

## Технико-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н.,  
КОЗАЧЕНКО Д.Н., к.т.н., доцент,  
ВЕРНИГОРА Р.В., аспирант (ДГТУЖТ)

Приведена общая структура эргатической модели железнодорожной станции и методика формализации технологических процессов станций

Наведена загальна структура ергатичної моделі залізничної станції та методика формалізації технологічних процесів станцій

The general scheme of railway station's model and technique of formalizing of technology processes of stations are described

В условиях рыночной экономики и конкуренции с другими видами транспорта одним из основных факторов обеспечения высокой эффективности эксплуатационной работы железных дорог является минимизация времени нахождения вагонов на станциях. С этой целью станции должны обладать достаточным резервом пропускной и перерабатывающей способности для погашения пиковых нагрузок. С другой стороны, нужно минимизировать собственные расходы станций, сокращая избыточный технический потенциал. Для решения указанной сложной и противоречивой задачи необходима достоверная количественная оценка планируемых изменений их конструкции и технологии работы. Эффективным средством анализа и оценки показателей функционирования станций, их технико-технологических и экономических параметров может служить имитационное моделирование станционных процессов. Использование имитационных моделей при выполнении проектных работ, а также для оперативного управления станциями позволит принимать рациональные решения, направленные на сокращение собственных расходов станций и увеличение прибыли от перевозок.

Разработке методики имитационного моделирования железнодорожных станций посвящено достаточно большое число научных работ (см., например, [1-3]). Однако, как показывает анализ, в существующих моделях недостаточно внимания уделяется вопросам управления технологическими процессами (ТП) станций. Вместе с тем эффективность функционирования станций в значительной мере зависит от качества оперативного управления, которое осуществляется дис-

петчерским персоналом. В то же время, в существующих моделях станций управленческая деятельность диспетчерского аппарата практически не учитывается, что не обеспечивает их адекватности. Кроме того, используемые в настоящее время методы построения имитационных моделей требуют значительных затрат труда и времени высококвалифицированных программистов и технологов и поэтому эти модели, как правило, недоступны широкому кругу практиков.

Для устранения указанных недостатков предлагается концепция эргатических моделей станций, в которых человек принимает непосредственное участие в процессе моделирования и управляет ТП станции, выполняя функции диспетчера (в дальнейшем – ЧД). При этом одним из основных требований к указанным моделям является простота и универсальность представления исходных данных за счет усложнения внутренней организации моделирующих программных комплексов. Такой подход позволит автоматизировать синтез моделей, что сделает их доступными широкому кругу инженерно-технических работников.

В настоящей статье приведена общая структура эргатической модели железнодорожной станции и методика формализации ТП станций. Кроме того, приводятся результаты использования разработанной эргатической модели парка приема крупной сортировочной станции для исследования и оценки вариантов совершенствования ее конструкции и технического оснащения.

Железнодорожная станция представляет собой сложную систему, состоящую из множества различных элементов, которые в процессе работы тесно взаимо-

действуют друг с другом, оказывая взаимное влияние. Для построения функциональных моделей станций (ФМС) разработаны следующие универсальные модели:

- модель путевого развития станции;
- модель системы станционной автоматики;
- модель технологического процесса станции;
- модель системы оперативного управления работой станции (МСУ);
- информационная модель.

Указанные модели реализованы в виде отдельных модулей, построенных с использованием объектно-ориентированного подхода. Такая организация позволяет унифицировать процесс интегрирования модулей в ФМС для решения задач разного класса. Кроме того, такой подход упрощает синтез моделей конкретных станций, позволяя учесть особенности их технического оснащения и технологии работы. Предлагаемая модульная структура ФМС приведена на рис. 1.

