

Верификация моделирования входного потока имитационной моделью сортировочной станции

Е. А. ЕРОФЕЕВА

Введение. Железнодорожная сортировочная станция представляет собой сложный комплекс технологически взаимосвязанных элементов и операций. Технологический процесс работы сортировочной станции разделяется на технологические линии обслуживания транспортного потока, из которых сортировка вагонопотоков является основной [1]. При планировании и анализе работы сортировочной станции Белорусской железной дороги в ряде случаев недостаточно использования аналитических методов поэтому актуальны проблемы разработки метода и создания средств исследования технологий обработки поездов на железнодорожной станции с помощью имитационного моделирования [2].

Формализация входного потока. Поезда, поступающие в расформирование на станцию, и сформированные составы поездов представлены в имитационной модели в виде сложных составных транзактов (ССТ), в которые входят: на нижнем уровне – *информационный транзакт* (INTR – имитатор вагона); на среднем уровне – *кортеж* (COR – имитатор группы вагонов с одним назначением плана формирования); на верхнем уровне – *состав* (SET_COR – имитатор состава поезда).

Основным параметром *состава* является номер канала прибытия. Под каналом прибытия понимается направления прибытия поезда. Например, для станции Минск-Сортировочный есть четыре канала прибытия: со стороны Орши, Баранович, Молодечно, Осипович. Параметрами *информационного транзакта* являются: состояние вагона (груженный, порожний), для груженных – код назначения, для порожних – код администрации принадлежности и род подвижного состава. Параметрами *кортежа* являются: канал прибытия, номер пула накопления, канал отправления. В *кортежи* информационные транзакты группируются на основании правил, заложенных в имитационной модели (план формирования, специализация пулов накопления, вероятностные таблицы на основе статистических данных о роспуске и накоплении).

Мониторинг исходных данных. В качестве исходной статистической информации об интервалах между прибытиями и структуре ССТ для запитки модели используются сообщения 02 АСУЖТ (автоматизированная система управления железнодорожным транспортом) «телеграммы – натурные листы грузового поезда». На железной дороге введена единая сетевая разметка (ЕСР), которая заключается в шифровке станции назначения цифровыми кодами. Вся сеть железных дорог СНГ и Балтии разделена на 99 сетевых районов, нумерация которых возрастает с запада на восток. Первый район охватывает станции Кольского полуострова и Карелии, а 99-й – о. Сахалин. Для груженных вагонов в ТГНЛ указывается код ЕСР станции назначения. Т.е. для груженных вагонов кодом назначения будет код ЕСР. Таким образом на станцию может прийти груженный вагон с кодом ЕСР станции назначения от 100 до 9999. Порожним вагонам в этой же графе присваивается код 00000. Поэтому для порожних вагонов кодом назначения будет пара род подвижного состава – код администрации.

Моделирование входного потока производится в два этапа: сначала моделируется *интервал* до следующего прибытия, затем *структура* ССТ.

Методика моделирования ССТ. Верификация моделирования входного потока. Для моделирования интервала прибытия и структуры ССТ в процессе ИЭ необходимо заранее на основе статистических данных получить эмпирические функции распределения всех требуемых параметров для каждого этапа моделирования структуры ССТ. В реализации ИМ

предусмотрена возможность использования теоретических функций распределения вероятности моделирования параметров в процессе ИЭ.

Верификация моделирования параметров входного потока была произведена с помощью двухвыборочного критерия согласия Колмогорова-Смирнова [3]. При рассмотрении двух выборок случайных величин $\{x_i\}, i = \overline{1, n}$ и $\{y_j\}, j = \overline{1, m}$ требуется проверить на уровне значимости $\alpha = 0,05$, что обе выборки извлечены из совокупности с одним и тем же законом распределения, то есть необходимо проверить нулевую гипотезу $H_0: F_n(x) = F_m(y)$, статистика критерия имеет вид $D_h = \max |F_n(x) - F_m(y)|$, где $F_n(x)$ и $F_m(y)$ эмпирические функции распределения вероятностей, при n и $m > 100$ справедливо соотношение $P\left(\sqrt{\frac{nm}{n+m}} \max |F_n(x) - F_m(y)| < z\right) \approx 1 - e^{-2z^2}$.

