

УДК 681.3

Е.И. Сукач

СТЕНД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Рассматривается стенд имитационного моделирования наиболее проблемной технологической линии переработки транзитного вагонопотока, обеспечивающий принятие решений, улучшающих эксплуатационные показатели сортировочной станции. Излагается динамика взаимодействия имитационной модели сортировочной станции и системы принятия решений при непосредственном участии лица принимающего решения.

Введение

Сортировочная станция железнодорожной сети, представляет собой сложный комплекс технологически взаимосвязанных элементов и операций. Технологический процесс работы сортировочной станции включает следующие технологические линии обслуживания транспортного потока: переработка и отправление местного вагонопотока; пропуск всех категорий пассажирских и пригородных поездов; обработка и пропуск транзитных грузовых поездов без изменения массы и длины; обработка и пропуск частично перерабатываемых поездов; сортировка вагонопотоков в соответствии с установленным планом формирования поездов. Последняя из перечисленных линий является основной по объёму и сложности реализуемых операций, поэтому далее она отождествляется с работой сортировочной станции. При её организации возникают проблемы, требующие разработки математических моделей и соответствующих программных средств.

Подходы к исследованию функционирования сортировочных станций излагаются в ряде работ, среди которых [1–3]. Однако предлагаемые методы ограничивают исследователя в составе задаваемых параметров, позволяют найти приближённое решение лишь некоторых частных задач и не имеют средств автоматизации процесса исследования. Непредсказуемый характер реализации технологического процесса переработки транзитного вагонопотока, обусловленный изменением объёмов работ, случайным временем

реализации технологических операций (ТХО), наличием конкуренции между ТХО за общие ресурсы станции, требует проведения множества имитационных экспериментов (ИЭ).

Использование универсальных методов имитационного моделирования технологических процессов [4] не позволяет учесть особенности функционирования сортировочной станции как разновидности транспортной системы. Разработка специализированного стенда, являющегося развитием комплекса имитационного моделирования транспортных систем [5], позволяет учесть при моделировании особенности транспортных систем, выделенные и учтенные при разработке комплекса и организовать моделирование с учётом этих особенностей. Следует отметить, что комплекс позволяет решать ряд типовых задач, возникающих при исследовании транспортных систем. Однако, выделение специфических задач обслуживания транспортного потока на сортировочной станции и необходимость проработки вопросов, связанных с выделением и освобождением ресурсов при организации этого обслуживания, потребовало развития возможностей подсистем принятия решений и отображения результатов моделирования.

Таким образом, результатом применения и развития классических положений имитационного моделирования для исследования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока стала разработка и реализация программного стенда имитационного моделирования сортировочной станции, отличающегося тем, что:

- процесс переработки транзитного вагонопотока рассматривается на высоком уровне детализации;
- нагрузка представлена в модели множеством сложных составных транзактов, динамически изменяющих свою структуру в процессе моделирования;
- формализация технологического процесса переработки транзитного вагонопотока основана на сочетании аналитического аппарата сетевого планирования и метода Монте-Карло;
- при моделировании отражается конкуренция ТХО за ограниченный состав ресурсов сортировочной станции;
- управление имитационным моделированием базируется на эвристических правилах, механизме управления объёмом используемых ресурсов, выборе альтернативных вариантов организации технологического процесса;
- автоматизированы все этапы исследования характеристик сортировочной станции.

Цель работы – изложение одного из способов детального исследования сортировочной станции, основанного на применении стенда имитационного моделирования, позволяющего оптимизировать работу станции и учесть вероятностные характеристики её функционирования при моделировании всей железнодорожной сети.

Стенд имитационного моделирования сортировочной станции и технология его использования позволяют сопоставить работу исследуемой сортировочной станции и её ИМ, которые функционируют в различном временном масштабе. При этом подсистема принятия решений стенда выдает информацию лицу принимающему решение (ЛПР) о возможности возникновения сбоя в обслуживании транзитного транспортного потока по истечении некоторого интервала времени и указать возможные варианты предотвращения такой ситуации и выхода из неё. ЛПР помимо интегральных статистических данных о ходе технологического процесса обслуживания транзитного вагонопотока, полученных в результате проведения серии ИЭ, может использовать оперативные статистические данные о состоянии технологи-

ческого процесса в ходе l -ой реализации эксперимента с ИМ при некоторых заданных параметрах. На их основании может быть реализовано управление процессом моделирования в ходе ИЭ.

