

УДК 681.3

Е. И. Сукач

Учреждение образования

«Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»

ул. Советская, 104, 246019 Гомель, Республика Беларусь

Автоматизация обработки и анализа данных имитационного моделирования железнодорожной сети

Описаны средства автоматизации имитационного моделирования железнодорожной сети, функционирующей в условиях случайных воздействий. Предложена методика определения наиболее эффективного варианта организации сети, позволяющего согласовать во времени и в пространстве перемещение грузовых транспортных потоков.

Ключевые слова: имитационная модель, железнодорожная сеть, транспортные потоки, план формирования поездов.

Введение

Железнодорожные транспортные системы (ТС) являются системами большой размерности и состоят из сложных подсистем, обеспечивающих управление, технологию работы, взаимосвязь и взаимодействие друг с другом. Регулярное взаимодействие и взаимозависимость подсистем железнодорожной сети (ЖС) во времени и пространстве определяются сущностью транспортного процесса и регулируются общесистемными нормативно-технологическими документами — планом формирования поездов (ПФП) сети железных дорог и графиком движения поездов.

ПФП однозначно определяет маршрут перемещения поезда по ЖС в соответствии с пунктом отправления и пунктом назначения. Для расчетов ПФП используются две группы методов — методы аналитических сопоставлений и методы аналитических расчетов. Первая группа методов позволяет найти оптимальный вариант путем процедур последовательного приближения к лучшему варианту. Вторую группу составляют методы, основанные на сравнении показателей всех возможных или определенным образом отобранных вариантов ПФП. Как те, так и другие методы при большом числе станций ЖС позволяют лишь приблизиться в некоторой степени к оптимальному ПФП [1]. Кроме этого, ПФП составляется на один год с учетом устойчивых перевозок, которым соответствует система относительно стабильных грузопотоков, и впервые запланированных, возникающих при появлении новых производственных связей. Как постоянные, так и впервые пла-

© Е. И. Сукач

нируемые перевозки подвержены случайным воздействиям, что определяет вероятностный характер нагрузки на сеть.

График движения поездов, регламентирующий время отправления, приема и пропуска всех категорий поездов по всем станциям ЖС, составляется с учетом заказов на доставку грузов и, в силу неравномерности поступления заказов и ограниченного объема ресурсов ЖС, требует довольно частого обновления.

Таким образом, функционирование ЖС в соответствии с ПФП и графиком движения поездов подвержено влиянию случайных факторов и может приводить к возникновению сбоев в обслуживании поездопотоков. Поэтому для определения наиболее эффективных вариантов функционирования ЖС актуально использование метода имитационного моделирования, базирующегося на формализме совмещаемых потоков и учитывающее стохастическое проявление различных транспортных ситуаций.

Целью работы является описание средств автоматизации имитационного моделирования ЖС, позволяющих оценить в динамике имеющиеся резервы сети и выявить «узкие места» в обслуживании транспортных потоков. Основным звеном, обеспечивающим получение характеристик обслуживания транспортных поездопотоков в ЖС, является универсальная имитационная модель (ИМ) ИМ_JS. Модель параметризована и может быть оперативно модифицирована путем изменения структуры и управления параметрами компонентов.

Автоматизация этапов верификации модели и дальнейшей ее эксплуатации реализуется с использованием универсальных подсистем комплекса автоматизации имитационного моделирования транспортных систем [2]. Согласованная работа ИМ_JS и вспомогательных подсистем комплекса имитации транспортных систем позволяет автоматизировать получение, обработку и анализ результатов моделирования с целью выбора варианта распределения нагрузки и ресурсов исследуемой ЖС, обеспечивающего минимизацию времени и стоимости на транспортировку грузов при безусловном обеспечении качества их доставки.

В статье приводится состав комплекса автоматизации имитационного моделирования транспортных систем, дается описание ИМ ЖС, излагается методика определения эффективного варианта функционирования ЖС, обеспечивающего рациональное использование ресурсов ЖС на различных уровнях ее детализации.

