

сировала бы сравнительно небольшой ожидаемый доход. Осторожность к риску предполагает величину ожидаемого дохода, которая могла бы компенсировать негативные последствия от неблагоприятных исходов рискованных ситуаций. При нейтральном отношении к риску экспедитор ориентируется только на средний ожидаемый конечный экономический результат перевозки. Указанное отношение может быть представлено путем нормализации среднеквадратического отклонения в выражении для определения продолжительности перевозки; при этом значение коэффициента для нормализации в случае нейтрального отношения к риску составляет 0 и растет в зависимости от степени склонности (осторожности) экспедитора.

Таким образом, предложенная методика может быть использована для определения договорных сроков осуществления международной перевозки грузов, что позволит учесть возможные задержки в пути следования, сводя к приемлемому уровню риски, связанные с несвоевременной доставкой.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Демченко Евгений Борисович, Украина, г. Днепр, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры транспортных узлов, канд. техн. наук, доцент, e.b.dmch@gmail.com
- Дорош Андрей Сергеевич, Украина, г. Днепр, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры транспортных узлов, канд. техн. наук, доцент, dorosh.andrii@gmail.com.

УДК 656.21:004.414.23

О МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПЕРЕГОНОВ И СТАНЦИЙ В РАМКАХ РАСЧЕТА НАЛИЧНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕГОНОВ И СТАНЦИЙ И ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е. О. ДМИТРИЕВ

АО «Институт экономики и развития транспорта», г. Москва, Российская Федерация

Основными элементами, для которых выполняются расчёты пропускной способности, являются станции и перегоны, образующие железнодорожный участок. Железнодорожные участки можно представить как совокупность отдельных пунктов с путевым развитием, соединённых между собой перегонами, где на одной линии они расположены последовательно.

Получение значений расчётных параметров пропускной способности выполняется аналитическими методами [1, 2]. В данных методиках условия надёжности устройств, неравномерность поездопотоков и диспетчерского управления, а также средства СЦБ и связи на перегонах, периодичность проведения технологических «окон» для различных видов ремонта и текущего

содержания инфраструктуры задаются эмпирически полученными коэффициентами и средними значениями искомых величин. Н. В. Правдин, В. Я. Негрей и В. А. Подкопаев в [3] освещают вопросы расчёта пропускной способности железных дорог с учётом колебания межпоездных интервалов, описываемых нормальным законом распределения случайной величины. В работе [4] П. С. Грунтовым рассматривается вопрос структурного резервирования для обеспечения работоспособности системы как важного элемента технологии в условиях реконструкции, развития и ремонта основных элементов.

Пропускная способность определяется аналитически с нахождением ограничивающего элемента. Однако для сложных систем, в которых взаимодействие элементов связано множеством функций ряда переменных, которые возникают при взаимосвязи проходящих потоков и структуры, с помощью аналитических методов затруднительно получить адекватные показатели их функционирования [5]. Поэтому неотъемлемым инструментом решения подобных задач становится использование систем имитационного моделирования, которые определяют уровень использования пропускной способности, реализуемый в определенном окружении ограничивающего элемента и определенной потоковой структуре. Необходимость ввода значительного количества исходной информации инженером-технологом требует повышения эффективности этого процесса, и поэтому актуальна разработка типовых модулей, облегчающих работу с имитационными системами.

Задача состоит в том, чтобы сформулировать основные принципы расчёта уровня использования пропускной способности методом имитационного моделирования и положения по созданию типового модуля железнодорожного участка с описанием инфраструктурной и технологической его составляющих в виде вектор-функций.

Основной постоянной исходной информацией для расчёта уровня использования пропускной способности станции или участка являются: путевое развитие станций и участков, род тяги, средства СЦБ и связи, число и направление движения местных (сборных, вывозных и передаточных), пассажирских и пригородных поездов, межпоездные интервалы, перегонные времена хода и время на разгон и замедление, время на выполнения технологических операций на станциях. Переменными величинами являются размеры движения грузовых поездов, периодичность проведения технологических «окон», периодичность курсирования пассажирских и пригородных поездов.

