

УДК 656.21.074.4

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ СТАНЦИИ

А. А. ЕРОФЕЕВ

УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Е. А. ЕРОФЕЕВА

ЕПАМ-Системс, г. Гомель, Республика Беларусь

Совершенствование технологии работы технической станции является непрерывным процессом, который обуславливает множество факторов.

Изменение структуры и мощности вагонопотоков, пропускаемых через станцию, изменения состояния путевого развития и маневровых ресурсов, изменение технологии работы на вышестоящих уровнях. При этом технические станции имеют ряд особенностей, затрудняющих оценку будущих показателей работы при изменении тех или иных факторов:

– сильная связность элементов внутри станции, при которой *изменение технологии* работы одних устройств влечет за собой изменение параметров функционирования других. Например, изменение технологии окончания формирования составов и увеличение загрузки сортировочной горки может привести к дополнительным простоям вагонов в парке прибытия;

– влияние *схемы путевого развития станции*. Например, если изменяется уровень загрузки устройств, то могут возникнуть новые «узкие места», а величины межоперационных простоев могут существенно отличаться от предыдущих значений;

– влияние *планового и диспетчерского управления*. Управление является функцией, обеспечивающей адаптацию системы к складывающейся эксплуатационной обстановке. При этом, чем больше неравномерность транспортных процессов, тем большую значимость приобретает диспетчерское управление;

– влияние *параметров внешней среды* на технологические процессы станции. Например, изменения плана формирования поездов оказывает влияние на план маневровой работы; ухудшение погодных условий может потребовать увеличения затрат времени на выполнение осмотров составов, а обледенение пути – установки дополнительных средств закрепления.

Изучение и анализ технологии работы станции возможны с использованием различных методов исследования (таблица 1).

В результате анализа можно сделать вывод, что имитационное моделирование является предпочтительным методом изучения технологии работы станции, так как позволяет всесторонне учесть влияющие на технологию факторы.

Таблица 1 – Методы исследования технологии работы станции

Метод исследования	Технология работы	Схема путевого развития	Оперативное управление	Параметры внешней среды
Аналитические методы	+	–	–	–
Графо-аналитические методы	+	+	+	–
Теория массового обслуживания	+	-	-	+
Имитационное моделирование	+	+	+	+

В Белорусском государственном университете транспорта был выполнен ряд теоретических и прикладных научных исследований, в результате которых были сформулированы основные положения технологии имитационного моделирования станционных процессов.

При разработке имитационной модели использован процессный подход к описанию объекта исследования, при котором технологический процесс переработки вагонопотока на железнодорожной станции представляется в виде графа, вершинами которого являются технологические операции, дугами – переходы между ними (рисунок 1). Основным параметром операции является время ее выполнения.

При составлении содержательного описания предложено выделить три типа ресурсов: путевые, маневровые, людские. В разрабатываемой модели предлагается формализовать все ресурсы как RU – неделимый ресурс, состоящий из одной единицы и RM – ресурс, состоящий из нескольких равнозначных единиц. Перечень ресурсов на примере станции Минск-Сортировочный приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень ресурсов

Обозначение	Описание	Тип ресурса	Количество единиц
RU_2	Пути надвига	Путевые	1
RU_3	Сортировочная горка	Путевые	1
RM_1	Путь парка прибытия (ПП)	Путевые	6
RM_2	Бригада технического осмотра парка прибытия (ПТО ПП)	Людские	4
RM_3	Бригада коммерческого осмотра парка прибытия (ПКО ПП)	Людские	4
RM_4	Бригада технического осмотра парка отправления (ПТО ПО)	Людские	2