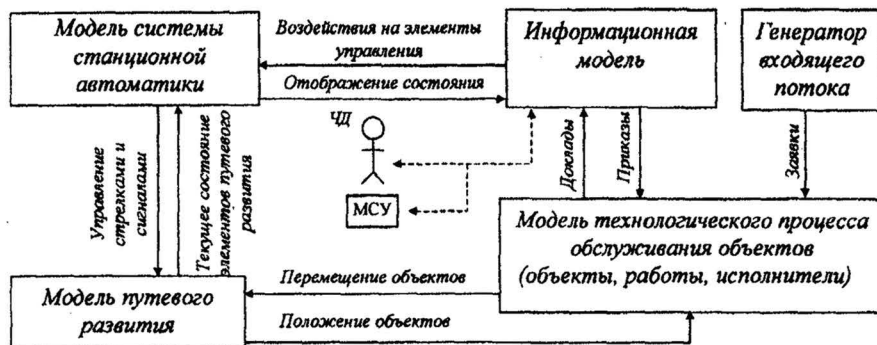


Рисунок 1 – Структура функциональной модели железнодорожной станции

Одной из основных проблем, возникающих при функциональном моделировании станций, является сложность формализации их ТП, которые могут существенно отличаться для различных станций.

В разработанной модели станция или ее отдельный технологический комплекс рассматривается как управляемая многофазная многоканальная СМО. В указанной СМО входящий поток образуют объекты, требующие обслуживания на станции (поезда, составы, локомотивы). Фазами обслуживания являются отдельные технологические операции (закрепление состава, технический осмотр и др.), которые выполняются в определенной последовательности в соответствии с ТП. Продолжительности этих операций моделируются как случайные величины, параметры которых зависят от характеристик объекта. Обслуживающими устройствами являются исполнители технологических операций (маневровые локомотивы, сортировочные горки, бригады ПТО и др.). Дисциплина обслуживания (очередность обработки объектов) устанавливается ЧД или МСУ. Структуры данных, используемых для представления объектов, исполнителей и работ в модели ТП приведены в [4].

Формализация ТП обработки объектов осуществляется с использованием детерминированного конечного автомата (КА), который обеспечивает выполнение с каждым объектом всего комплекса технологических операций в соответствии с их взаимной обусловленностью:

$$A = \{X, Z, S, F_s, F_z\}, \quad (1)$$

где  $X, Z$  – соответственно, входной и выходной алфавиты;  $S$  – множество состояний автомата;  $F_s, F_z$  – функции выходов и переходов.

Входной алфавит  $X$  автомата включает два подмножества входных сигналов:  $X = \{X_1, X_2\}$ ; здесь  $X_1$  – внешние команды, поступающие от ЧД или МСУ для инициализации определенных технологических операций с объектом;  $X_2$  – внутренние сигналы, поступающие от объекта после окончания каждой технологической операции.

Каждому символу  $z_i$  выходного алфавита  $Z$  ставится в соответствие функция  $\Psi_i$ , которая должна быть выполнена ФМС в момент поступления в КА входного сигнала  $x_i$ . Функции  $\Psi_i$  включают наборы команд двух типов  $\Psi_i = \{K_{i1}, K_{i2}\}$ ; здесь  $K_{i1}$  – список команд инициализации отдельных технологических операций с объектом;  $K_{i2}$  – список команд и сообщений, которые должны быть переданы структурным моделям ФМС.

Каждое состояние автомата  $s_q \in S$  соответствует определенному состоянию ТП обслуживания объекта, которое характеризуется завершенностью каждой технологической операции (не может быть начата, может быть начата или выполняется, закончена).

ТП обслуживания отдельного объекта моделируется последовательностью переходов КА из одного состояния в другое, по мере выполнения предусмотренных операций. В начале моделирования ТП обслуживания каждого объекта соответствующий КА находится в исходном состоянии  $s_0$  (автомат является инициальным). После выполнения всех операций, предусмотренных ТП, автомат переходит в конечное состоя-

ние  $s_k$ , после чего соответствующий объект исключается из системы обслуживания.

Функции выходов  $F_j$  и переходов  $F_j$  автомата  $A$  выполняют преобразование входной последовательности сигналов  $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  в соответствующую выходную последовательность  $z_j = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ . Для формализации различных вариантов технологии обслуживания некоторого объекта используются различные входные последовательности  $x_j$ ,  $j = 1 \dots r$ , каждая из которых переводит КА из состояния  $s_0$  в состояние  $s_k$ ; выбор последовательности  $x_j$  осуществляется ЧД.