Состав комплекса автоматизации имитационного моделирования транспортных систем

Комплекс автоматизации имитационного моделирования ТС, позволяющий автоматизировать большую часть этапов общей методики постановки имитационных экспериментов (ИЭ), адаптированных для случая исследования различных транспортных сред, структурно включает следующие компоненты:

- ИМ автомобильных транзитных потоков региона (ИМ_ATR);
- ИМ городской транспортной сети (ИМ_GTS);
- ИМ сортировочной станции железнодорожной сети (ИМ_JST);
- ИМ участка железнодорожной сети (ИМ_JD);
- ИМ железнодорожной сети (ИМ_JS);
- логико-вероятностную модель транспортной сети (ИМ_LM);

- технологическую оболочку комплекса, организующую диалоговое взаимодействие пользователя с имитационными моделями комплекса (INTF);
- подсистему испытания и исследования свойств ИМ комплекса (ISPT);
- подсистему оптимизации и принятия решений (OPTIM);
- подсистему отображения результатов моделирования (VIZ).

ИМ_ATR позволяет определить интегральный максимальный поток и наиболее эффективный вариант распределения этого потока в сети с учетом наличия множества входов и выходов исследуемой сети.

ИМ_GTS предназначена для исследования эксплуатационных характеристик городской ТС общественного транспорта, имеющей вероятностный характер функционирования.

ИМ_JST позволяет исследовать технологический процесс переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции. ИМ_JD служит для оптимизации процесса перемещения составов на участках железнодорожной сети. ИМ_JS предназначена для анализа эффективности вариантов организации перевозочного процесса на железнодорожной сети при условии выполнения установленного ПФП, реализуемого в условиях случайных воздействий.

ИМ_LM предполагает исследование вероятностных характеристик износа ТС на различных уровнях детализации.

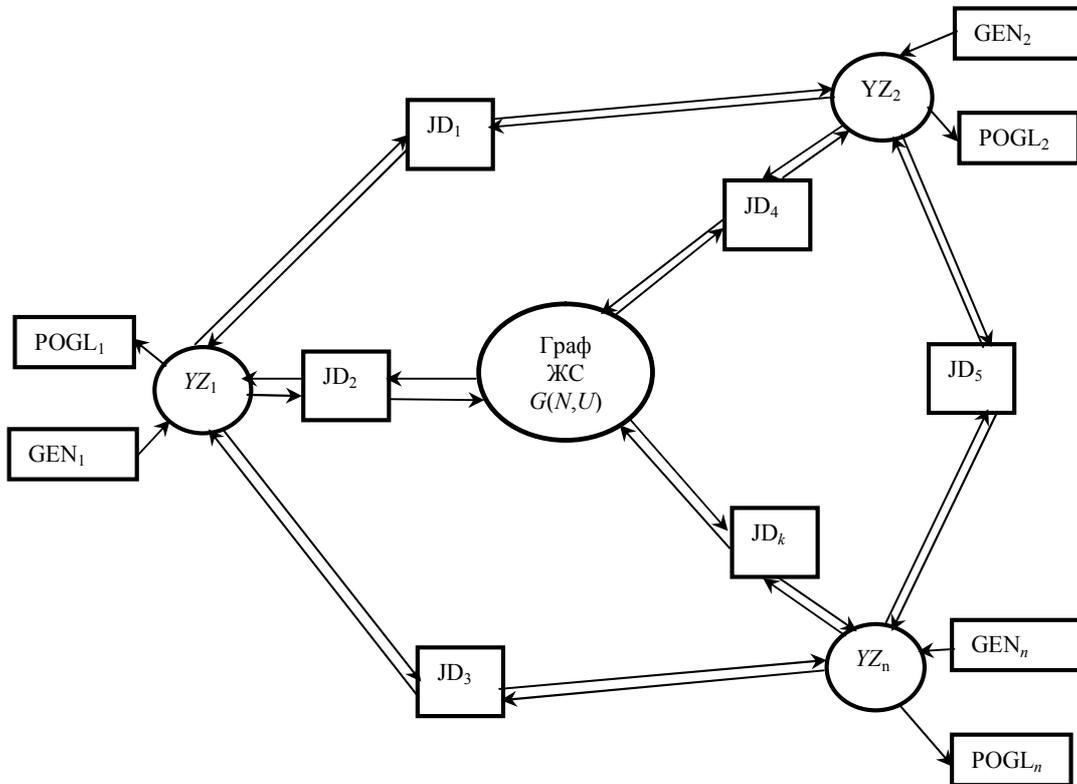
Имитационные модели ИМ_JST, ИМ_JD, ИМ_JS, ИМ_GTS реализованы с использованием базовой системы моделирования MICIC4 [3], которая использует библиотеку программ и широко распространенный объектно-ориентированный язык программирования C++. Модели параметризованы и могут использоваться научно-исследовательскими подразделениями транспортных организаций. При модификации их алгоритма от программиста не требуется изучения нового языка моделирования, приобретения опыта верификации и отладки программ ИМ. Он использует привычный полнофункциональный инструмент интегрированной среды разработки приложений на C++.

