

В результате работы модели первого уровня для каждого устройства  $Y_i$  формируется множество векторов вероятностей  $P_i = \{\|P_i^t\|\}$ , характеризующих изменение во времени износа  $i$ -го участка сети. На втором уровне моделирования реализуется нахождение результирующего множества векторов вероятностей  $P_s = \{\|P_s^t\|\}$ , которые формируются с использованием формул (1) и (2).

Полученные результаты моделирования позволяют проследить за вероятностным изменением характеристик износа рассматриваемой железнодорожной сети во времени и оценить степень влияния износа каждого участка дороги на износ всей сети.

#### Литература

1. Сосновский, Л. А. Основы трибофатики / Л. А. Сосновский. – Гомель, 2003. – 242 с.
2. Богдановф, Дж. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богдановф, Ф. Козин. – Москва : Мир, 1989. – 335 с.
4. Сукач, Е. И. Использование логико-вероятностного моделирования для исследования характеристик транспортной сети // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2007. – № 5 (44). – С. 77–46.
5. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, С. Н. Черкесов // Москва : Радио и связь, 1981. – 264 с.
6. Райншке, К. Модели надежности и чувствительности / К. Райншке. – Москва : Мир, 1979. – 447 с.

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕННОГО ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ

Т. С. Запольская, В. Н. Кулага

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь*

Научный руководитель Е. И. Сукач

Одним из критериев успешного функционирования железнодорожной сети (ЖС) является своевременная доставка грузов с наименьшими затратами. Процесс доставки грузов включает операции обслуживания транспортных потоков, которые отображают сложные реальные процессы и зависят от большого числа случайных параметров, изменяющихся во времени и в пространстве. Согласование имеющихся технических средств железной дороги с общественной потребностью в перевозках отражается графиком доставки грузов, который учитывает план организации вагонов в поезда и план распределения объема работы между станциями с учетом критерия технико-экономической целесообразности [1].

Для решения проблем эффективного планирования разработаны различные аналитические методы, которые, как правило, ограничивают исследователя в количестве задаваемых параметров. Поэтому является актуальным использование методов имитационного моделирования для определения эффективности функционирования ЖС при установленном плане формирования поездов и решения задачи планирования необходимого объема ресурсов, предназначенного для бесперебойного исполнения плана перевозок при наличии случайных факторов, влияющих на исполнение этого плана [2].

Для оптимизации работы узлов железнодорожной сети была разработана имитационная модель (ИМ) сортировочной станции, позволяющая решить задачи планирования грузоперевозок и исследовать процесс переработки транзитного вагонного потока [3].

Для анализа конкурентоспособных вариантов организации перевозочного процесса при условии выполнения установленного плана формирования составов, реализуемого в условиях случайных воздействий, предлагается использовать ИМ всей железнодорожной сети.

ЖС описывается ориентированным графом  $G(N, U)$ , состоящим из  $N$  вершин и множества ребер  $U$ . Ребра графа имитируют участки железных дорог сети, а узлы графа – станции обслуживания транспортных потоков.

Каждое ребро описывается следующими параметрами: пропускной способностью участка дороги между узлами ЖС ( $c_{ij}$ ); провозной способностью участка дороги между узлами ЖС ( $g_{ij}$ ); длиной участка дороги между узлами ЖС ( $l_{ij}$ ); стоимостью перемещения состава по участку дороги единичной длины из  $i$ -го узла ЖС в  $j$ -й узел ( $q_{ij}$ ).

Пропускная способность железнодорожной линии характеризует мощность железнодорожной линии – это то максимальное число поездов, которое может быть пропущено по линии за единицу времени. Она зависит от числа путей на линии ( $np_{ij}$ ), ее технического оснащения и других параметров.

Провозная способность железнодорожной линии определяется тонно-километрами в единицу времени, которые могут быть реализованы на линии в зависимости от возможного числа грузовых поездов и их массы. Количество грузов, которое способна пропустить через себя дорога из  $i$ -го узла транспортной сети в  $j$ -й узел за единицу времени вычисляется по формуле

$$g_{ij} = c_{ij} \cdot M_c,$$

где  $M_c$  – средняя масса состава.

Длина дороги задается в условных единицах. Стоимость перемещения состава по участку дороги единичной длины из  $i$ -го узла ЖС в  $j$ -й узел вычисляется по формуле

$$q_{ij} = nv \cdot qv_{ij},$$

где  $nv$  – количество вагонов в составе;  $qv_{ij}$  – стоимость перемещения одного вагона.

Вершины графа – это железнодорожные станции, которые могут быть сортировочными или промежуточными. На сортировочных станциях происходит расформирование/формирование составов. На промежуточных станциях происходит техническое обслуживание поездов. Все сортировочные станции являются пунктами отправления и пунктами назначения груза.

Каждая вершина графа описывается следующими параметрами: типом вершины ( $r_i$ ); количеством вагонов ( $nv_i$ ); количеством локомотивов ( $nl_i$ ); интенсивностью поступления вагонов на формирование ( $l_i$ ); вектором вероятностей выбора пункта назначения для вагона ( $\|p_i\|$ ); стоимостью переработки (технического обслуживания) составов на станциях ( $q_i$ ).

Количество вагонов ( $nv_i$ ) и количество локомотивов ( $nl_i$ ) определяют ресурсы станций и изменяются в заданных пределах. Интенсивность поступления вагонов

определяет количество вагонов, заполненных грузом и поступающих на формирование в единицу времени. Ее величина задается функцией распределения  $R_i(\tau)$ . Для каждого заполненного грузом вагона по вектору вероятностей  $\|p_i\|$  определяется пункт назначения.

