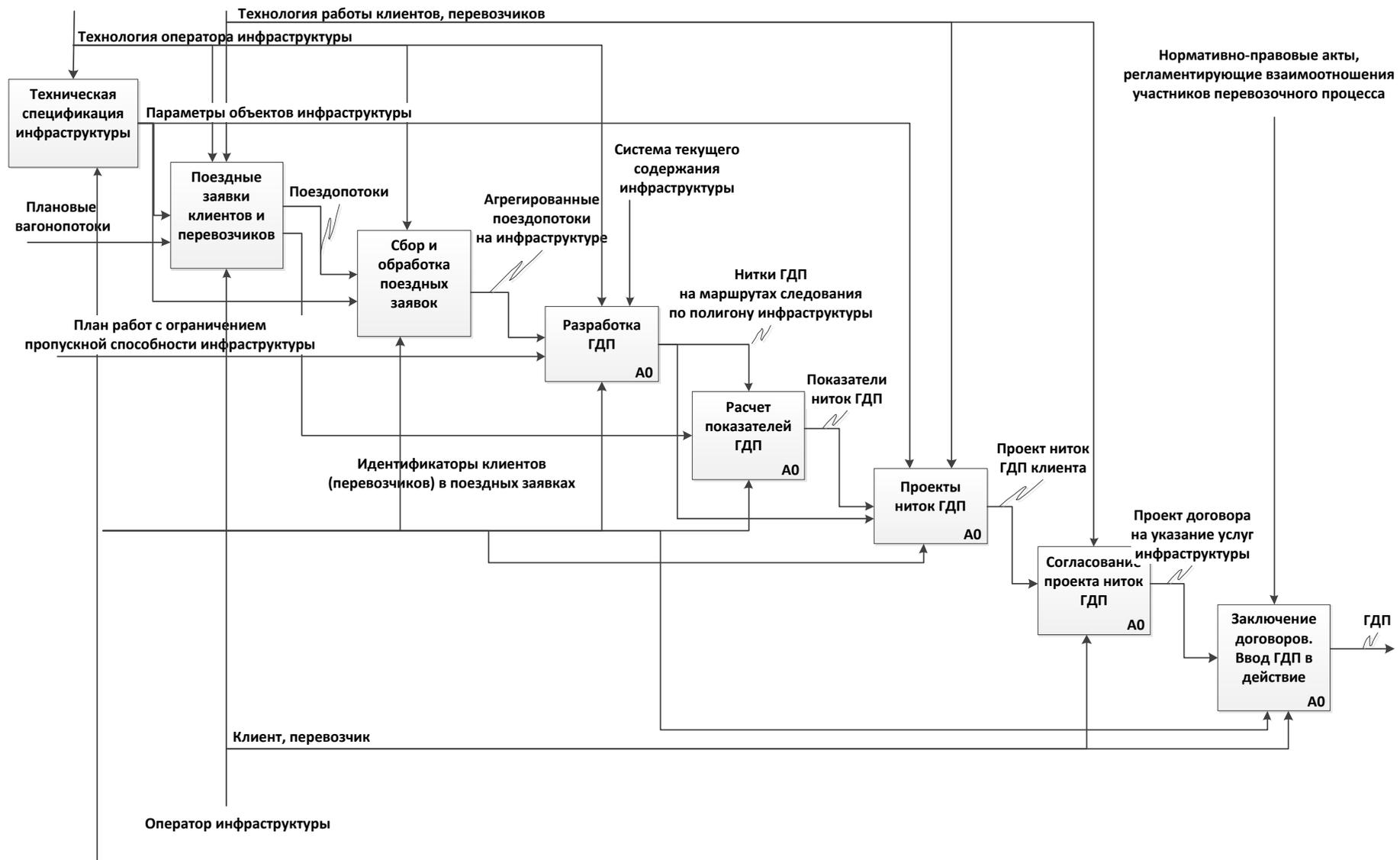


Рисунок 2 – Организационная процедура разработки ГДП

Синергетическая эффективность процессно-объектного ГДП базируется на достижении следующих эффектов транспортного процесса: 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, связанной с регламентацией их взаимодействия при разработке ГДП, расширением возможностей по формированию состава требований к процессу перемещения грузов и вагонов, идентификацией движения поездов на маршрутах следования по полигону инфраструктуры.

Технологический эффект доставки грузов и перемещения вагонов на основе применения процессно-объектного ГДП для оператора инфраструктуры, перевозчиков и клиентов заключается в обеспечении синхронизации производственно-сбытовых циклов клиентов железнодорожного транспорта с перевозочным процессом в рамках единой комплексной технологии перевозочного процесса.

Экономический эффект от организации доставки грузов и перемещения вагонов на основе процессно-объектного ГДП для каждого участника перевозочного процесса определяется методом оценки инноваций по интегральному эффекту, выраженному чистым дисконтированным доходом (NPV – Net Present Value).

Синергия экономического эффекта при этом выражается суммарным интегральным эффектом участников рынка железнодорожных перевозок на инфраструктуре:

$$NPV^{ГДП} = \sum NPV_i^{ГДП}. \quad (7)$$

Использование процессно-объектного ГДП предоставляет новые возможности участникам транспортного процесса, обусловленные снижением стохастичности движения поездов на инфраструктуре в рамках единой комплексной технологии взаимодействия при организации перевозок, обеспечивающей рациональное использование перевозочных ресурсов и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 **Репин, В. В.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Ковалев. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.
- 2 **Фёдоров, Е. А.** Информационное обеспечение процессно-объектной модели разработки графика движения поездов на инфраструктуре железной дороги / Е. А. Федоров // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС-2016) : материалы Междунар. науч. конф. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 38–39.
- 3 **Федоров, 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. практ. конф. / под общ. ред. В. Н. Морозова и Ю. О. Позойского. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – С. 112–113.
- 4 **Фёдоров, Е. А.** Процессное моделирование разработки графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 70–72.
- 5 **Фёдоров, Е. А.** Структурная композиция транспортных потоков при их интеграции в поездообразование и график движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1. – С. 55–60.

Получено 15.10.2017

E. A. Fedorov. Organization of the transport process with use process-objective traffic schedule for infrastructure of railway transport.

The principles, methods and methods of organizing the activity of the participants in the transport process in the process-object train schedule have been determined, the scope of the new type of traffic schedule has been defined, the approach to determining the synergetic efficiency of the cargo delivery system and moving empty wagons on the basis of application of the process-object traffic schedule trains.