Взаимодействие имитационных моделей и подсистем комплекса, отвечающих за диалоговое взаимодействие (INTF), испытание и исследование свойств ИМ комплекса (ISPT), оптимизацию и принятие решений (OPTIM), отображение результатов моделирования (VIZ) осуществляется через общую информационную базу данных комплекса, которая реализована универсальными программными средствами. В ней хранятся исходные данные, связывающие геометрическое представление объектов, имеющих пространственную природу, с таблицами параметров, характеризующих свойства этих объектов. В процессе моделирования в таблицах базы данных накапливаются статистические данные, позволяющие вычислить отклики имитации.

Технологические подсистемы комплекса позволяют быстро выполнить расчеты, наглядно отобразить полученные результаты и оперативно выбрать стратегию управления ТС. Стандартные форматы представления данных моделирования обеспечивают не только удобства при работе с данными, но и их переносимость, информационную совместимость с работами по смежной тематике, возможность обмена материалами.

Имитационная модель железнодорожной сети IM_JS

Железнодорожная сеть представляет собой граф $G(N, U)$, узлами которого являются сортировочные станции $\{N\}$, а ребрами — участки дорог $\{U\}$ между станциями. На сортировочных станциях происходит обслуживание составов, поступающих с различных станций ЖС и их переформирование с учетом вагонов, поступающих с местных промежуточных станций, которые должны быть отправлены согласно пункту назначения. Маршруты перемещения составов по участкам дорог ЖС определяются в соответствии с утвержденным ПФП, параметры которого учитываются при моделировании. Рассматриваются грузовые транспортные поездопотоки, которые определяют нагрузку на ЖС и конкурируют за ресурсы сети. Структурная схема модели представлена на рисунке.



Структурная схема имитационной модели ЖС

Основными компонентами ИМ ЖС являются: генератор транзактов (GEN_i); транзакт (TR_j); сложный составной транзакт (STR_n); имитатор участка дороги, представленный многоканальным устройством MICIC4 (JD_k); узел ЖС (YZ_i), представляющий собой составное устройство MICIC4, включающее набор устройств, отображающих переформирование транзактов на сортировочных станциях; поглотитель транзактов ($POGL_i$).

Генератор отображает процесс поступления вагонов на сортировочные станции с прилегающих промежуточных станций. Поезда в модели представлены

сложными составными транзактами (ССТ). Поступая на станцию, они разбиваются на вагоны (транзакты) и группы вагонов (ССТ), а затем в соответствии с назначением (ПФП), собираются в новые составы. Перемещение поездов по участкам сети отображается в модели путем обслуживания ССТ многоканальными устройствами, обеспечивающими параллельное обслуживание множества транзактов. Работа устройств JD_k синхронизирована в модельном времени и позволяет отразить одновременное перемещение транспортных единиц в различных направлениях.

Перечисленные статические компоненты (генератор, устройство, узел) описывают однотипные по функционированию элементы, представленные в модели версиями. Динамические элементы модели, то есть транзакты, имеют множество копий. При этом, элементы одного и того же компонента модели совпадают по набору параметров и процессу, но различаются по конкретным значениям.

Обслуживание грузового транспортного потока ЖС в узлах сети YZ_i предполагает реализацию следующих операций: прием вагонов, поступивших с промежуточных станций; прием поездов, прибывших со смежных сортировочных станций ЖС; построение списков станций, определяющих маршруты следования вагонов, поступивших с промежуточных станций; распределение вагонов на пути формирования составов, которые определяются пунктами их назначения; формирование новых составов из местных вагонов и вагонов, поступивших с других станций в составе поездов; выбор подходящего локомотива для накопленных составов; отправление поездов со станций.