Транспортными единицами ЖС являются составы, которые состоят из вагонов. Предполагается, что составы могут быть двух типов: сборными и сквозными. Сквозные составы состоят из вагонов, у которых пункты назначения совпадают. Сборные поезда включают вагоны с различными пунктами доставки груза, для которых направления следования определены согласно установленному плану формирования поездов и совпадают.

Вагоны описываются следующими параметрами: станцией отправления ( $vst_o$ ); станцией назначения ( $vst_n$ ); типом вагона ( $tv$ ); массой вагона вместе с грузом ( $mv_g$ ).

Параметрами составов являются: тип состава ( $ts$ ); количество вагонов ( $nv$ ); тип локомотива ( $tl$ ); станция отправления ( $st_o$ ); станция назначения ( $st_n$ ); время формирования состава в пункте отправления груза ( $t_{i\phi}$ ); время расформирования/формирования сборного состава на промежуточных сортировочных станциях ( $t_{ip}$ )/( $t_{i\phi}$ ); время расформирования состава в пункте назначения груза ( $t_{ip}$ ); время обслуживания на сортировочной станции сквозного состава ( $t_{imp}$ ); время обслуживания состава на промежуточной станции ( $t_{inp}$ ). Количество вагонов задается в соответствии с табличной функцией распределения  $F(nv)$ , принимающей значения на интервале  $[nv_1, nv_2]$ , где  $nv_1$  – минимальное число вагонов в составе,  $nv_2$  – максимальное число вагонов в составе. Временные задержки ( $t_{i\phi}$ ), ( $t_{ip}$ ), ( $t_{i\phi}$ ), ( $t_{inp}$ ) определяются по функциям распределения  $F(\tau_{i\phi})$ ,  $F(\tau_{ip})$ ,  $F(\tau_{imm})$ ,  $F(\tau_{inn})$ , полученным в результате экспериментов с ИМ сортировочной станции [3].

Параметрами оценки варианта организации функционирования ЖС являются:

- среднее время перемещения вагонов (составов) из  $i$ -го пункта отправления в  $j$ -й пункт назначения  $\overline{TV}_{двij}$  ( $\overline{TS}_{двij}$ );
- суммарное время простоя вагонов (составов) на сортировочных и промежуточных станциях при их перемещении из  $i$ -го пункта отправления в  $j$ -й пункт назначения  $\overline{TV}_{стij}$  ( $\overline{TS}_{стij}$ );
- грузонапряженность ЖС, которая является показателем уровня загрузки сети объемом транспортной работы и вычисляется по формуле

$$\Gamma = \sum_{ij \in U} l_{ij} p_{ij} / \sum_{ij \in U} l_{ij},$$

где  $p_{ij}$  – величина перевезенного груза по участку ЖС;

- показатель эффективности варианта организации функционирования ЖС

$$F = \sum_{ij \in U} sd_{ij} + \sum_{i \in N} sf_i,$$

где  $sd_{ij} = q_{ij} \cdot l_{ij} \cdot n_{cij}$  – стоимость перемещения составов по ветви сети;  $sf_i = q_i \cdot n_{ci}$  – стоимость обслуживания составов на станциях;  $n_{cij}$  – количество составов, пропущенных по линии  $ij$ ;  $n_{ci}$  – количество составов, обслуженных на станции  $i$ .

Для исследуемой ЖС предполагается решение следующих задач:

- выбор системы организации составов для фиксированной нагрузки на сеть при условии выполнения установленного плана формирования составов, при которой затраты  $F$  будут минимальны;
- определение «узких мест» при функционировании ЖС в условиях реализации установленного плана формирования составов для различных систем организации составов;
- распределение нагрузки на ЖС, при которой сеть функционирует ритмично и равномерно загружены все ее участки.

В процессе реализации имитационных экспериментов возможно использование следующих стратегий:

- выбор плана формирования составов, однозначно определяющего маршрут перемещения транспортных единиц из пункта отправления в пункт назначения;
- задание значений характеристик, определяющих ресурсы станций и параметры участков ЖС, влияющих на пропускную способность линии;
- моделирование участковой системы организации составов, которая предусматривает формирование поездов только до ближайших сортировочных станций, и варианта организации составов с назначениями, когда для каждого состава выделяется самостоятельное назначение.

#### Л и т е р а т у р а

1. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / под ред. П. С. Грунтова. – Москва : Транспорт, 1994.
2. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – Москва : Радио и связь, 1983.
3. Максимей, И. В. О технологии проектирования программной системы моделирования для предметных областей организации транспортных потоков региона / И. В. Максимей и [др.] // Третья Междунар. науч. конф.: Сетевые компьютерные технологии, 17–19 окт. 2007 г. – Минск, БГУ. – С. 110–115.

## УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПОПУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. В. Ратобыльская

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь*

Научный руководитель Е. И. Сукач

Демографическое прогнозирование как способ наблюдения за развитием населения тесно связано с задачами планирования социально-экономических процессов: планирования перспективы производства и потребления товаров и услуг, жилищного строительства, развития социальной инфраструктуры, решения геополитических проблем. Оценка динамики уровня здоровья населения, как один из аспектов демографического прогнозирования, также имеет широкий спектр практического применения, к примеру, информация о здоровье населения играет ключевую роль в прогнозировании затрат государства в области здравоохранения.

Для оценки структуры и численности, определения уровня здоровья популяции и выявления степени влияния на него различных факторов создана компьютерная модель. Конечная модель включает модели построения прогнозов структуры и численности популяции, оценки репродуктивной ценности и уровня здоровья популяции.