

УДК 656.22

О. А. ТЕРЕЩЕНКО, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МЕСТНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ И УЗЛОВ

Рассмотрены актуальные проблемы организации оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов. Предложено определение динамической модели применительно к объекту и предмету исследования. Установлена роль и функции динамической модели при реализации управленческих процедур – планирования, регулирования и контроля перевозочного процесса. Представлена концепция динамической модели перевозочного процесса. Установлены требования к динамической модели и описаны ее объекты. Обоснованы применяемые подходы. Установлены аналитические зависимости. Решение задач исследования осуществлялось с использованием теории систем, методов теории множеств, теории управления, теории вероятностей.

**Б**елорусская железная дорога имеет устойчивое положение на рынке транспортных услуг. Продолжается активная интеграция в евроазиатские транспортные системы, наблюдаются позитивные тенденции для увеличения транспортной работы. При этом происходят процессы колебания и перераспределения эксплуатационной нагрузки между объектами железнодорожной инфраструктуры, связанные с сезонностью перевозок отдельных категорий грузов, наличием большого числа разовых отправок, логистической связью между системой управления грузовыми потоками и технологией работы смежных видов транспорта, грузовых терминалов, предприятий.

В структуре оборота вагона операции, относящиеся к местной работе, как правило, сопоставимы или превосходят суммарную продолжительность всех остальных операций перевозочного процесса. На Белорусской железной дороге в последнее десятилетие наблюдается тенденция к повышению удельного веса этого показателя, что обусловлено увеличением числа собственников эксплуатируемых вагонов, проведением мероприятий по экономии производственных ресурсов, экономической выгодой для железной дороги в увеличении продолжительности простоя вагонов на балансе клиентов (для недефицитного подвижного состава).

Оперативное планирование является одной из функций оперативного управления. Для решения задач по осуществлению и оптимизации местной работы железнодорожных участков и узлов производится планирование:

- процесса образования местных поездов на технических станциях;
- операций с местными вагонами на промежуточных станциях;
- процесса продвижения местных поездов;
- мероприятий по обеспечению перевозок производственными ресурсами.

Комплексное планирование перечисленных процессов существенно влияет как на продолжительность оборота вагонов, приходящуюся на операции в районе местной работы, так и на затраты, связанные с ресурсообеспечением рассматриваемого технологического процесса, что, в свою очередь, влияет на показатели финансово-экономической деятельности железной дороги.

Предлагаемые автором подходы предусматривают решение задач оперативного планирования местной

работы железнодорожных участков и узлов в реальном масштабе времени на основе динамической модели перевозочного процесса с использованием методов оценки технологических рисков, обусловленных отклонениями автоматизированных прогнозов состояния перевозочного процесса от действительности.

Под динамическими моделями понимают теоретические конструкции, описывающие изменение (динамику) состояний исследуемого объекта. В данной работе, с учетом специфики решаемых задач, под динамической моделью  $W(t)$  понимается совокупность изменяемых во времени объектов и их свойств, позволяющих на основе формальных правил, описывающих взаимодействие объектов модели, прогнозировать состояние перевозочного процесса.

Необходимым условием для формирования динамической модели перевозочного процесса является наличие массива информации, отображающей последовательное изменение состояния перевозочного процесса при условии, что достоверность и своевременность предоставления такой информации обеспечивает заданную надежность моделирования:

$$p_{W t} = p_{\tau} W t \quad p_{\beta} W t \geq 1 - \varepsilon_m, \quad (1)$$

где  $p_{\tau} W t$  – вероятность автоматизированного решения моделируемой задачи с допустимой точностью;

$p_{\beta} W t$  – вероятность автоматизированного решения моделируемой задачи за время, не превышающее допустимое;  $\varepsilon_m$  – максимально допустимый уровень погрешности моделирования.

Динамическую модель перевозочного процесса составляют два вида информации:

– условно-постоянная, включающая информационную модель железнодорожной инфраструктуры и взаимосвязанных объектов, нормативно-справочную информацию и формализованное математическое обеспечение функционирования модели;

– переменная, включающая отображение состояния динамических объектов железнодорожного транспорта с целью вычисления (прогнозирования) перспективных состояний перевозочного процесса для использования полученных результатов в качестве исходных данных в

системе оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов.

Взаимосвязь управленческих процедур при использовании динамической модели перевозочного процесса представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Динамическая модель в структуре управления перевозочным процессом

Применение динамической модели перевозочного процесса должно обеспечивать:

- прогнозирование с заданной точностью состояния местной работы железнодорожных участков и узлов;
- установление нормативов перевозочного процесса на основе результатов моделирования;
- универсальность используемых подходов для моделирования состояний технологических процессов, связанных с местной работой, для различных железнодорожных участков и узлов;
- возможность автоматизированной реализации разработанных алгоритмов в процессе оперативного планирования;
- возможность адаптации автоматизированных решений в применяемых на железнодорожном транспорте информационных системах при максимальном использовании существующих баз данных, программных и аппаратных средств.