Алгоритм обслуживания ССТ в узле реализуется последовательностью следующих шагов. Прибытие ССТ в узел YZ_i активизирует поиск свободного пути для его обслуживания (переформирования). Далее реализуется проверка условия окончания обслуживания транзактов, составляющих ССТ. Транзакты, имеющие параметр станции назначения, совпадающий с номером версии YZ_i , поглощаются (пополняют парк порожних вагонов станции), а оставшиеся участвуют в процессе переформирования и поступают на соответствующие обслуживающие устройства (пути формирования). В процессе формирования новых ССТ анализируется узел назначения транзактов, и в соответствии с ПФП определяется номер обслуживающего устройства (пути формирования) и маршрут его перемещения по ЖС. Если ССТ в данном направлении уже формируется, то транзакт добавляется в его конец. В противном случае активизируется начало формирования нового ССТ, для которого определяется вид состава.

Информация обо всех ССТ, обслуживаемых устройствами ИМ ЖС, сохраняется и корректируется в базе данных модели на каждом шаге имитации.

Вектор параметров k -го варианта моделирования ЖС (G_k) образуют следующие величины:

— граф исследуемой железнодорожной сети $G(N, U)$;

— план формирования составов, задаваемый массивом $PFS = \parallel pfs_{ijs} \parallel$,

$i, s, j = \overline{1, N}$, элементами которого являются коды сортировочных станций, при перемещении вагона из пункта i в пункт j ;

— число входов/выходов для множества сортировочных станций ($\|vs_i\|$, $i = \overline{1, N}$);

— матрицу пропускных способностей ($\|c_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, N}, u_{ij} \in U$), элементы которой определяют максимальное число поездов, которое может быть пропущено по участку сети за единицу времени;

— матрицу стоимости перемещения вагона по участку дороги единичной длины из i -го узла ЖС в j -й узел ($\|qe_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, N}, u_{ij} \in U$);

— матрицу длин участков ЖС ($\|l_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, N}, u_{ij} \in U$);

— число видов составов, составляющих транспортный поток (M);

— матрицу, определяющую структуру потоков ($STR = \|F_{ij}(\mu)\|$, $i, j = \overline{1, N}$), элементами которой являются функции распределения видов составов $F_{ij}(\mu)$, планируемых для перемещения из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения;

— матрицу, определяющую интенсивность поступления различных видов составов в ЖС ($INT = \|F_{ijk}(\gamma)\|$, $ij = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}$), элементами которой являются функции распределения времени поступления составов различных видов, планируемых для перемещения из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения;

— матрицы времени/стоимости обслуживания составов на сортировочных станциях ($\|F_{kij-p}(\tau)\|/\|F_{kij-p}(\Psi)\|$, $k = \overline{1, M}, i, j, h = \overline{1, N}$, где k — вид состава, i — станция отправления, j — станция назначения, p — сортировочные станции маршрута перемещения), элементами которых являются функции распределения времени/стоимости обслуживания составов на сортировочных станциях ЖС, полученные с помощью IM_JST [4];

— параметры местных вагонов: интенсивность поступления вагонов на сортировочную станцию ($\lambda_i = R_{vi}(v)$, $i = \overline{1, N}$); массу вагонов ($mv = R_v(\varphi)$); род подвижного состава ($tv = R_v(\rho)$); станцию назначения вагонов ($sn_i = R_{vi}(\sigma)$, $i = \overline{1, N}$);

— параметры составов: массу составов ($ms = R_s(\varphi)$); скорость перемещения составов ($\mathcal{G} = R_s(v)$); количество вагонов ($nv = R_s(\xi)$) в составах; вид составов (Z).

Вектор откликов моделирования Y_k , полученный обработкой статистических данных, включает средние значения:

— времени перемещения вагонов из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения ($\|\overline{t_{ij}}\|$, $i, j = \overline{1, N}$);

— стоимости доставки грузов из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения ($\|\overline{q_{ij}}\|$, $i, j = \overline{1, N}$);

— расстояния из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения в условиях рассматриваемого ПФП ($\|l_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, N}$);

— реализованной пропускной способности при перемещении из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения ($\|\overline{pr_{ij}}\|$, $i, j = \overline{1, N}$);

— суммарного времени простоя вагонов на сортировочных станциях при их перемещении из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения ($\overline{t_{oj_{ij}}}, i, j = 1, N$);

— грузонапряженности ЖС, которая является показателем уровня загрузки сети объемом транспортной работы и вычисляется по формуле:

$$GN = \sum_{ij \in N} l_{ij} \overline{p_{ij}} / \sum_{ij \in N} l_{ij},$$

где $\overline{p_{ij}}$ — средняя величина перевезенного груза по участку ЖС.