Основным элементом имитационного моделирования является типовой модуль железнодорожного участка, который состоит из двух подсистем – инфраструктурной и технологической. Инфраструктурная часть включает в себя парки, перегоны и соединительные пути, технологическая – технологический процесс обработки потоков на станции, в узле и типовом модуле осуществляется управление очередями, содержащееся в технологии.

Основным структурным элементом типового модуля является раздельный пункт с путевым развитием (блок-пост, разъезд, обгонный пункт, железнодорожная станция или парк железнодорожной станции), представленный бункером (n), характеризующийся рядом параметров, представляемых в виде вектор-функции

$$R_{\text{бунк}}(n) = A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br)) + A_2(c_1; c_2(ch)) + A_3(nz_1 \dots nz_x(e)), \quad (1)$$

где $A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br))$ – группы путей парка (n), объединённых общей горловиной, характеризующихся суммарной ёмкостью (e), наличием бригад пункта технического обслуживания (br) и локомотивов (lok); $A_2(c_1; c_2(ch))$ – количество каналов (ch) в горловинах ($c_1; c_2$); $A_3(nz_1 \dots nz_x(e))$ – ёмкость путевого развития (e), предназначенная для работы с определённой категорией поездов по типу, длине, назначению плана формирования ($nz_1 \dots nz_x$).

Бункеры между собой соединяются с помощью соединений (перегон, соединительные пути)

$$R_{\text{соед}}(l) = A_1(kl(d)), \quad (2)$$

где $A_1(kl(d))$ – соединение (l), характеризующееся количеством каналов (d) и направлением движения по ним (kl).

Технология работы станций определяется на основе технологического процесса или технологической карты их работы методом формализации его элементов, основывающемся на укрупнении однородных групп операций (операции перемещения и без перемещения). Операция технологической цепочки в модели описывается вектор-функцией одной скалярной переменной

$$R_{\text{техн}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n), \quad (3)$$

где $A_1(x_1(p; k); x_2)$ – орта, описывающая маршрут перемещения транспортной единицы или её дислокации, $x_1(p; k)$ – множество парков станции (p), входящих в маршрут следования, и каналов в горловинах парков (k); x_2 – множество соединительных путей и перегонов; $A_2(t)$ – орта времени (t) занятия элементов или выполнения операции A_1 ; $A_3(v)$ – орта локомотивов, используемых для перемещения, вида (v); $A_4(b)$ – орта бригад ПТО вида (b), обслуживающих транспортную единицу; $A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$ – орта назначений (n) (видов поездов разной нормы длины).

Операции технологической цепочки перемещения имеют следующее описание вектор-функцией:

$$R_{\text{пер}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n). \quad (4)$$

Операции без перемещения имеют следующее описание вектор-функцией:

$$R_{\text{б пер}}(t) = A_1(x_1(p); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n). \quad (5)$$

Элементы технологической цепочки характеризуют возможные условия, моделирующие диспетчерское руководство – управление очередями. Условия позволяют регулировать подвод поездов на станцию и передачу из парка в парк станции в зависимости от заполнения ёмкости парков станции и технологически допустимого заполнения их ёмкости. Прилегающий участок к станции характеризуется технологическими окнами, проводимыми на инфраструктуре (продолжительность и периодичность).

Операции технологической цепочки перемещения типового технологического процесса работы раздельного пункта с путевым развитием после формализации $R_{пер}(t)$ имеют $t = 1 \dots 5$: 1 – приём поезда, 2 – отправление поезда, 3 – уборка поездного локомотива, 4 – подача поездного локомотива, 5 – перемещение маневрового состава. Операции без перемещения $R_{пер}(t)$ имеют $t = 1 \dots 5$ и могут быть следующие: 1 – техническое обслуживание состава в парках станции, 2 – смена локомотивной бригады, 4 – приёмо-сдаточные операции, 5 – стоянка пассажирского/пригородного поезда на станции.