Динамическая модель перевозочного процесса для решения задачи автоматизированного оперативного планирования местной работы предусматривает декомпозицию железнодорожного полигона на зоны (районы), представленные на рисунке 2.

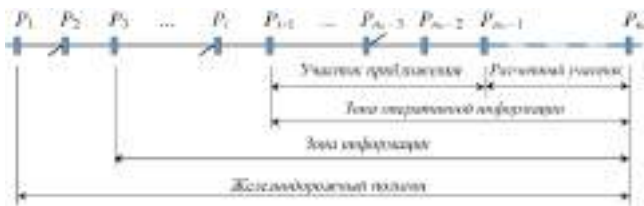


Рисунок 2 – Декомпозиция железнодорожного полигона

На железнодорожном полигоне выделены:

1) зона информации – полигон железной дороги, отображаемый автоматизированными системами в объ-

еме разработанной динамической модели перевозочного процесса. Зона информации определяется используемыми информационными системами и техническими средствами;

2) зона оперативной информации – полигон железной дороги, отображаемый и моделируемый автоматизированными системами для решения задачи планирования местной работы на рассматриваемом железнодорожном участке или в узле (включает участок приближения и расчетный железнодорожный участок или узел). Зона оперативной информации устанавливается на основе расчетной длины участка приближения;

3) участок приближения к рассматриваемому железнодорожному участку или узлу – непосредственно прилегающий к рассматриваемому железнодорожному участку или узлу полигон железной дороги, совпадающий по внешнему контуру с зоной оперативной информации. Длина участка приближения устанавливается расчетом и численно равна длине полигона информации;

4) расчетный (рассматриваемый, исследуемый) железнодорожный участок или узел – полигон железной дороги, для которого решается задача автоматизированного оперативного планирования местной работы (является внутренней частью зоны оперативной информации).

Концептуально динамическая модель перевозочного процесса, предназначенная для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Концепция динамической модели перевозочного процесса

Объектами динамической модели перевозочного процесса  $W(t)$  являются (рисунок 4):

– объекты инфраструктуры  $W_6$ : перегоны (участки), станции (и их подсистемы, включая грузовые пункты). Данные объекты выступают параметрами при структурировании динамической базы данных  $W_6$ , а также являются исходными данными в процессе расчета прогноза  $W_п$ ;

– динамические объекты  $W_d(t)$ : вагонный парк, локомотивный парк, объекты технологического обеспечения перевозочного процесса. Объекты данного типа являются параметрами при расчете прогнозного состояния перевозочного процесса  $W_п$ .



Рисунок 4 – Структурирование объектов динамической модели перевозочного процесса

Приведенное формализованное описание объектов модели позволяет широко использовать математические подходы и методы для решения задачи прогнозирования состояния перевозочного процесса в заданном периоде оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов.

Для дальнейшей формализации процесса оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов важным обстоятельством является тот факт, что продвижение местного вагонопотока неразрывно связано с продвижением транзитного вагонопотока, так как многие технологические операции (обработка по прибытии, по отправлению, расформирование и другие) выполняются совместно и оказывают взаимное влияние на общую продолжительность их выполнения.

Также следует учитывать, что процессы погрузки и выгрузки вагонов, являясь основными операциями местной работы, имеют между собой ряд принципиальных отличий. Погрузка является начальной операцией перевозочного процесса, и ее нелокальность обусловлена в основном широкой дислокацией порожних вагонов, которые запланированы для использования под погрузку на исследуемом полигоне (участке, узле). При этом порожние вагоны чаще всего доставляются на станцию погрузки с существенным запасом времени по отношению к началу выполнения грузовых операций. Выгрузка является конечной операцией перевозочного процесса. Вагонопоток, следующий под выгрузку на расчетный полигон, в момент разработки оперативного плана широко дислоцирован на железнодорожной сети, описывается большим числом технологических состояний и трудно формализуемых ограничивающих условий.

Местный вагонопоток в железнодорожных узлах, как правило, перерабатывается (обрабатывается, накапливается, формируется в поезда) на узловой технической станции, в задачи которой входит обслуживание узловых станций и прилегающих участков. При нали-

чии в железнодорожном узле нескольких технических станций, перерабатывающих местный вагонопоток, такой узел можно условно разделить на полигоны, каждый из которых обслуживается одной (прикрепленной) станцией или несколькими (как правило двумя) техническими станциями по аналогии с обслуживанием железнодорожных участков.

С позиции местной работы железнодорожные участки обслуживаются:

- техническими станциями, ограничивающими участок, в том числе и одной технической станцией, если участок тупиковый или план формирования поездов предусматривает прикрепление всего участка только к одной станции;
- техническими станциями, обслуживающими соседние участки при формировании местных поездов на удлиненные (сдвоенные) участки.

Таким образом, исследуемый железнодорожный полигон можно представить в виде двух взаимодействующих элементов:

- обслуживающей системы, обеспечивающей переработку и формирование местных поездных назначений и подач на грузовые пункты технической станции;
- обслуживаемой системы – узловых и линейных станций, а также пунктов местной работы обслуживающей станции.