Окончание таблицы 2

Обозначение	Описание	Тип ресурса	Количество единиц
RM_5	Бригада коммерческого осмотра парка отправления (ПКО ПО)	Людские	2
RM_6	Горочный маневровый локомотив (ГМЛ)	Маневровые	3
RM_7	Вытяжной маневровый локомотив (ВМЛ)	Маневровые	4
RM_8	Вытяжные пути из сортировочного парка в парк приема-отправления № 3 (СП-ПОПЗ)	Путевые	5
RM_9	Вытяжные пути из сортировочного парка в парк приема-отправления № 4 (СП-ПОП4)	Путевые	6
RM_10	Путь парка приема-отправления № 3 (ПОПЗ)	Путевые	5
RM_11	Путь парка приема-отправления № 4 (ПОП4)	Путевые	5
RM_13	Работник станционно-технологического центра (СТЦ)	Людские	5
RM_14	Работник конторы передач (КП)	Людские	2
RM_15	Работник таможни	Людские	0

Особенностью путевых ресурсов является то, что один и тот же путевой ресурс может использоваться последовательно в нескольких технологических операциях (ТХО). Кроме того, одна операция может использовать последовательно несколько путевых ресурсов (перемещение по путям станции).

При анализе содержательного описания технологического процесса обработки вагонопотоков выделены матрицы откликов для сложносоставных транзактов, ресурсов, технологических операций. Расчет одномерной матрицы откликов по транзактам (показатели работы станции) производится на расчетный период – сутки:

$$\{N_{\text{Пф}}, N_{\text{пр}}, N_{\text{от}}, n_{\text{пр}}, n_{\text{от}}, B, B_{\text{тех}}, B_{\text{ож}}, B^{\text{ПП}}, B_{\text{ож}}^{\text{ПП}}, B_{\text{рос}}, B_{\text{нак}}, B^{\text{СП}}, B_{\text{ож}}^{\text{Оф}}, B^{\text{Оф}}, B^{\text{ПО}}, B_{\text{ож}}^{\text{отпр}}, C\}. \quad (1)$$

Элементы матрицы откликов приведены в таблице 3.

Выделены уровни детализации матрицы откликов по транзактам: станционный уровень, уровень каналов прибытия/отправления, уровень назначений плана формирования.