1. Состав и структура стенда имитационного моделирования сортировочной станции

Стенд имитационного моделирования сортировочной состоит из следующих компонентов:

- библиотеки имитационных моделей сортировочной станции железнодорожной сети (LIB_JST), позволяющей оперативно создавать варианты моделей технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной станции [6];
- подсистемы оптимизации и принятия решений (OPTIM);
- подсистемы отображения результатов моделирования (VIZ);
- базы данных моделирования (BDM).

Основным компонентом стенда является параметризованная имитационная модель (IM_JST), реализующая моделирование технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции с помощью вероятностного сетевого графика и использования процедуры Монте-Карло. IM_JST включает следующие компоненты: подмодель l -ой реализации IM_JST согласно процедуре Монте-Карло; подсистему реализации процедуры Монте-Карло; подсистему распределения ресурсов; блок технологического резервирования; блок сбора статистических данных ИЭ; управляющую программу моделирования. В IM_JST реализуются следующие виды управления динамикой моделирования: задание начальных значений множества параметров технологического процесса, определяющих состав и объём ресурсов сортировочной станции; выбор вариантов модификации структуры технологического процесса при возрастании временных показателей обслуживания составов; определение правил управления очередями

вагонопотока при його обслуговуванні технологічними операціями.

Подсистема оптимізації і прийняття рішень, з однієї сторони, взаємодіє з ІМ сортировочної станції, використовуючи алгоритми аналізу і обробки результатів моделювання. З іншої сторони, вона приймає і обробляє інформацію від ЛПР, з метою його впливу на хід моделювання процесу переробки транспортного потоку. Структурно реалізовано взаємодію трьох функціональних складових підсистем ОРТІМ: блоку планування початку моделювання, який задає початкові умови для кожної реалізації ІЕ згідно процедури Монте-Карло; блоку динамічного управління ІЕ, який на високому рівні деталізації керує імітаційним моделюванням виконання технологічних операцій; блоку введення і аналізу інформації від ЛПР, а також підготовки інформації по результатам моделювання для ЛПР.

В алгоритмі ІМ_ІСТ існує система реагування на множину впливів підсистем оптимізації і прийняття рішень, а саме: зміна кроку спостереження за статистичними даними ІЕ; переривання моделювання в поточній реалізації досліджуваного варіанта організації технологічного процесу переробки вагонопотоку; переключення на імітаційне моделювання з зміною обсягу ресурсів колективного користування; переключення на альтернативний варіант організації технологічного процесу обслуговування транзитного потоку.

Подсистема відображення результатів моделювання VIZ дозволяє: формувати графіки витрат ресурсів за часом; будувати діаграми характеристик реалізації технологічних операцій; порівнювати показники ефективності обслуговування вагонопотоку. Результати візуалізації вихідних даних моделювання надходять для аналізу ЛПР при кожній реалізації ІМ сортировочної станції. Усереднені графіки даних моделювання по результатам N реалізацій ІЕ пропонуються ЛПР по закінченні

серії експериментів, забезпечуючи задану точність.

База даних моделювання BDM є буфером, в якій зберігається в структурованому вигляді інформація, поступаюча від ЛПР, використовувана підсистемою ОРТІМ, а також інформація про розвиток процесу моделювання, призначена для ЛПР.

Стенд може бути встановлений як на окремому комп'ютері, так і в локальній мережі комп'ютерів, що складають автоматизовану систему управління сортировочної станції. В разі локальної мережі стенд імітаційного моделювання може бути встановлений на спеціально виділеному комп'ютері або на одній з робочих станцій автоматизованої системи управління. При цьому програмний стенд може бути використаний для тестування і налагодки системи управління в цілому.