Для интервала прибытия статистика критерия $D_h = 0,01651$ находим вероятность

$$P\left(\sqrt{\frac{2811 \cdot 3000}{2811 + 3000}} \max |F_{2811}(x) - F_{3000}(y)| < 0,01651\right) \approx 1 - \exp(-2 \cdot 0,01651^2) = 0,000545.$$

Так как полученная величина не превышает заданный уровень значимости, то нулевая гипотеза принимается.

Столбцовые диаграммы интервала прибытия по исходным статистическим данным (2811 поездов) и данным, полученным в результате моделирования (3000 поездов), приведены на рисунке 1.

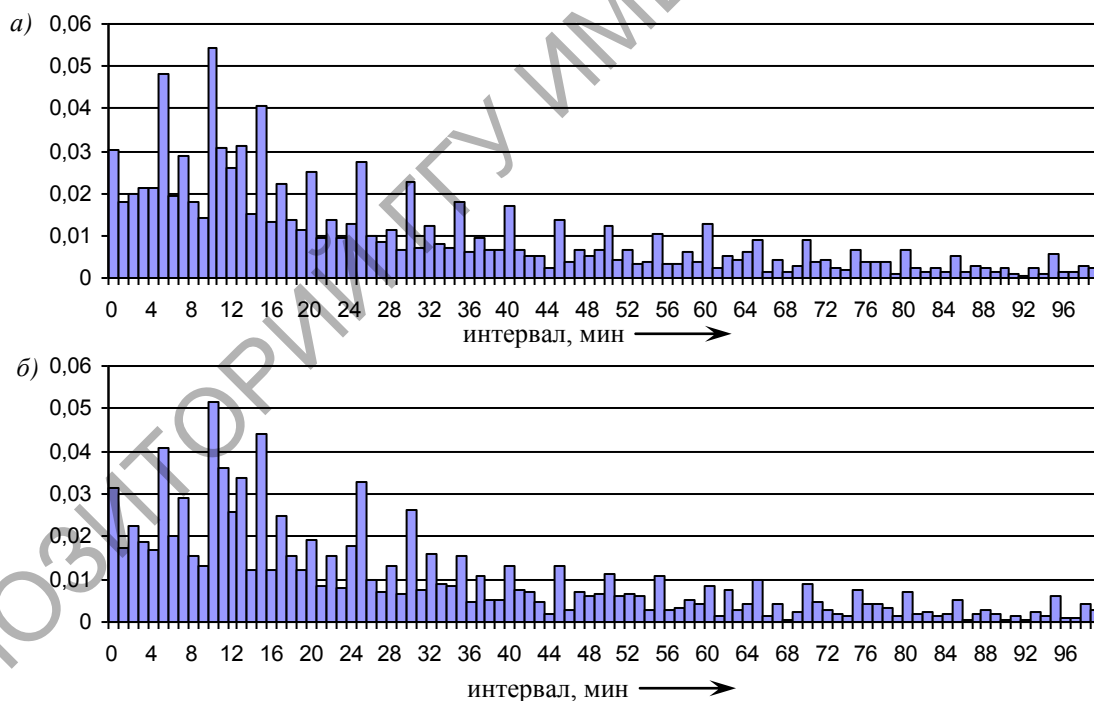


Рисунок – 1. Столбцовые диаграммы интервала между прибытием поездов на станцию
а) статистические данные; б) моделирование

Методика моделирования структуры ССТ состоит из следующих этапов: 1) определяется канал прибытия ССТ; 2) на основании канала прибытия определяется число транзактов в составе; 3) для каждого транзакта на основании канала прибытия определяется состояние вагона; 4) для каждого транзакта на основании канала прибытия и состояния вагона определяется код назначения; 5) в соответствии с кодом назначения на основании специализации пулов накопления транзакты группируются в кортежи.

