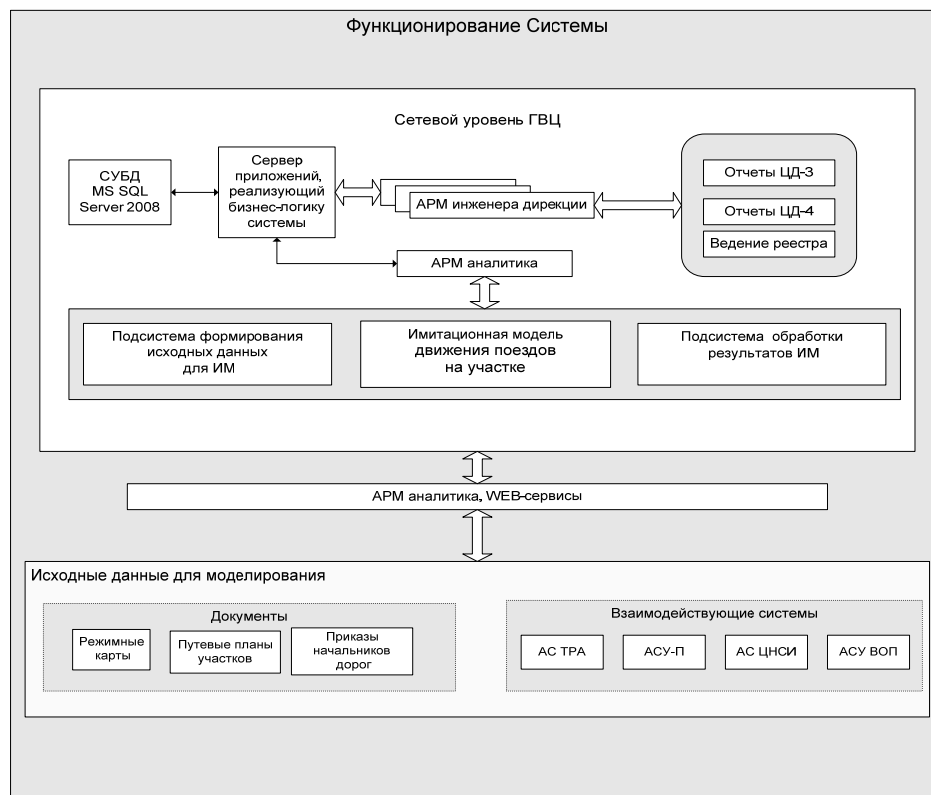


## ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ\*

В. Л. Павлов (Москва)

Расчет пропускной способности участков железных дорог – сложная технологическая задача, в процессе решения которой необходимо учитывать множество факторов. Аналитические методы решения таких задач оказываются не эффективными или могут быть вообще неприменимы. Использование имитационного моделирования обеспечивает получение более точных и объективных оценок пропускной способности. В настоящее время по заказу Департамента информатизации и корпоративных процессов управления ОАО «РЖД» осуществляется разработка автоматизированной системы (АС) оценки пропускной способности железных дорог, в составе которой предусматривается использование имитационных моделей движения поездов. Разработчиком системы определен «Научно-исследовательский и проектно – конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС»), соисполнители – ЗАО «ИнтехГеоТранс» и ООО «Элина-Компьютер».

Функциональная структура АС [1] включает подсистемы формирования исходных данных; имитационного моделирования движения поездов на участке и обработки результатов экспериментов (рис. 1). Указанные подсистемы реализованы программно [2, 3, 4]. Модели движения поездов и основанная на них система обработки информации встраиваются в общую архитектуру информационной системы управления перевозочным процессом в части процедур анализа, прогноза и поддержки принятия решений.



**Рис. 1. Функциональная структура автоматизированной системы**

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект №11-07-13113-офим 2011-РЖД.

Для программной реализации имитационной модели использовалась современная версия языка GPSS – GPSS World [5]. В модели движения поездов двухпутный участок, оснащенный трехзначной автоблокировкой, представляется многофазной системой массового обслуживания (СМО), включающей приборы (блок-участки) и многоканальные устройства (станции), емкость которых соответствует числу приемо-отправочных путей [4]. В реальной системе каждому транзакту соответствует поезд, а под блок-участком понимается часть межстанционного перегона между смежными проходными светофорами (1–2, 6 км). Функционирование модели движения поездов на участке осуществляется путем продвижения динамических элементов (транзактов) от одних блоков GPSS к другим. Пропускная способность участка рассчитывается по разработанной методике (рис. 2). Кроме того, по результатам моделирования определяются дополнительные частные показатели оценки пропускной способности – *коэффициенты загрузки блок-участков* (отношение времени, в течение которого блок-участок занят поездами, к общему времени моделирования) и *количество поездов, прошедших на различные сигналы светофора*. Цель имитационных исследований – комплексная оценка показателей пропускной способности участка.