2. Формалізація технологічного процесу переробки транзитного вагонопотоку на сортировочній станції

Технологічний процес переробки транзитного вагонопотоку, який є домінуючою технологічною лінією сортировочної станції, виконує наступні функції: прийом поїздів, їх підготовку до розформування, розформування, накоплення складів нових призначень, формування нових складів, підготовку їх до відправлення і відправлення. Він може бути представлений у вигляді ієрархічного графа, вузлами якого є ТХО, а гілками – переходи від однієї ТХО до іншої. Групи ТХО, що виконують функції сортировочної станції, утворюють технологічні ланцюжки, склад і характеристики яких можуть мати суттєві відмінності. Серед набору ТХО можна виділити універсальні, які присутні на будь-якій станції, і оригінальні, наявність яких залежить від технології роботи станції. Останні вважаються фіктивними, якщо вони не задіяні в процесі переробки транзитно-

го вагонопотока исследуемой станции, и в процессе имитационного моделирования не участвуют. Переходы между ТХО могут быть детерминированными, вероятностными и условными. Условные переходы реализуются при наступлении определённых событий. Вероятностные переходы разыгрываются в соответствии с заданным вектором вероятностей и позволяют учесть многовариантность организации технологического процесса.

Входной транзитный вагонопоток образуют составы, которые поступая в систему, разбиваются на вагоны и группы вагонов, а затем в соответствии с назначением, собираются в новые составы. Составы представляются в виде сложных составных транзактов (ССТ), в которые входят: на нижнем уровне – информационный транзакт (имитатор вагона); на среднем уровне – кортеж (имитатор группы вагонов с одним назначением плана формирования); на верхнем уровне – состав (имитатор поезда). На каждом уровне ССТ содержится определённая информация. Состав информации, содержащейся в теле ССТ, определяет последовательность и величину модельного времени выполнения ТХО, требующихся для его обслуживания, а также состав и объём необходимых для этого обслуживания ресурсов.

Поскольку ССТ поступают не одновременно, то полученные в результате разбиения кортежи накапливаются в пулах (путях сортировочного парка станции, на которых производится расформирование составов и накопление вагонов на новые составы). Выбор пула для ожидания на накопление определяется его назначением и зависит от информации, содержащейся в кортеже. По окончании накопления в пуле определённого числа транзактов, производится сборка содержащихся в пуле кортежей в новый ССТ, который поступает на обслуживание другими технологическими операциями.

При построении ИМ сортировочной станции используется аппарат сетевого планирования [7], который позволяет отобразить во времени параллельные и последовательные ТХО процесса переработки транзитного вагонопотока, параметры

которого являются вероятностными. В соответствии с графом технологического процесса переработки транзитного вагонопотока строится сетевой график с элементами систем массового обслуживания (СМО). Событиями сетевого графика являются моменты начала и конца ТХО. Рёбрами являются сами ТХО. В вершинах сетевого графика вызываются специфические процедуры свершения начала и конца ТХО, которые не имеют продолжительности в модельном времени и выполняют в системе следующие функции: определяют последовательность выполнения ТХО, исходя из специальных таблиц смежности; фиксируют статистическую информацию о ходе имитационного моделирования; выполняют операции, связанные с распределением ресурсов.

Элементами СМО в сетевом графике являются приборы массового обслуживания, отображающие ресурсы, и использование очередей с управлением при обслуживании транзактов технологическими операциями. Все ресурсы станции (путевые, маневровые и бригады исполнителей) делятся на два типа: коллективного и индивидуального пользования. Ресурсы коллективного пользования, в отличие от ресурсов индивидуального пользования, требуются для выполнения более чем одной ТХО. Кроме этого различают: неделимый ресурс, состоящий из одной единицы и ресурс, состоящий из нескольких равнозначных единиц. Для всех ТХО при запросе необходимых ресурсов действует правило, в соответствии с которым, ресурсы одного типа выделяются одновременно, а ресурсы разного типа выделяются независимо, при их наличии. Множество путевых ресурсов обрабатывается следующим образом. Во-первых, задаётся множество технологических операций $\{ТХО_k\}$, для выполнения которых необходимо выделить путевые ресурсы станции. Во-вторых, всё множество путей станции разделяется на непересекающиеся подмножества путей (горловин, стрелок) $\{RES_j\}$, где RES_j – подмножество путевых ресурсов, необходимое для осуществления более чем одной $ТХО_k$. В результате, каждой $ТХО_k$ ставится в соответствие множество

$\{RES_j\}^k$, где RES_j – подмножество путевых ресурсов, необходимое для осуществления данной ТХО $_k$, с указанием для каждого RES_j порядкового номера его получения.