В результате анализа ТП обслуживания различных объектов на железнодорожных станциях установлено, что таблицы выходов и переходов соответствующих КА являются сильно разреженными. В этой связи для

представления автомата используется ориентированный граф. Для примера на рис. 2 изображен оргграф поведения автомата, моделирующего ТП обслуживания группы местных вагонов в подсистеме расформирования, в процессе которого выполняются следующие технологические операции: 1 – перестановка группы вагонов в парк приема; 2 – закрепление; 3 – отцепка локомотива; 4 – ограждение; 5 – технический осмотр; 6 – коммерческий осмотр; 7 – прицепка локомотива; 8 – уборка башмаков; 9 – надвиг и роспуск. Управление ТП осуществляет ЧД, который для инициализации отдельных операций с объектом подает следующие команды: 101 – «Закрепить состав»; 102 – «Оградить состав»; 103 – «Прицепить локомотив»; 104 – «Надвиг на горку».

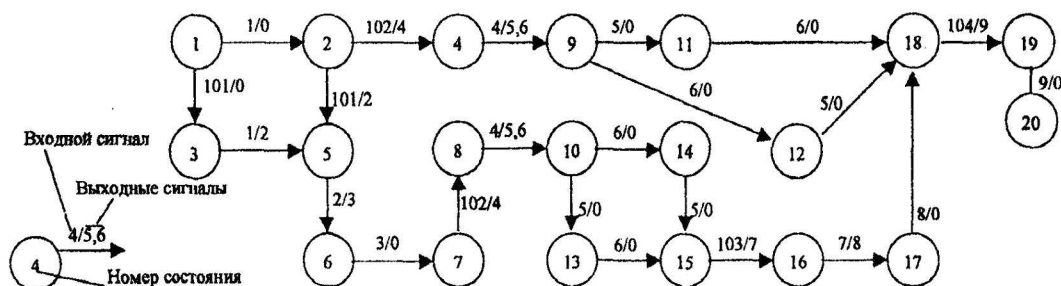


Рисунок 2 – Граф переходов КА для моделирования технологического процесса обслуживания группы местных вагонов в системе расформирования

Вершинам графа поставлены в соответствие состояния автомата 1...20, а дугам – возможные переходы между ними. Дуги графа помечены символами  $x/z$ . Здесь  $x$  – внутренний сигнал от объекта о завершении операции с номером  $x$  ( $x = 1 \dots 9$ ) либо внешняя команда от ЧД ( $x = 101 \dots 104$ ), при которых реализуется представленный дугой переход, а  $z$  – номер операции, выполнение которой должно быть начато при этом.

Начальным является состояние 1, в котором группа местных вагонов находится за пределами парка приема, конечным – состояние 20, в котором вагоны указанной группы направлены на сортировочные пути.

Автомат предусматривает два варианта обслуживания группы: с отцепкой или без отцепки маневрового локомотива при техническом осмотре вагонов. Выбор варианта обслуживания осуществляет ЧД, который в состоянии 2 может подать команду 101 или 102; команды 103, 104 позволяют ЧД управлять очередностью роспуска составов.

Приведенный на рис. 2 граф переходов КА служит основой для формализации ТП обслуживания объекта в ФМС (рис. 3). При этом каждому состоянию КА ставятся в соответствие списки идентификаторов выполняемых операций, занятых и/или выполняющих операций исполнителей и возможных команд ЧД. Исполнителями в данном случае являются: путь приема – ПП, маневровый локомотив – МЛ, сигналист – СИГ, опера-

тор ПТО – ОП, бригада ПТО – ТО, бригада ПКО – КО, сортировочная горка – Г.

Разработанная методика позволяет моделировать ТП станций любого уровня сложности и с любой степенью детализации. При этом использование КА допускает моделирование различных вариантов обслуживания объектов, что обеспечивает существенную гибкость модели. Кроме того, формализация ТП в виде КА делает возможным интерактивное участие человека в процессе моделирования работы станции и позволяет имитировать его взаимодействие с исполнителями технологических операций.

Для апробации предложенной методики моделирования был выбран парк приема «З» станции Нижнеднепровск-Узел Приднепровской железной дороги. В настоящее время станция функционирует в условиях роста объемов работы. При этом входящие поездопотоки станции существенно неравномерны как по объемам, так и по структуре, что вызывает значительные нагрузки на технические средства станции в периоды ступенчатого прибытия поездов. Дополнительные трудности в работе станции возникают из-за несовершенства конструкции входной горловины парка «З» (рис. 4), которая допускает возможность приема поездов со станции Днепропетровск-Южный (ДЮ) только на два пути. Это вызывает задержки приема поездов в периоды увеличения поездопотока на данной линии.