Рис. 2. Методика оценки пропускной способности участков железных дорог

В формализованном виде *постановка задачи исследования* процесса движения поездов на участке имеет вид:  $S = \langle A, T, T_1, \tau \rightarrow N_{\max}, K, P, R \rangle$ .

Были заданы параметры участка и характеристики движения поездов:

$A$  – множество блок-участков, образующих участок в целом,  $A = \{A_i\}_{i=1}^n$ , где  $n$  – количество блок-участков;

$T$  – время подхода поездов к участку,  $T = t \pm \Delta t$ , где  $t$  – средний интервал времени между поступлением на участок двух, идущих один за другим поездов (транзактов);  $\Delta t$  – отклонение времени прихода поездов от среднего;

$T_1$  – время хода поездов по блок-участкам,  $T_1 = \{T_{1i}\}_{i=1}^n$ ,  $T_{1i}$  – время хода поезда по  $i$ -му блок-участку,  $n$  – количество блок-участков (вычисляется также, как время подхода по среднему времени и отклонению);  $\tau$  – моделируемый период времени;

Требуется определить:

$N_{\max}$  – пропускную способность участка;

$K = \{k_i\}_{i=1}^n$  – коэффициенты загрузки блок-участков;

$P$  – показатель, характеризующий очереди поездов перед блок-участками:

$P = \{P_{\max}, P_{\min}, P_{\text{cur}}\}$ , где  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$ ,  $P_{\text{cur}}$  – максимальное, среднее и текущее число поездов в каждой очереди;

$R = (R1, R2, R3)$  – количество поездов, прошедших на различные сигналы светофора. Единица измерения модельного времени – 1с.

Для реализации целей исследования разработана методика оценки пропускной способности участков (см. рис. 2). Суть методики [4] состоит в последовательном уменьшении межпоездного интервала  $I$  до состояния насыщения участка ( $N_{\text{вых}} < N_{\text{вх}}$ ). В модели такая ситуация фиксируется путем сравнения количества транзактов, поступивших на вход первого блок-участка, с числом транзактов на выходе модели. Когда количество транзактов на выходе модели становится меньше, чем на входе, в программе фиксируется предшествующее значение максимальной пропускной способности –  $N_{\max}$ .

На практике разработанная система применялась при реконструкции участка «Варениковская–Юровский». В частности, рассчитывался участок, состоящий из 16 блок-участков ( $n = 16$ ). Значения времени хода  $T_1$  по блок-участкам приведены в табл. 1, моделируемый период времени составляет одни сутки ( $\tau = 1440$  с).

Таблица 1

Время хода поездов по блок-участкам

Блок-участок	$T_1, \text{с}$	Блок-участок	$T_1, \text{с}$
1	95	9	181
2	141	10	95
3	158	11	76
4	147	12	76
5	147	13	70
6	152	14	70
7	147	15	82
8	135	16	82

Результаты имитационного моделирования движения поездов на участке представлены на рис. 3–5. Зависимость интенсивностей входящего и выходящего потока приведена на рис. 3. Начальный участок этой зависимости может быть аппроксимирован линейной функцией и соответствует положительной реакции участка на возрастание интенсивности входящего потока поездов, т.е. любое увеличение входящего потока приводит к возрастанию выходящего потока. Участок сохраняет положительную реакцию до тех пор, пока не будет достигнуто состояние насыщения поездами. После этого дальнейшее увеличение интенсивности входящего потока поездов практически не приводит к возрастанию выходящего потока. При достижении состояния перенасыщения любое увеличение интенсивности входящего потока поездов сокращает размер выхо-

дящего потока. Таким образом, пропускная способность участка составляет в среднем 128 поездов в сутки (в условных единицах).