Управление ресурсами реализуется подсистемой распределения ресурсов, которая выполняет следующие операции:

- выделение ресурса RES_j для ТХО $_k$ по запросу, если ресурс свободен;
- занесение ТХО $_k$ в очередь к ресурсу RES_j , если ресурс занят;
- освобождение ресурса RES_j , возвращенного ТХО $_k$, если ресурс не передается;
- передача ресурса RES_j , возвращенного ТХО $_k$, другой ТХО $_n$ при необходимости.

Своевременное выделение ресурсов сокращает время обслуживания составов на сортировочной станции и способствует более эффективной организации её работы. Кроме этого, наличие ресурсов для обслуживания ССТ технологическими операциями определяет их приоритетный выбор из очереди к этим ТХО.

Выполнение последовательности ТХО при обслуживании ССТ реализуется процессами, которые синхронизированы в модельном времени. Особенностью реализации ИМ сортировочной станции является конкуренция технологических операций за ограниченный состав ресурсов станции. До момента выделения всех требуемых ресурсов ТХО ожидает своей активизации, после чего начинается моделирование её выполнения в l -ой реализации ИЭ некоторой длительностью, которая разыгрывается с помощью функции распределения.

С помощью процедуры Монте-Карло помимо розыгрыша времени выполнения ТХО реализуется вероятностный выбор различного вида ресурсов, выделением и освобождением которых занимается подсистема распределения ресурсов, определяется последовательность ТХО (при вероятностных связях ТХО), формируется структура и состав транзитного вагонопотока станции. Поскольку все перечисленные интервалы времени и величины являются случайными, то в ИМ_ЖСТ все они описываются с помощью функций

распределения, полученных на основании статистической информации исследуемой сортировочной станции, и задаются до начала моделирования.

Вектор входных параметров моделирования включает: число входов (выходов) исследуемой станции; функции распределения времени выполнения и стоимости выполнения ТХО; матрицу вероятностей переходов между ТХО; матрицы объёма ресурсов и запаса ресурсов различных типов, необходимых для выполнения ТХО; функции распределения времени поступления составов на станцию; функции распределения типов составов.

В результате ИЭ формируется вектор откликов модели. Количественными характеристиками сортировочной станции являются: число отправленных вагонов (составов) в сутки; число принятых вагонов (составов) в сутки; вагонооборот; среднечасовой рабочий парк вагонов. Качество переработки транзитного вагонопотока определяется следующими характеристиками: время/стоимость формирования состава для различных выходов; вагоно-часы простоя по выделенным технологическим цепочкам; средний простой вагона по выделенным технологическим цепочкам; параметр накопления для станции, отражающий вагоно-часы накопления, приходящиеся на один вагон состава; параметр накопления для каждого пула сортировочного парка; коэффициенты загрузки путевых ресурсов; коэффициенты загрузки маневровых локомотивов; коэффициенты загрузки бригад исполнителей.

3. Динамика управления имитационной моделью сортировочной станции

При имитационном моделировании сортировочной станции используется транзактно-процессный способ организации квазипараллелизма [8]. ССТ имитируют поезда (вагоны), поступающие на сортировочную станцию. Процессы отражают выполнение ТХО, которое становится возможным после выделения системой распределения ресурсов всех необходимых ресурсов. Подпрограмма генерации транзактов создает ССТ и передает его для об-

служивания первой ТХО. Последовательность ТХО при обслуживании ССТ определяется в соответствии с сетевым графиком, в котором присутствуют элементы вероятностного и условного планирования. В ходе моделирования составляется и обновляется список заявок на обслуживание ССТ процессами. Основным свойством заявок является время их активации, в соответствии с которым список упорядочен, а процессы синхронизированы. В ходе обслуживания заявок фиксируются локальные и интегральные статистические данные l -ой реализации ИЭ.

Управление ИМ технологического процесса переработки транзитного вагонного потока основано на анализе информации, поступающей в ходе моделирования по истечению заданных интервалов времени (Δt_i). При этом реализуется как автоматическое управление, так и генерация управляющих воздействий с привлечением опыта ЛПР и формализованных процедур подсистемы ОПТИМ.