Методика определения эффективного варианта функционирования железнодорожной сети

Максимальный поток, который может быть пропущен по элементам ЖС в единицу времени определяет ее пропускную способность. Транспортный поток определяет нагрузку на сеть: чем больше поток, тем выше нагрузка. Определение оптимального транспортного потока для ЖС позволит эффективно использовать ее ресурсы и обеспечить перемещение грузовых потоков максимального объема. Если поток превышает это значение или нагрузка несбалансированна, то сеть будет работать в режиме перегрузок, с задержками и экономическими потерями. Если нагрузка недостаточна, то затраты на обслуживание сети будут превышать доходы от грузоперевозок. Поэтому, установление соответствия между мощностью сети и величиной имеющихся или спрогнозированных потоков является условием эффективного функционирования ЖС и обеспечения установленных границ изменения пропускной способности. С целью нахождения эффективного варианта функционирования ЖС предлагается использовать методику, основанную на использовании описанных средств автоматизации обработки и анализа данных имитационного моделирования ЖС. Методика реализуется итеративно и включает три этапа:

- 1) оптимизацию работы сортировочных станций и движения поездов на участках;
- 2) выбор эффективной стратегии обслуживания транспортного потока;
- 3) определение рациональных параметров транспортного потока.

Первый этап предполагает использование имитационных моделей ИМ_JST (сортировочной станции) и ИМ_JD (участка ЖС) в составе комплекса автоматизации имитационного моделирования ТС. ИМ_JST предназначена для нахождения рациональных характеристик технологической линии процесса переработки транзитного вагонопотока. Определение оптимальной структуры технологического процесса переработки вагонопотока, подбор необходимого состава и объемов различных видов ресурсов, определение управляющих стратегий с целью сокращения простоя вагонов при их переработке позволяет решить задачу перераспределения нагрузки на ЖС за счет выбора сортировочных станций для вагонов, поступающих с промежуточных станций участков сети.

При этом оптимизация распределения вагонопотока с промежуточных станций участков сети $u_{ij} \in U$ на сортировочные достигается путем пропорционального деления нагрузки в соответствии с вектором резервов пропускной способности смежных сортировочных станций. Для определения элементов вектора резервов сортировочных станций $RSS = \|rss_i\|$, $i \in N$, используются результаты, полученные на модели IM_JST по определению пропускной способности станций. Элементы RSS вычисляются по формуле $rss_i = \frac{prp_i}{prp_i + \sum_j prp_j}$, где prp_j и prp_i — пропускные способности j -й и i -й сортировочных станций соответственно для всех j таких, что $u_{ij} \in U$.

Кроме этого, выявление резервных возможностей сортировочных станций позволит своевременно осуществить переброску технических средств с одной сортировочной станции на другую в те моменты времени, когда производственные мощности станций не справляются с графиком заказа. Имитация обслуживания поездопотока ЖС на втором и третьем этапах реализации методики, позволит оперативно оценить общий выигрыш в результате принятых изменений.

Проведение ИЭ с моделью IM_JD дает возможность составить график движения поездов на участке, обеспечивающий максимальную пропускную способность с учетом требований безопасности. При этом учитываются эксплуатационные параметры участка сети, которые не изменяются в процессе моделирования. А для заданной интенсивности поступления составов в ЖС подбирается такая плотность поездов на участке, которая обеспечивает удовлетворительные показатели времени перемещения при максимальной пропускной способности участка. По результатам имитации определяются функции распределения времени обслуживания поездов на участках, используемые в модели IM_JS.

Второй этап объединяет в себе много задач, обусловленных особенностями обслуживания транспортного потока в ЖС. Обслуживание железнодорожного транспортного потока представляет собой весьма сложную задачу, поскольку вагоны могут организовываться в поезда на различных станциях, число которых увеличивается по мере развития ЖС. Выбор пути следования составов также предполагает множество вариантов, поскольку часто более эффективно следование вагонов не по кратчайшим направлениям, а по альтернативным высокотехническим оснащенным магистралям.