Моделирование железнодорожных участков неразрывно сопряжено с выделением развязок и соединительных ветвей в отдельную группу типовых модулей в связи с их важным значением для организации эффективной технологии работы узлов, ограничивающих участок, так как грамотная технология работы на развязке позволяет сократить величину структурных потерь, вызванных враждебностью потоков.

В условиях формирования макромодели узла необходим переход от структурной формы развязки к её макроэквиваленту – формализация развязки. Основным условием формализации является наличие на развязке элементов управления потоком и потребность в его регулировании.

После формирования типового модуля в имитационной системе проводится ряд итерационных расчётов, основной переменной в которых являются размеры движения грузовых поездов (для моделирования принимается автоматизированная система, принципы функционирования которой описаны в [6, 7]). Эксперименты позволяют выделить «узкие места», которые классифицируются на три рода: «доказано [8], что наибольшие задержки транспортных потоков далеко не всегда возникают из-за самого загруженного элемента инфраструктуры. Поэтому предлагается различать:

- узкое место первого рода (элемент с недопустимой загрузкой);
- узкое место второго рода (элемент, вызывающий наибольшие или недопустимые задержки);
- узкое место третьего рода (технологическая операция, вызывающая наибольшие или недопустимые задержки) [9]».

Описанные выше положения были применены в работе «Организация движения поездов на Северном широтном ходе в границах полигона Лимбей – Коротчаево – Пангоды – Надым – Салехард – Обская – Коноша». Проведено имитационное моделирование железнодорожного участка Инта I – Чум (Северной ж.д.) по трём вариантам путевого развития перегонной инфраструктуры. Вычис-

лены параметры, характеризующие надёжность освоения перспективных объёмов перевозок. В первом варианте (исходном) участковая скорость составила 46,11 км/ч, во втором варианте (сокращение протяжённости перспективных вторых главных путей на 15,0 км) участковая скорость составила 35,92 км/ч, в третьем варианте (сокращение протяжённости перспективных вторых главных путей на 21,1 км) – 33,34 км/ч. Дополнительное число остановок грузовых поездов во втором варианте составило 22,77 остановок/сутки, в третьем – 20,82 остановок/сутки. На основе результатов имитационного моделирования методом укрупнённых расходов ставок рассчитаны дополнительные операционные расходы, возникающие при экономии капитальных затрат на развитие участка, для их учета при расчёте срока окупаемости инвестиций.

Список литературы

1 Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования / Утверждена приказом Минтранса России от 18 июля 2018 г. № 226. – 40 с.

2 Инструкция по расчёту наличной пропускной способности железных дорог / Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 10 ноября 2010 г. № 128. – М. : Техинформ, 2011. – 289 с.

3 **Правдин, Н. В.** Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчёты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев ; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.

4 **Грунтов, П. С.** Эксплуатационная надёжность станций / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.

5 **Козлов, П. А.** Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 3–8.

6 **Козлов, П. А.** Макромоделирование железнодорожных станций и узлов / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, И. Г. Слободянюк // Наука и техника транспорта. – М. : Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2015. – № 2. – С. 82–88.

7 **Козлов, П. А.** Структурно-функциональное исследование систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. Ю. Пермикин // Труды Пятой Междунар. науч.-техн. конф. «ИСУЖТ-2016». – М. : ОАО «НИИАС», 2016. – С. 240–243.

8 **Козлов, П. А.** Поток и бункер-канал в транспортной системе / П. А. Козлов // Мир транспорта. – 2014. – № 2. – С. 30–37.

9 Borodin A., Kozlov P., Kalinichenko A. Integrated development of carrying capacities of the Baikal-Amur Mainline and Trans-Siberian Railway [Electronic resource]. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/75/mateconf_pts2018_02019/mateconf_pts2018_02019.html

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ Дмитриев Егор Олегович, г. Москва, Российская Федерация, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер 1-й категории, dmitrievgr@mail.ru.