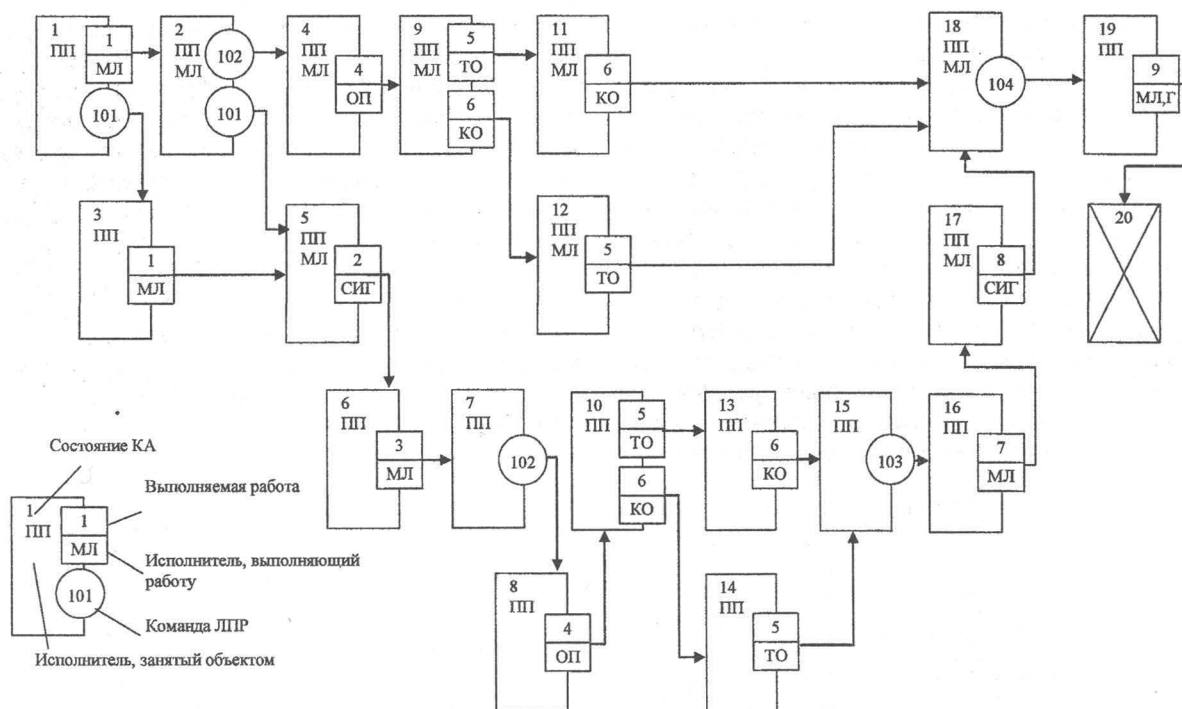


Рисунок 3 – Фрагмент технологического процесса обслуживания местных вагонов в системе расформирования

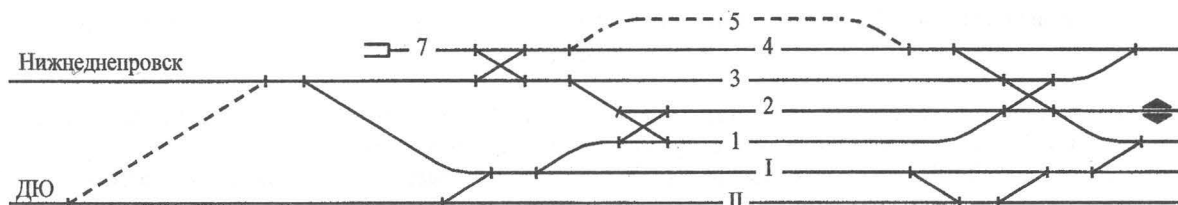


Рисунок 4 – Схема путевого развития парка приема

В этой связи поставлена задача исследования и выбора рационального варианта совершенствования технического оснащения и технологии работы парка «3» в условиях изменения объемов перевозок.