1) *Канал прибытия.* Поезда на станцию прибывают (и отправляются) с нескольких каналов прибытия. Для каждого канала прибытия K_i получаем удельный вес $q_i = N_i / \sum N_i$, где N_i – число ССТ поступивших за общий промежуток времени (рисунок 2). Статистика двухвыборочного критерия согласия $D_h = 0,02309$,

$$P\left(\sqrt{\frac{2811 \cdot 3000}{2811 + 3000}} \max |F_{2811}(x) - F_{3000}(y)| < 0,02309\right) \approx 1 - \exp(-2 \cdot 0,02309^2) = 0,001066.$$

Так как полученная величина не превышает заданный уровень значимости, то нулевая гипотеза принимается.

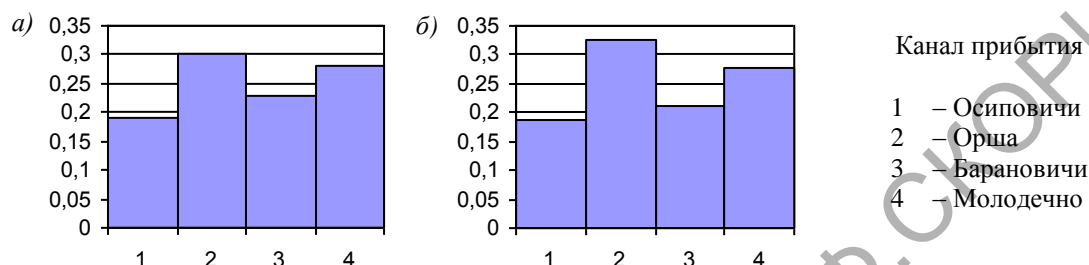


Рисунок 2 – Частота прибытия поезда на станцию с каждого канала прибытия
а) статистические данные; б) моделирование

2) *Число вагонов в составе.* На рисунке 3 показаны столбцовые диаграммы числа вагонов в составе для второго канала прибытия (Орша) по собранным статистическим данным и по данным, полученным в результате моделирования.

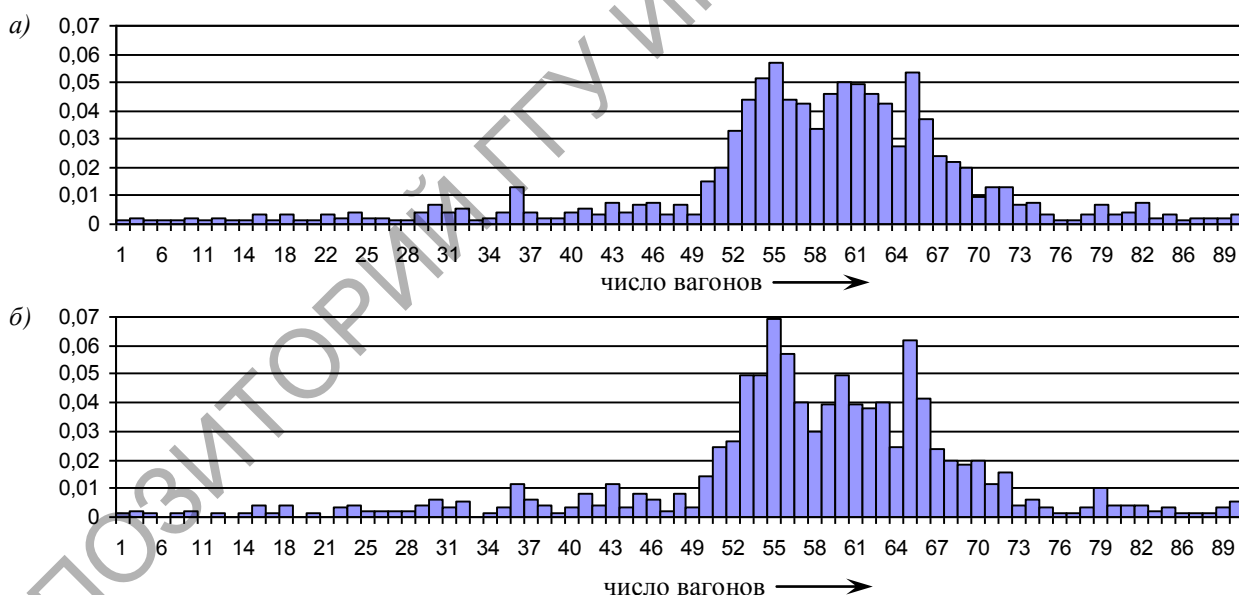


Рисунок 3 – Столбцовые диаграммы числа вагонов в составе поезда для второго канала прибытия – а) статистические данные; б) моделирование

Статистика двухвыборочного критерия согласия $D_h = 0,02186$,

$$P\left(\sqrt{\frac{2811 \cdot 3000}{2811 + 3000}} \max |F_{2811}(x) - F_{3000}(y)| < 0,02186\right) \approx 1 - \exp(-2 \cdot 0,02186^2) = 0,000955.$$

Так как полученная величина не превышает заданный уровень значимости, то нулевая гипотеза принимается.

