

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ СТАНЦИЙ

(Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. академика В. Лазаряна)

В современных условиях рыночной экономики одним из основных направлений обеспечения эффективной работы сортировочных станций является минимизация расходов, связанных с переработкой вагонов. В этой связи приобретают актуальность вопросы совершенствования конструкции и технологии работы сортировочных комплексов станций, обеспечивающих процесс переработки вагонопотоков на станциях.

В настоящее время функционирование сортировочных комплексов станций характеризуется значительной неравномерностью поступления поездов в расформирование; при этом, как показали исследования [1, 2], среднегодовая неравномерность перевозок железнодорожным транспортом в сравнении с показателями 1991 г. увеличилась на 7-10 %, а суточная – на 50 %. Указанные колебания размеров грузового движения существенно влияют на качество железнодорожных перевозок и эффективность работы ее структурных подразделений. Поэтому наличие неравномерности перевозок должно быть учтено не только при определении потребной перерабатывающей способности технических устройств железных дорог, разработке графика движения и нормировании показателей эксплуатационной работы, а и при оперативном управлении перевозочным процессом, в частности работой сортировочных комплексов станций.

Повышение эффективности функционирования сортировочного комплекса в условиях переменной интенсивности прибытия поездов в расформирование может быть достигнуто путем оперативного изменения режима его работы в соответствии с текущей эксплуатационной обстановкой. При этом одним из основных управляемых параметров при выборе режима работы подсистемы расформирования является скорость роспуска. Кроме того, для реализации ситуационного управления скоростью роспуска составов может быть использована предложенная в работе [3] сортировочная горка с горбами разной высоты.

Таким образом, для решения задачи повышения эффективности функционирования сортировочных комплексов необходимо разработать методику выбора вида сортировочного устройства и рациональной скорости роспуска для каждого состава с учетом текущего состояния в парке приема. С этой целью сортировочный комплекс целесообразно рассматривать как управляемую систему массового обслуживания (УСМО).

Управляемой системой массового обслуживания принято называть систему, в которой параметры ее составных элементов допускают управляющее воздействие [4]. В соответствии с этим различают следующие виды УСМО [4, 5]: с управляемым входящим потоком требований, с управляемой дисциплиной обслуживания, с управляемой структурой, с управляемой скоростью обслуживания.

Так, в системах *с управляемым входящим потоком* выполняется отбор требований для обслуживания; при этом наименее ценным для системы требованиям (относительно заданного критерия) может быть отказано в обслуживании. Другой разновидностью таких систем являются УСМО с потерями, когда требование может быть утрачено вследствие превышения допустимого времени ожидания обслуживания. В задачах повышения эффективности функционирования сортировочных комплексов УСМО с управляемым входящим потоком могут быть применены, например, для управления обслуживанием горочным локомотивом конфликтных требований: очередного состава, готового к расформированию, и осаживания на сортировочных путях; при этом в условиях сгущенного прибытия поездов последнему типу требований может быть отказано в обслуживании путем отнесения указанной операции на маневровый локомотив, работающий в хвосте сортировочного парка, или за счет временного изменения специализации сортировочных путей.

Целью *управления дисциплиной обслуживания* является сокращение общей продолжительности нахождения требований в системе и связанных с этим расходов. Примером задач, которые могут быть решены с помощью УСМО такого типа, являются задачи выбора очередности расформирования составов.

В случаях, когда кроме расходов, связанных с простоем требований в системе, учитываются расходы на эксплуатацию обслуживающих устройств в разных режимах, возникают задачи управления структурой системы и скоростью обслуживания требований.

Системами *с управляемой структурой* принято называть УСМО, в которых используются резервные обслуживающие устройства, которые при определенных условиях включаются или выключаются; при этом отключенные устройства могут быть задействованы для обслуживания заявок в других системах. В задачах повышения эффективности функционирования сортировочных комплексов станций УСМО с управляемой структурой может быть использована, например, для установления оптимальной стратегии привлечения к расформированию составов маневрового локомотива, который занят на работах в других районах станции.

В системах *с управляемой скоростью обслуживания* предполагается, что обслуживание отдельного требования может осуществляться с определенной интенсивностью  $\mu_j$ ,  $j \in K$ , где  $K$  – фиксированный набор возможных режимов обслуживания; при этом управление скоростью обслуживания является

обобщенной задачей управления резервным устройством [5]. Целью управления является поиск такой стратегии назначения скорости обслуживания, которая бы минимизировала общие расходы, связанные с функционированием системы.

Таким образом, задача выбора оптимальной скорости обслуживания относится к числу экономических задач [6], решение которой для условий оперативного управления скоростью роспуска позволит снизить себестоимость переработки вагонов на сортировочных комплексах станций.