Рис. 3. Результаты моделирования, отражающие уровень насыщения участка

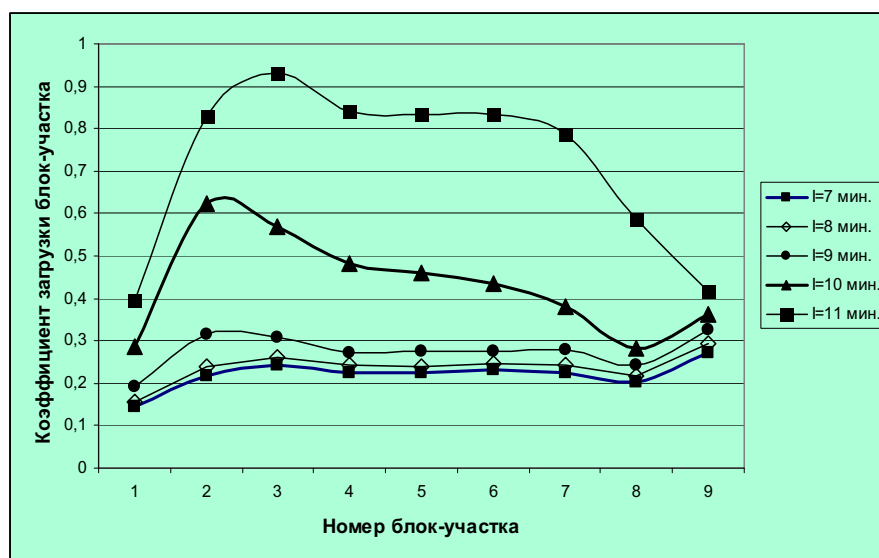


Рис. 4. Результаты моделирования, отражающие загрузку блок-участков

При  $I = 7$  мин коэффициенты загрузки лимитирующих блок участков отражают максимальное насыщение участка (рис. 4). При уменьшении межпоездного интервала возрастает уровень заполнения участка и увеличивается количество поездов, следующих на красный сигнал светофора (рис. 5).

#### Выводы

1. Повышение пропускной способности участка достигается сокращением длины блок участков и переходом к интервальному регулированию движением поездов.
2. Существенное увеличение пропускной способности участка может быть достигнуто за счет повышения участковой скорости движения поездов.

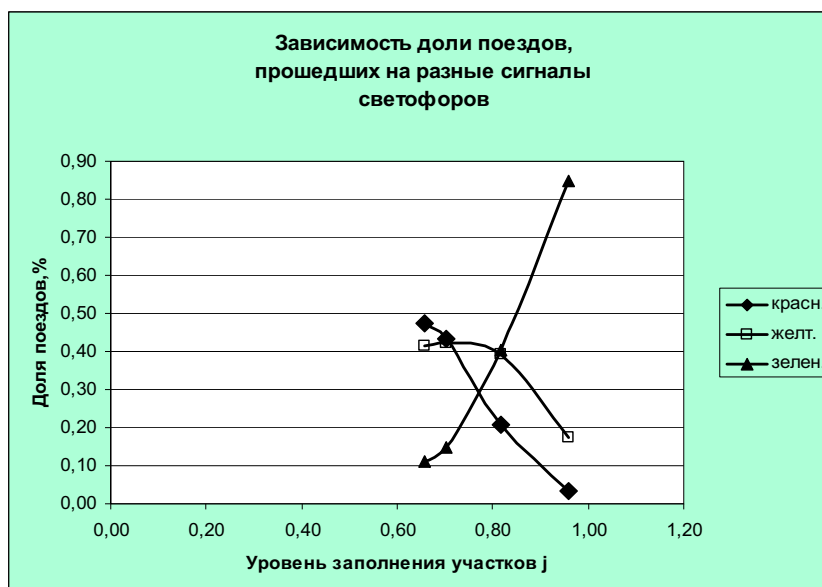


Рис. 5. Исследование движения поездов на различные сигналы светофоров

### Литература

1. Павлов В. Л. Разработка автоматизированной системы оценки пропускной способности участков железных дорог с применением моделирования // Техника и технология. 2010/ № 3.
2. Павлов В. Л. Программный комплекс имитационного моделирования движения поездов на участке железной дороги Сызрань–Сенная // Техника и технология. 2008. № 6.
3. Павлов В. Л., Федотов М. В. Применение методов распределенной обработки данных имитационного моделирования в системах корпоративного управления. //Четвертая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности <<Имитационное моделирование, теория и практика>>.: Сб. докладов. Т. 1. С. 302–305.
4. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог: Монография. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 364 с.
5. Руководство пользователя по GPSS World. Пер. с английского, Казань: Мастер-Лайн, 2002.