3) *Состояние вагона (груженный порожний).* По каждому каналу прибытия для каждого транзакта находим вероятность состояния вагона (рисунок 4).

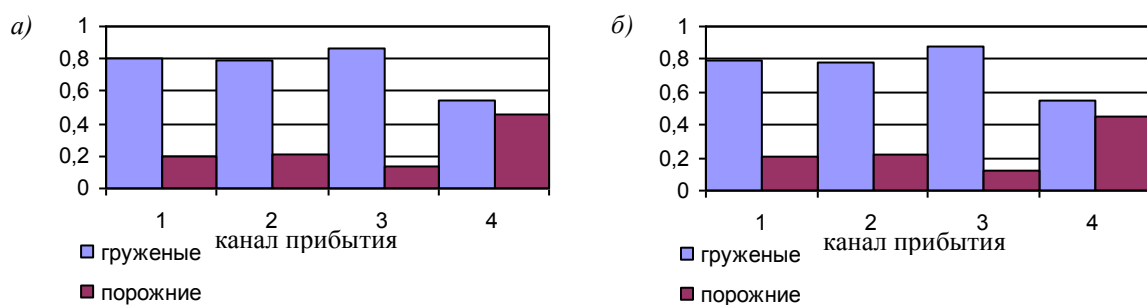


Рисунок 4 – Состояние вагона, прибывшего на станцию, по каждому каналу прибытия
а) статистические данные; б) моделирование

4) **Код назначения.** Для **груженых вагонов** необходимо произвести моделирование кода ЕСР станции назначения вагона: по собранным статистическим данным, $\{x_i\}$ – множество значений кодов ЕСР станций назначения вагонов, прибывших на станцию, строится сгруппированный статистический ряд, эмпирическая функция плотности и эмпирическая функция распределения вероятности прибытия вагона назначением на станцию с кодом ЕСР = x_i . При верификации моделирования кода ЕСР станции назначения груженого вагона с помощью двухвыборочного критерия согласия Колмогорова-Смирнова нулевая гипотеза о равенстве законов распределения исходных данных и полученных в модели получила подтверждение для заданного уровня значимости.