Автоматическое управление реализуется управляющей программой моделирования в процессе l -ой реализации ИЭ. Для его организации используется система индикаторов, отражающая длину очереди к ресурсам коллективного пользования $\{dl_{r_i}\}$. До начала моделирования ЛПР устанавливает для каждого из ресурсов максимальную длину очереди и задаёт величину имеющегося запаса ресурса. Через установленный интервал времени Δt_i проверяется выполнение неравенств $dl_{r_i} > m_{dl_{r_i}}$, истинность которого означает превышение допустимого значения очереди к i -у ресурсу. При этом значение ресурса увеличивается на одну условную единицу и моделирование продолжается. По результатам прогонов для каждого вида ресурсов фиксируются: частота обращения к ресурсу; время занятости ресурса; время использования ресурса каждой ТХО; средняя длина очереди к ресурсу. На основании выборок статистических данных ИЭ, сформированных в BDM, вычисляются отклики моделирования. Автоматическое управление позволяет своевременно откорректировать ситуацию и

сделать выводы о необходимом объёме ресурсов каждого вида. При этом в BDM фиксируются моменты, когда снижается эффективность технологической линии переработки вагонного потока из-за отсутствия необходимых ресурсов, и происходит добавление единиц ресурса.

В том случае, когда требуется выбрать состав технологических цепочек, реализующих функции сортировочной станции, предлагается воспользоваться внесением управляющих воздействий от ЛПР, который через систему ОПТИМ, анализирует результаты ИЭ и решает вопрос о возможном переходе на технологическое резервирование на отдельных участках переработки транзитного вагонного потока. При этом контролируются характеристики реализации функций процесса обслуживания кортежей, которые фиксируются в соответствии с выбранным шагом моделирования в ходе проведения ИЭ. К ним относятся: время нахождения кортежа в системе; время нахождения кортежа в парке прибытия; время нахождения кортежа в парке прибытия под обработкой; время расформирования состава; время ожидания накопления транзактов на состав в сортировочном парке; время нахождения кортежа в парке отправления; время нахождения кортежа в парке отправления под обработкой. В том случае, если на каком-либо участке время обслуживания кортежа превышает допустимое для этого участка значение, генерируется сообщение, которое вместе с результатами моделирования поступает в систему ОПТИМ, а затем предлагается ЛПР с целью выбора управляющего воздействия на процесс моделирования сортировочной станции. При этом ЛПР может продолжить ИЭ без изменения состава ТХО либо выбрать один из альтернативных вариантов с заменой неэффективной технологической цепочки.

В результате, для повышения пропускной способности технологической линии переработки транспортного вагонного потока предлагается воспользоваться эвристическими правилами, основанными на опыте ЛПР. Такие правила могут быть установлены на этапе настройки ИМ и занесены в подсистему ОПТИМ. Они позволяют

в сетевом графике работ перейти от детерминированных переходов к переходам с условием. При этом организуется приоритетный выбор ССТ на их обслуживание ТХО. Признаком, обеспечивающим высокий приоритет, может выступать наличие ресурсов для обслуживания ССТ технологическими операциями, а также наличие в составе ССТ завершающего кортежа, быстрое обслуживание которого приведёт к добавлению его в соответствующий пул и завершению формирования нового ССТ (состава).

Комплексное использование различных видов динамического управления имитационного моделирования при эксплуатации стенда сортировочной станции позволяет исследовать будущее развитие технологического процесса переработки транзитного вагонопотока и, в случае необходимости, оперативно воздействовать на сам процесс с целью предупреждения конфликтных ситуаций при распределении ресурсов сортировочной станции или же при выявлении неэффективности технологических цепочек в обслуживании вагонопотока.

4. Технология эксплуатации стенда имитационного моделирования сортировочной станции железнодорожной сети

Технология контроля процесса переработки транзитного вагонопотока с помощью имитационного моделирования и своевременное принятие решений в соответствии с результатами моделирования реализуется путём непрерывного взаимодействия параметризованной ИМ исследуемой сортировочной станции, вспомогательных подсистем стенда и ЛПР. Последняя является инженер-технолог, обеспечивающий бесперебойное функционирование сортировочной станции. Выбор обоснованного решения в процессе эксплуатации стенда имитационного моделирования сортировочной станции предполагает выполнение ряда последовательных шагов.