Маршрут перемещения вагона из пункта отправления в пункт назначения однозначно определяется по коду станции назначения в соответствии с утвержденным ПФП, который при моделировании описывается массивом PFS . Моделирование обслуживания транспортного потока заданной величины и структуры при неизменном объеме ресурсов ЖС для утвержденного ПФП позволяет оценить ряд экономических и эксплуатационных показателей, что позволяет сделать комплексную оценку эффективности плана формирования транспортных потоков ЖС.

Для оценки варианта функционирования ЖС используется комплексный показатель $F_{JS} = (\|t_{ij}\|, \|q_{ij}\|, \|l_{ij}\|, \|pr_{ij}\|, i, j = \overline{1, N})$, включающий среднее время переме-

щения вагонов $\|t_{ij}^-\|$, среднюю стоимость доставки грузов $\|q_{ij}^-\|$, расстояние перемещения $\|l_{ij}^-\|$ и среднюю реализованную пропускную способность $\|pr_{ij}^-\|$, значения которого определяются по выборкам имитационного ИЭ усреднением соответствующих статистик моделирования для всех сочетаний пунктов отправления и назначения. Нормирование элементов матриц их максимальным значением позволяет выделить среди анализируемых направлений лучшее в смысле времени доставки, стоимости, расстояния и пропускной способности. При этом среди показателей времени, стоимости и расстояния выбираются направления с минимальными нормированными значениями, а пропускные способности анализируются с целью определения максимума. Рассмотрение комплексного показателя для различных сочетаний пунктов отправления и назначения:

$$f_{ij}^* = \delta_1 \cdot t_{ij}^* + \delta_2 \cdot q_{ij}^* + \delta_3 \cdot l_{ij}^*,$$

где $t_{ij}^* = \frac{\overline{t_{ij}}}{\max_{ij} t_{ij}}$, $q_{ij}^* = \frac{\overline{q_{ij}}}{\max_{ij} q_{ij}}$, $l_{ij}^* = \frac{l_{ij}}{\max_{ij} l_{ij}}$, $0 \leq \delta_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^3 \delta_i = 1$, где δ_i — коэффици-

циенты важности откликов, позволит сравнить пути перемещения между собой и упорядочить их по эффективности. Интегральной оценкой варианта функционирования сети является пара значений (PRF^*, F^*) , где $F^* = \sum_{ij} f_{ij}^*$, $PRF^* = \sum_{ij} prp_{ij}^*$,

$pr_{ij}^* = \frac{\overline{pr_{ij}}}{\max_{ij} pr_{ij}}$. Она отражает реализуемую пропускную способность сети и эф-

фективность организации варианта ЖС с учетом выбранных предпочтений. Следует отметить, что рассмотрение интегральных оценок для множества сочетаний пунктов отправления и назначения в одном направлении, позволит оценить по эффективности и пропускной способности смежные участки сети и направления. При этом часть нагрузки с наиболее загруженного направления может быть направлена на участок с большей пропускной способностью, обеспечивая таким образом равномерную загруженность ЖС.

Резервные возможности сети могут быть выявлены путем изменения ПФП. С этой целью рассматривается альтернативный ПФП $PFS' = \|pfs'_{ijs}\|, i, s, j = \overline{1, N}$. В результате проведения моделирования функционирования сети в условиях нового ПФП формируются элементы вектора $F'_{JS} = (\|t'_{ij}\|, \|q'_{ij}\|, \|l'_{ij}\|, \|pr'_{ij}\|, i, j = \overline{1, N})$. Поэлементное вычитание матриц времени перемещения, стоимости доставки, расстояний и пропускной способности позволяет выявить резервы этих величин для различных сочетаний станций отправления и назначения:

$$\|rt_{ij}\| = \|t'_{ij}\| - \|t_{ij}\|, \|rq_{ij}\| = \|q'_{ij}\| - \|q_{ij}\|, \|rl_{ij}\| = \|l'_{ij}\| - \|l_{ij}\|, \|rpr_{ij}\| = \|pr'_{ij}\| - \|pr_{ij}\|, i, j = \overline{1, N}.$$