Для построения эргатической модели выполнено комплексное обследование парка приема «3», по результатам которого формализованы его техническое оснащение и ТП, разработана информационная модель парка, получены параметры входящего потока заявок и характеристики времени выполнения отдельных технологических операций. На основании полученных данных была выполнена идентификация модели парка приема.

Оценка адекватности разработанной модели выполнена на основе статистического анализа случайных величин времени нахождения расформируемых составов в парке приема, полученных на станции и в результате моделирования его работы. Проверка гипотезы о принадлежности этих двух выборок к одной генеральной совокупности с помощью критерия Ван дер

Вардена подтвердила адекватность разработанной модели.

Разработанная эргатическая модель парка приема использована для технико-экономической оценки следующих вариантов совершенствования его конструкции и технологии работы:

- восстановление пути в парке;
- реконструкция входной горловины для обеспечения возможности приема поездов со станции ДЮ на все пути парка;
- увеличение числа горочных локомотивов;
- увеличение числа групп осмотровиков вагонов в бригаде ПТО.

Для получения технико-эксплуатационных показателей, характеризующих работу парка была выполнена серия имитационных экспериментов с моделью. Для примера в табл. 1 показана динамика показателей работы станции при изменении числа путей приема и размеров движения  $N_p$ .

Таблиця 1 – Техничко-експлуатаційні показателі роботи станції

Показатель	Число путей	Среднесуточное число поездов			
		10	20	30	40
Средний простой поезда на подходе, мин	4	0,18	0,7	3,1	9,4
	5	0,18	0,2	0,18	0,3
Средний простой состава в парке, мин	4	68,7	72,4	83,4	125,6
	5	68,6	70,4	77,46	105,3
Средний простой поездного локомотива в парке, мин	4	5,2	5,3	5,6	6,4
	5	5,2	5,3	5,5	6,2

Полученные результаты использованы при технико-экономическом сравнении намеченных вариантов. Для примера на рис.5 и 6 показаны зависимости годовых приведенных затрат станции от суточного поступления поездов в расформирование, соответственно, при разном числе путей в парке приема и различных вариантах конструкции входной горловины.

В результате исследований было установлено, что при существующих размерах движения целесообразно восстановить в парке приема пятый путь, иметь один горочный локомотив и три группы в бригаде ПТО. Полученные результаты позволяют также оперативно принимать обоснованные решения по изменению технического оснащения парка при изменениях объемов работы.

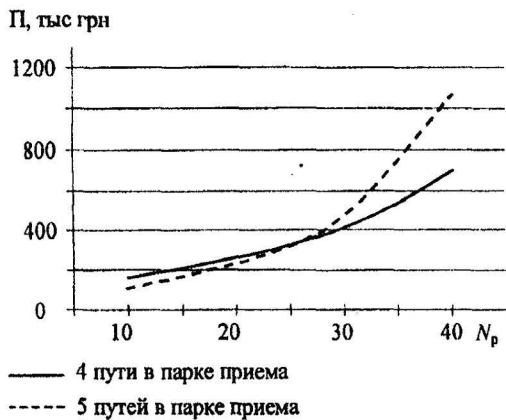


Рисунок 5 – Зависимости приведенных затрат от суточного числа поездов, поступающих в расформирование, при разном числе путей в парке приема

П, тыс грн



Рисунок 6 – Зависимости приведенных затрат от суточного числа поездов, поступающих в расформирование из ДЮ, при различной конструкции входной горловины

Практическое применение разработанной эргатической модели подтвердило ее высокую эффективность при оценке вариантов технико-технологических решений, направленных на совершенствование конструкции и технологии работы станций. В настоящее время разрабатываются программно-инструментальные средства, которые существенно упростят и ускорят тиражирование подобных моделей для станций Украины. Создание такого комплекса моделей позволит решать широкий круг прикладных задач, направленных на совершенствование работы железнодорожных станций.

### Литература

1. Персианов В.А., Скалов К.Ю. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
2. Лецинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. Пер. с польск. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
3. Нагорный Е. В., Алешинский Е.С. Моделирование функционирования комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки" с помощью сетей Петри // Информационно – управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - № 2. - С. 98 - 103.
4. Бобровский В.И., Вернигора Р.В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно - диспетчерского персонала // Математичне моделювання. - 2000. - №2(5). - С. 68 - 71.

Поступила 05.06.2004 г.