Результаты моделирования местной работы железнодорожных участков и узлов должны представляться в некоторых срезах технологических цепей – точках контроля – с учетом следующих условий:

- количество точек контроля не должно быть менее постоянных точек регулирования перевозочного процесса;
- избыточное количество точек контроля способно снизить показатели труда человека-оператора в эргатической системе;
- для планирования и осуществления регулировочных мероприятий недостаточно установления факта, что с вагоном выполняется  $i$ -я операция, так как она может иметь значительную, и в том числе вероятностную, продолжительность. Следовательно, необходимо в качестве точек контроля иметь планируемые (прогнозные) или фактически исполненные моменты времени, соответствующие началу и (или) завершению выполнения операции.

В результате точками (моментами) контроля производства технологических операций для автоматизированного оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов выбраны (рисунок 5):

- $z_{k1}$  – поступление вагона на расчетный железнодорожный участок или в узел: прибытие вагона на техническую станцию в составе поезда или в составе группы убранных вагонов с пунктов местной работы станции;
- $z_{k2}$  – начало погрузки вагона (завершение подачи порожнего вагона к грузовому пункту);
- $z_{k3}$  – завершение погрузки вагона;
- $z_{k4}$  – начало выгрузки вагона (завершение подачи груженого вагона к грузовому пункту);
- $z_{k5}$  – завершение выгрузки вагона.

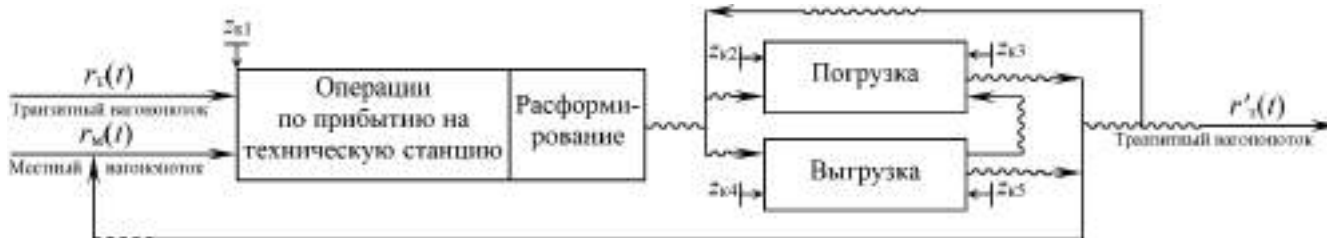


Рисунок 5 – Точки контроля технологических операций

Планирование местной работы по установленным точкам контроля  $z_{ki}$  находится в согласованности с применяемой на железнодорожном транспорте технологией и обеспечивает оптимальный уровень взаимодействия в человеко-машинной системе для обеспечения планирования с необходимой для практических целей точностью.

Разработанная динамическая модель перевозочного процесса является базисом для комплексного автоматизированного планирования местной работы в реальном масштабе времени. Установленные условия формирования динамической модели и ее структура позволяют реализовать намеченные задачи на основе существующих на железнодорожном транспорте информационно-аналитических систем управления перевозочным процессом.

#### Список литературы

1 СТП БЧ 09150.15.073–2008. Порядок планирования поездной и грузовой работы Белорусской железной дороги, составления и контроля за выполнением суточных и сменных планов деятельности отделений дороги и станций. – Минск : Бел. ж. д., 2008. – 28 с.

2 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

Получено 12.12.2016

**О. А. Tereshchenko.** Researched actual problems of the organization of operational planning of local work of railway sections and units.

A definition of the dynamic model in relation to the object and subject of research. The role and function of the dynamic model in the implementation of administrative procedures – planning, management and monitoring of the transportation process. The concept of a dynamic model of the transportation process. Established the requirements for the dynamic model and described its objects. Substantiates the approaches. Analytical dependences. Problem solving was carried out on the approaches of systems theory, methods of set theory, control theory, scheduling theory, probability theory.

3 Долгополов, П. В. Удосконалення управління потоками у транспортному вузлі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж / П. В. Долгополов, В. В. Петрушов // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків. – 2009. – Вип. 1. – С. 40–42.

4 Кузнецов, В. Г. Комплексный подход к информационным технологиям оперативного управления поездной работой на Белорусской железной дороге / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев, М. В. Федорцов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ – 2013) : вторая науч.-техн. конф., 21–22 окт. 2013, г. Москва. – М. : ОАО «НИИАС», 2013. – С. 80–82.

5 Кузнецов, В. Г. Модель разработки заданий в суточном плане эксплуатационной работы Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, И. А. Войтехович, Т. В. Пильгун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 51–56.

6 Терещенко, О. А. Математическая модель эксплуатационной нагрузки на железнодорожный полигон в районе местной работы / О. А. Терещенко // Transportas (Transport Engineering). Vol XIV. – Vilnius : Technika, 2007. – С. 80–73.

7 Kazakov, N. Imitating modeling groups of multimodal cargo lines with participation of a sailing charter. / N. Kazakov // Transportas (Transport Engineering). – Vol. XIV. No 3. – Vilnius : Technika, 2006. – P. 74–82.