Шаг 1. Занесение в базу данных моделирования исходной информации о структуре технологического процесса пе-

реработки вагонопотока и составе ТХО, которое реализуется путём заполнения таблицы смежности ТХО, определяющей связи между ТХО для исследуемой станции, определением вероятностных и условных переходов между ТХО. Выделение технологических цепочек, имеющих альтернативный вариант обслуживания вагонопотока и позволяющих организовать технологическое резервирование. Задание функций распределения времени выполнения каждой ТХО при обслуживании ССТ.

Шаг 2. Занесение в базу данных моделирования данных о структуре и составе входящего транзитного потока, определяющего нагрузку сортировочной станции. В качестве исходной статистической информации об интервалах между прибытиями поездов и структуре составов используются сообщения 02 автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом «телеграмма – натурный лист грузового поезда» (ТГНЛ) [9]. В соответствии с эмпирическими данными устанавливаются функции распределения времени поступления составов (ССТ) на переработку.

Для груженых вагонов в ТГНЛ указывается код станции назначения, который является кодом единой сетевой разметки, заключающейся в шифровке станций назначения железной дороги цифровыми кодами. Код станции назначения определяет путь сортировочной станции, на который будет направлен вагон при формировании нового состава.

Шаг 3. Задание состава и объёма ресурсов исследуемой станции и возможных значений запаса ресурсов сортировочной станции в таблицах моделирования базы данных. При этом определяется схема использования различных видов ресурсов (путевых, маневровых и бригад исполнителей) множеством ТХО. Путевые ресурсы определяются структурной схемой станции и включают пути сортировочного парка, которые выделены в самостоятельную логическую структуру и пути станции (парков прибытия, формирования и отправления). При определении парка локомотивов учитывается, что они разделяются на поездные и маневровые. Поездные ло-

комотивы поступают на станцию с составом поезда и отправляются со станции с другими составами. Как ресурс они требуются только для отправления сформированного поезда. Маневровые локомотивы предназначены для выполнения ТХО, связанных с перемещением вагонов по станции, расформированием и формированием составов. Бригады исполнителей включают: бригады проведения технического осмотра; бригады проведения коммерческого осмотра; бригады станционно-технологического центра.

Шаг 4. Выбор весовых коэффициентов важностей откликов моделирования δ_i ($0 \leq \delta_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^K \delta_i = 1$, где K – количество исследуемых характеристик) с учётом планируемых стратегий управления ЛПР.

Шаг 5. Составление плана проведения ИЭ согласно методикам последовательного эксперимента на основе использования процедуры Монте-Карло [8], обеспечивающего получение статистических данных имитационного моделирования с заданным уровнем точности. Используется подсистема ОПТИМ.

Шаг 6. Проведение серий ИЭ с ИМ_JST, в ходе которых формируются выборки для каждой составляющей вектора статистических данных моделирования. Полученные значения статистической информации заносятся в базу данных моделирования.

Шаг 7. Обработка статистических данных моделирования, хранящихся в BDM, с целью получения откликов моделирования. При этом вычисляются средние значения, дисперсии и коэффициенты точности всех откликов, которые были получены усреднением согласно процедуре Монте-Карло по всем реализациям ИЭ. Результаты обработки сохраняются в BDM и используются подсистемой ОПТИМ при выработке управляющего воздействия.

Шаг 8. Визуализация выходных данных моделирования с использованием возможностей подсистемы VIZ. ЛПР имеет в своём распоряжении графики и диаграммы, отображающие изменение исследуемых характеристик для каждой l -ой реализации ИЭ. По завершению N прого-

нов ИЭ формируются усреднённые графики и диаграммы характеристик технологического процесса переработки транзитного вагонопотока.

Шаг 9. Приведение откликов к одному масштабу и типу с последующим вычислением обобщённого скалярного отклика \overline{W}_h . С использованием процедур подсистемы ОПТИМ реализуется формирование матрицы решений $\|W_{hg}\|$, в которой каждый элемент представляет собой значение обобщённого показателя качества процесса переработки транзитного вагонопотока, вычисленного для h -го варианта параметров ИМ и g -го сочетания параметров внешней среды.