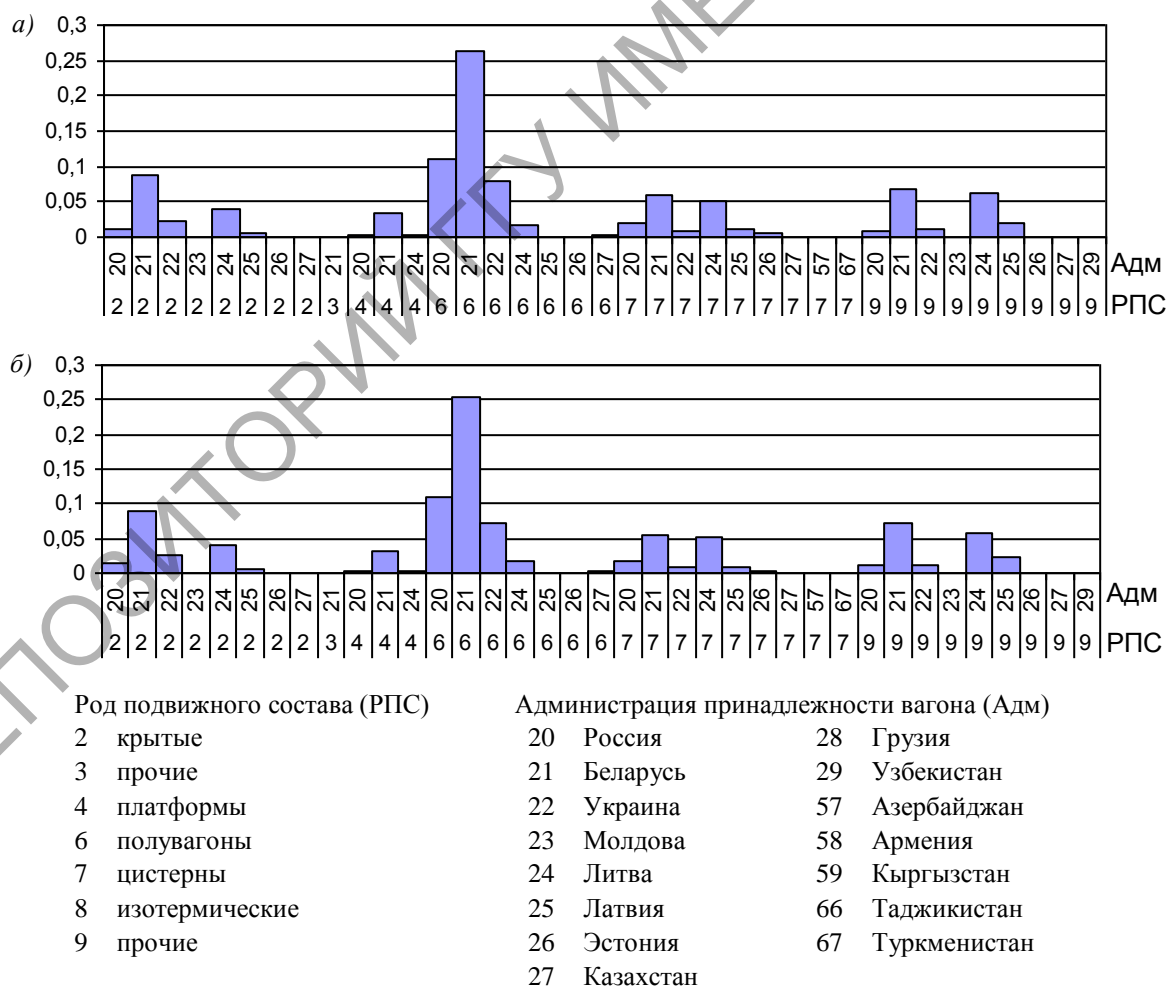


Рисунок 5 – Столбцовые диаграммы кода администрации и рода подвижного состава порожнего вагона с первого канала прибытия – а) статистические данные; б) моделирование

Для порожних вагонов. Код назначения моделируется для каждого канала прибытия отдельно, аналогично грузным вагонам, в качестве случайной величины используется пара значений: код администрации собственника, род подвижного состава. На рисунке 5 показаны столбчатые диаграммы вероятности прибытия порожнего вагона с определенным кодом назначения.

Статистика двухвыборочного критерия согласия $D_h = 0,01376$,

$$P\left(\sqrt{\frac{2811 \cdot 3000}{2811 + 3000}} \max |F_{2811}(x) - F_{3000}(y)| < 0,01376\right) \approx 1 - \exp(-2 \cdot 0,01376^2) = 0,000379.$$

Так как полученная величина не превышает заданный уровень значимости, то нулевая гипотеза принимается.

Вывод. Приведенная формализация входного потока в ИМ позволит исследовать технологию обработки вагонопотока с переработкой на сортировочной станции на более высоком уровне детализации и получить за счет этого более точную оценку параметров технологического процесса. В результате верификации реализации моделирования входного потока по эмпирическим функциям распределения вероятности получено, что все параметры сгенерированного входного потока имеют тот же закон распределения случайной величины, что и исходный поток.

Abstract. Formalization and technique of modeling of an input stream in simulation model of engineering process of a railway yard are presented in the paper. Outcomes of verification of modeling of an input stream are also given.

Литература

1. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на ж. д. транспорте. / под ред. П. С. Грунтова – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
2. Ерофеева Е. А. Метод исследования динамики формирования поездов на основе имитации технологического процесса ж.д. станции // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – №4(37). – 2006. – С. 24–28.
3. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

Белорусско-Российский университет

Поступило 7.05.08