На основе проведенного анализа возможных стратегий управления УСМО выполнена постановка задачи управления скоростью роспуска составов. Сортировочная горка может быть представлена как одноканальная УСМО с ожиданием, на вход которой с интенсивностью  $\lambda$  поступает поток требований в виде готовых к расформированию составов. Расформирование может выполняться в одном из  $n$  режимов,  $n \geq 2$ . Режим расформирования очередного состава выбирается в момент окончания расформирования предыдущего состава и остается неизменным до окончания расформирования данного состава. Расформирование в  $i$ -м режиме выполняется с интенсивностью  $\mu_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $0 < \mu_1 < \dots < \mu_n$ ,  $\mu_n > \lambda$ . Необходимо найти стратегию выбора скорости роспуска составов, которая бы минимизировала стоимостной критерий качества функционирования системы:

$$I = \alpha L + \sum_{i=1}^n c_i P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – стоимость нахождения одного состава в системе в единицу времени;  $L$  – средняя длина очереди;  $c_i$  – стоимость использования  $i$ -го режима в единицу времени,  $0 \leq c_1 < \dots < c_n$ ;  $P_i$  – вероятность работы горки в  $i$ -м режиме в единицу времени.

Как видно из (1), для решения поставленной задачи необходимо определить стоимости  $\alpha$  и  $c_i$ . Стоимость нахождения одного состава в системе в единицу времени  $\alpha$  определяется на основе расходной ставки на 1 вагоно-час простоя подвижного состава  $e_{\text{ваг-ч}}$ . Стоимость использования конкретного режима расформирования  $c_i$  определяется на основе величины эксплуатационных расходов, связанных с реализацией соответствующей скорости роспуска; при этом составляющими указанных расходов являются: энергетические расходы на надвиг и роспуск; расходы на дополнительную маневровую работу по ликвидации нарушений процесса роспуска и выполнение осаживания вагонов; расходы, связанные с повреждениями подвижного состава.

Для установления зависимости величин указанных составляющих эксплуатационных расходов от скорости роспуска  $v_0$  была разработана комплексная имитационная модель процесса расформирования составов на сортировочной горке. На основе найденной зависимости стоимости режима  $c = f(v_0, h_r)$  и ве-

личины стоимости  $\alpha$  простоя составов в системе необходимо для каждого возможного состояния системы, характеризующегося длиной  $N$  очереди готовых к расформированию составов, определить рациональные по критерию минимизации эксплуатационных расходов величину скорости роспуска и вид сортировочной горки.

Указанная оптимизационная задача может быть решена с помощью метода Бокса-Уилсона [7] путем проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ). В качестве функции отклика приняты эксплуатационные расходы  $I$ , величина которых зависит от набора факторов  $v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}$ , представляющих собой скорости роспуска при отдельных значениях очереди  $N$  в парке. Учитывая то, что каждый фактор варьируется на двух уровнях, а ПФЭ является системой опытов, которая содержит все возможные неповторяемые комбинации уровней варьирования  $n$  факторов, то необходимо провести ПФЭ из  $m = 2^n$  опытов.

Для определения величины функции отклика  $I$  была разработана имитационная модель функционирования сортировочного комплекса. Указанная модель построенная как двухфазная УСМО с управляемой скоростью роспуска составов и позволяет совместно имитировать процессы обслуживания потока составов в парке приема и их расформирования на горке, а также процесс заполнения путей сортировочного парка. В результате моделирования получены  $m$  значений функции отклика  $I$ , на основе которых выполняется крутое восхождение и определяются оптимальные значения скорости роспуска.

Таким образом, как показали исследования, адаптация режима работы сортировочного комплекса к текущим эксплуатационным условиям является действенным методом повышения эффективности его функционирования в условиях переменной интенсивности входящего потока поездов. На основе разработанной методики может быть построена автоматизированная система поддержки принятия решений оперативно-диспетчерским персоналом сортировочных комплексов станций, реализация которой позволит существенно сократить эксплуатационные расходы, связанные с переработкой вагонопотоков.

1. Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте [Текст] / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3(56). – С. 62-67.

2. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков [Текст] / Е.А. Сотников, К.П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3-9.

3. Бобровський, В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, 2014. - Вип. 8. - С. 20-26.

4. Рыков, В. В. Управляемые системы массового обслуживания [Текст] / В. В. Рыков // Итоги науки и техники. сер. «Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика». М: ВИНТИ, 1975. – Т. 12. – С. 45-152.

5. Runtong Zhang. Fuzzy Control of Queuing Systems [Текст] / Runtong Zhang, Yannis A. Phillis, Vassilis S. Kouikoglou. Springer Science & Business Media, 2005 – 175 p.
6. Дудин, А. Н. Оптимальное управление многоскоростной системой массового обслуживания [Текст] / А. Н. Дудин // Известия АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. – 1981. – № 2. – С. 109-115.
7. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст]: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон. – М: Мир, 1981. – 520 с.