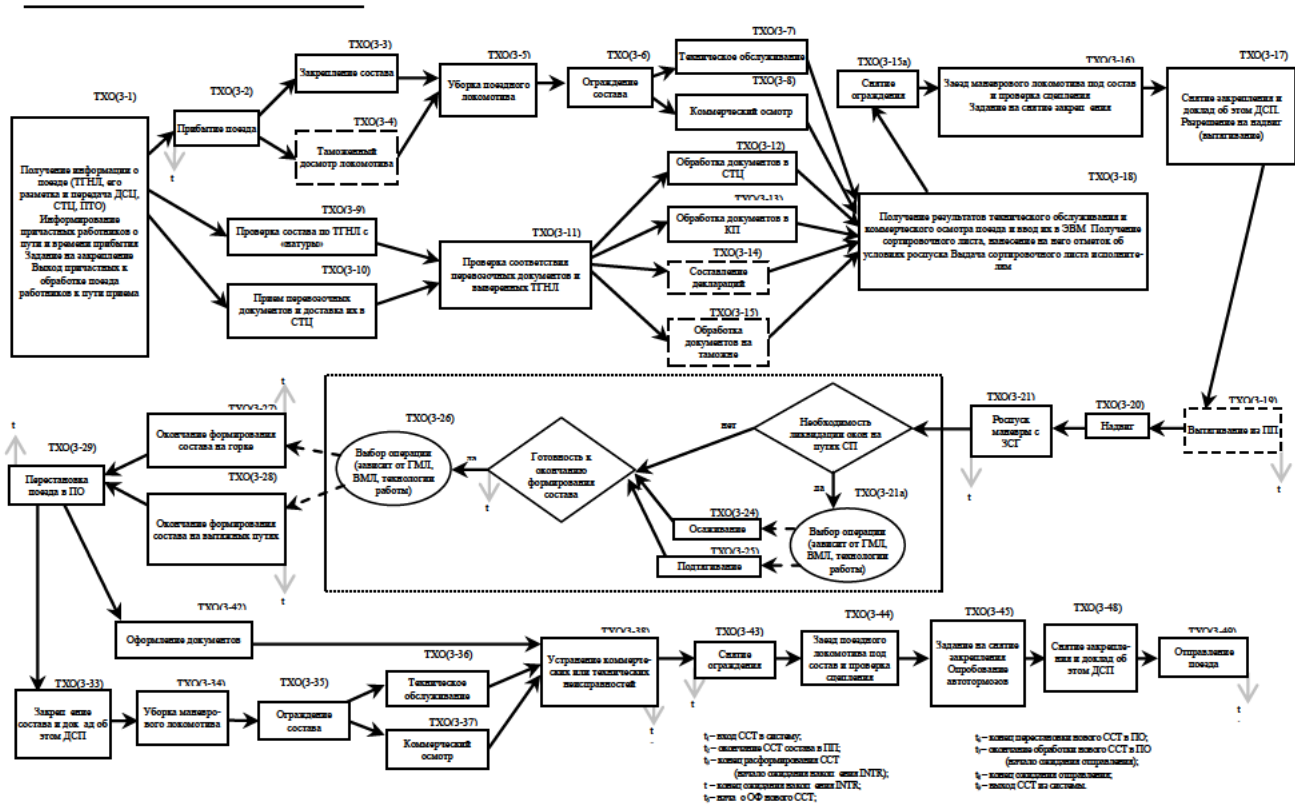


Рисунок 1 – Граф технологических операций

Таблица 3 – Элементы матрицы откликов модели по транзактам

Отклик	Описание	Единица измерения
$N_{\text{ПФ}}$	Количество реализованных назначений плана формирования	назначение
$N_{\text{пр}}$	Принято поездов	поезд
$N_{\text{от}}$	Отправлено поездов	поезд
$n_{\text{пр}}$	Принято вагонов	вагон
$n_{\text{от}}$	Отправлено вагонов	вагон
V	Всего вагоно-часов на станции	вагоно-час
$V_{\text{тех}}$	Всего вагоночасов под обработкой	вагоно-час
$V_{\text{ож}}$	Всего вагоно-часов в ожидании обработки	вагоно-час
$V_{\text{ож}}^{\text{ПП}}$	Вагоно-часов ожидания входа на станцию из-за отсутствия путей парка прибытия	вагоно-час
$V^{\text{ПП}}$	Вагоно-часов в парке прибытия	вагоно-час
$V_{\text{рос}}$	Вагоно-часов роспуска	вагоно-час
$V_{\text{нак}}$	Вагоно-часов накопления	вагоно-час
$V^{\text{СП}}$	Вагоно-часов в сортировочном парке	вагоно-час
$V_{\text{ож}}^{\text{ОФ}}$	Вагоно-часов ожидания окончания формирования	вагоно-час
$V^{\text{ОФ}}$	Вагоно-часов окончания формирования	вагоно-час
$V^{\text{ПО}}$	Вагоно-часов в парке отправления	вагоно-час
$V_{\text{ож}}^{\text{отпр}}$	Вагоно-часов ожидания отправления	вагоно-час
C	Параметр накопления	–

При сравнении различных вариантов технологии обработки вагонопотока на станции, как правило, производится многокритериальная оценка. Перечень значимых откликов зависит от характера решаемой задачи, а коэффициенты значимости варьируются в зависимости от исследуемой производственной обстановки.

В результате исследований был сформирован перечень эксплуатационных задач, которые могут быть решены с использованием имитационной модели, а также разработаны методики их решения (рисунок 2).

Для большинства решаемых задач в качестве интегрального отклика целесообразно использовать среднее время нахождения вагона в системе $t_{\text{всего}}$, которое включает времена нахождения в подсистемах, в том числе время выполнения операций и время ожидания выполнения операций.

Определение элементов, ограничивающих пропускную и перерабатывающую способности станции, при заданных параметрах технологического процесса. При решении данной задачи в качестве интегрального отклика используется η_r – коэффициент загрузки ресурса.