Суммирование элементов матриц резервов позволит оценить общий выигрыш по времени (RT), стоимости (RQ), расстоянию (RL) и пропускной способности (RPR) при переходе к альтернативному ПФП: $RT = \sum_{ij} rt_{ij}$; $RQ = \sum_{ij} rq_{ij}$;

$$RL = \sum_{ij} rl_{ij}; RPR = \sum_{ij} rpr_{ij}.$$

Следует отметить, что рассмотрение множества вариантов ПФП при имитационном моделировании функционирования сети не является сложной задачей, поскольку задание ПФП сводится к определению элементов массива PFS . Поэтому возможен выбор из большого числа вариантов с целью определения лучшего из них с учетом заданных критериев. Формирование и анализ интегральных показателей различных вариантов ПФП позволит определить лучший из них. При этом необходимо учитывать, что вариант ПФП, имеющий минимальную стоимость реализации, обладает преимуществами перед остальными, поскольку обнаруженные резервы времени и длины пути могут быть использованы для предотвращения сбоев в обслуживании транспортного потока.

На *третьем этапе* рассматриваются вопросы организации самого грузового поездопотока. Для определения влияния структуры транспортного потока на эффективность функционирования сети реализуется моделирование всей сети, при котором рассматриваются различные варианты сочетаний параметров потоков и транспортных единиц их составляющих. Множество исследуемых вариантов определяется сочетаниями параметров, определяющих структуру потока (STR) и интенсивность поступления составов (INT) с различных станций и имеющих некоторый пункт назначения.

Путем изменения параметров функций распределения матрицы STR для установленного ПФП возможно рассмотрение различных стратегий обслуживания транспортных единиц на сортировочных станциях. Транспортный поток, включающий только сквозные составы, обеспечивает отправительскую маршрутизацию в сети, при которой составы формируются на станциях отправления и проходят без переработки все промежуточные станции до станции назначения. Формирование транспортного потока только из составов с переработкой (частичной переработкой) позволяет реализовать участковую маршрутизацию, при которой составы переформируются на каждой сортировочной станции. В последнем случае необходимо минимальное число сортировочных путей (путей формирования) на каждой станции, однако требуются значительные перерабатывающие способности этих станций. Кроме этого, увеличивается время нахождения вагонов в пути следования из-за переработки дальних вагонопотоков на всех попутных сортировочных станциях. Рассмотрение промежуточных вариантов путем проведения ИЭ расширит выбор рационального варианта организации транспортных потоков, обеспечивающего минимальные затраты в условиях реализации максимальной пропускной способности.

Интенсивность поступления составов каждого вида на обслуживание железнодорожной сетью (INT) определяется реализуемой пропускной способностью станций отправления, на которых происходит формирование составов для множества назначений. Причем вид состава существенным образом влияет на время его формирования. Длительное время формирования сквозных составов обусловлено

накоплением вагонов с одним назначением. Составы с переработкой включают вагоны, которые имеют различные станции назначения и формируются до ближайших сортировочных станций, как правило, быстрее. Комплексное рассмотрение взаимосвязанных параметров потока повысит уровень исследований и обеспечит выбор наиболее значимых из них для эффективного обслуживания транспортного потока.

Заключение

Автоматизация получения, обработки и анализа данных имитационного моделирования с применением методики определения наиболее эффективного варианта организации ЖС, функционирующей в условиях случайных воздействий, позволит оперативно решать типовые задачи имитационного моделирования с учетом имеющихся данных и критериев поиска решения. Выявленные при этом резервы пропускной способности ЖС позволят оценить возможную провозную способность сети, то есть тот максимальный груз, который может быть провезен по элементам сети в единицу времени, что позволит составить рациональный план перевозок и оценить возможную прибыль.

1. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / под ред. П.С. Грунтова. — М.: Транспорт, 1994 — 543 с.

2. *Максимей И.В.* Автоматизация этапов разработки и эксплуатации имитационных моделей транспортных систем / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, Е.А. Ерофеева, П.В. Гируц // Проблемы программирования. — 2008. — № 4. — С. 104–111.

3. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / В.Д. Левчук, И.В. Максимей. — Гомель: ГГУ им.Ф.Скорины, 2006. — 263 с.

4. *Максимей И.В.* Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, Е.А. Ерофеева, П.В. Гируц // Математические машины и системы. — 2008. — № 4. — С. 147–153.

Поступила в редакцию 10.04.2009