Шаг 10. Использование ЛПР одного из классических критериев принятия решений подсистемы ОПТИМ для выбора рационального варианта организации технологического процесса переработки транзитного вагонопотока.

Описанная пошаговая технология использования стенда имитационного моделирования сортировочной станции итеративна, предполагает использование профессиональных знаний ЛПР и позволяет сравнить варианты организации технологического процесса переработки транзитного вагонопотока с учётом решения типовых задач проектного моделирования и эксплуатации сортировочной станции.

Заключение

Обоснование, приведенных научных результатов состоит в том, что исследование функционирования основной технологической линии сортировочной станции аналитическими методами не представляется возможным из-за множества случайных факторов, влияющих на процесс обслуживания транзитных вагонопотоков, а имитационные методы либо устарели, либо не позволяют описать объект на высоком уровне детализации. Поэтому использование программного стенда имитационного моделирования, автоматизирующего этап принятия решения и динамически отображающего результаты моделирования, позволит в наибольшей степени приблизиться к описанию реального

объекта исследования и исследовать множество альтернативных вариантов его организации.

Представление информации по данным ИЭ в удобном для анализа виде, визуальное отображение результатов моделирования для множества вариантов организации процесса переработки вагонопотока, представленных сочетанием значений входных параметров плана ИЭ, возможность оперативного управления ходом моделирования, высокая степень автоматизации всех этапов исследования обеспечивает перспективу применения стенда для решения ряда практических задач. Использование стенда позволит оперативно изменить состав, количество ресурсов при изменении структуры и величины транзитного вагонопотока; определить наиболее эффективный вариант организации технологического процесса переработки транзитного вагонопотока; обосновать выбор решений при управлении технологическим процессом, позволяющих избежать сбоев в обслуживании, приводящих к простоя вагонов и локомотивов; оценить затраты на реконструкцию технологической линии обслуживания транзитных потоков.

Развитие стенда имитационного моделирования предполагается в направлении его адаптации для эксплуатации в научно-исследовательских секторах станций железнодорожной сети, а также путём его использования с целью получения характеристик сортировочных станций (времени и стоимости обслуживания транспортного потока), необходимых для моделирования железнодорожной сети в целом.

1. *Курганов С.Ю.* Формализация структуры и технологических процессов сортировочных станций для построения имитационной модели её работы // В кн.: Проблемы развития железнодорожных станций и узлов. – Гомель: БелИИЖТ, 1982. – С. 75 – 81.
2. *Миркин А.Г.* Оперативный расчёт эксплуатационных показателей сортировочной станции // В кн.: Совершенствование эксплуатационных и экономических показателей железнодорожного

транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – С. 8 – 15.

3. *Лецинский Е.* Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: Пер. с польск. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
4. *Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И., Соболев И.В.* Система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов, реализующая агрегатный способ имитации // Проблемы программирования.– 2005. – № 1.– С. 79 – 87.
5. *Максимей И.В., Сукач Е.И., Ерофеева Е.А., Гируц П.В.* Автоматизация этапов разработки и эксплуатации имитационных моделей транспортных систем // Проблемы программирования.–2008. – № 4. – С. 104 – 111.
6. *Максимей И.В., Сукач Е.И., Ерофеева Е.А., Гируц П.В.* Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети // Математические машины и системы. – 2008. – № 4. – С. 147 – 153.
7. Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Уч. пособие / И.В. Максимей, С.И. Жогаль, под общ. ред. И.В. Максимей. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 109 с.
8. *Максимей И.В.* Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1983. – 230 с.
9. Информационные технологии на железнодорожном транспорте / Под ред. Э.К. Лецкого, Э.С. Поддавашкина, В.В. Яковлева. – М.: УМК МПС России, 2001. – 668 с.

Получено 17.03.09

Об авторе:

Сукач Елена Ивановна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры математических проблем управления.

Место работы автора:

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины.
246019, Гомель, ул. Советская, 104.
Тел.: 8 10 375 232 60 42 37.
e-mail: eisukach@gsu.by