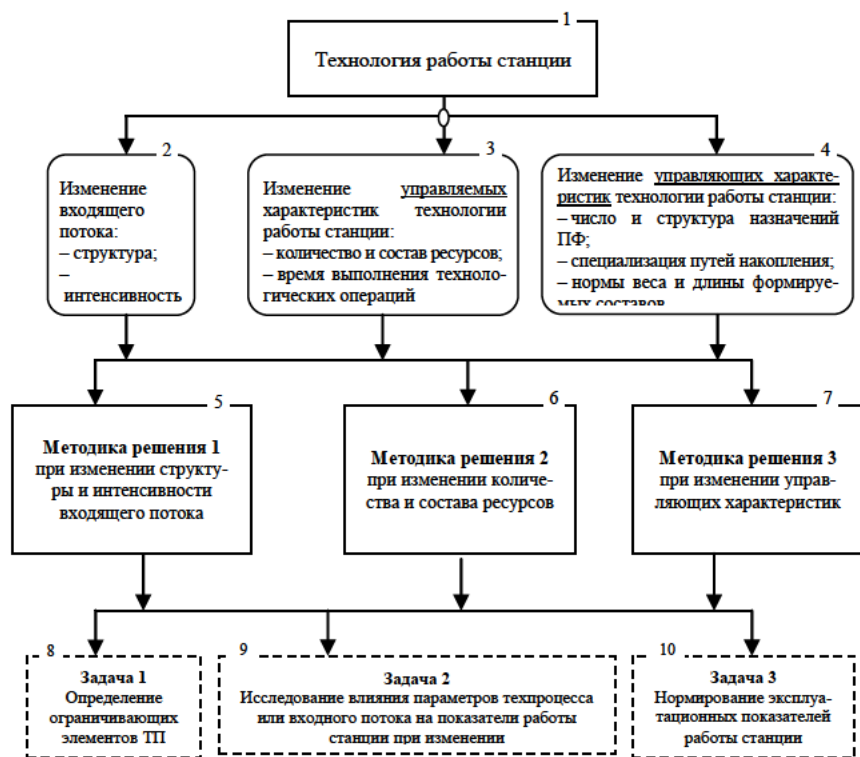


Рисунок 2 – Методы решения эксплуатационных задач в имитационной модели

Исследование влияния параметров технологического процесса или входного потока на показатели работы станции. Для решения задач этой группы в качестве интегрального отклика используется среднее время нахождения вагона в системе $t_{\text{всего}}$.

Нормирование показателей работы станции при различных вариантах организации технологического процесса. Данная задача формулируется таким образом, чтобы установить значения параметров работы станции в зависимости от выбранного варианта технологии. Для ее решения выбор интегрального отклика не требуется.

Для практической реализации имитационной модели был разработан «Программный комплекс имитационного моделирования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции (ПК ИМ ПТВ ЖДС)» (свидетельство о регистрации компьютерной программы № 289 от 26.01.2011).

Программный комплекс состоит из двух приложений. Первое реализует мониторинг и обработку данных о структуре входящего потока поездов (СМВП). Назначение второго – адаптация абстрактной имитационной модели к технологии и структуре конкретной станции, настройка и проведение эксперимента, обработка выходных данных и построение отчетов (СИМ ТП ПТВ ЖДС).

Использование предлагаемых технологий и программного обеспечения позволит существенно упростить процедуры оценки эффективности изменения параметров технологического процесса и оптимизировать использование технических средств станции.

Список литературы

1 **Пермикин, В. Ю.** Моделирование транспортных систем : курс лекций / В. Ю. Пермикин. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. – 80 с.

2 **Ерофеева, Е. А.** Формализация технологии обслуживания вагонопотоков сортировочной станцией при имитационном моделировании / Е. А. Ерофеева // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – 2008. – № 4. – С. 65–74

3 **Ерофеев, А. А.** Семиотическая модель перевозочного процесса и ее использование при проектировании интеллектуальных систем // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017) : труды шестой науч.-техн. конф. – М. : ОАО «НИИАС», 2017 – С. 24–26

4 **Ерофеев, А. А.** Информационные технологии на железнодорожном транспорте : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. Ч. 2 / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 256 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

■ Ерофеев Александр Александрович, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», проректор, канд. техн. наук, доцент, erofeev_aa@bsut.by;

■ Ерофеева Елена Александровна, г. Гомель, канд. техн. наук, доцент, ЕПАМ-Системс.