

УДК 004.94 + 625.1
ББК 39.275.7

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Павлов В. Л.¹

(ОАО Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва)

Уманский В. И.²

(ЗАО «ИнтехГеоТранс», Москва)

В работе рассматриваются вопросы построения системы поддержки принятия решений по оценке показателей пропускной способности железных дорог на основе имитационной модели движения поездов. Изложены задачи, решаемые системой, разработана структура системы. Приведено описание процесса функционирования системы. Представлен текст программы имитационной модели движения поездов на участке с использованием языка GPSS World, ориентированного на описание дискретно-событийных процессов. Рассмотрены возможности работы с системой с использованием веб-портала. Авторами рассмотрен процесс поэтапной реализации процедуры оценки пропускной способности участков железных дорог. Изложены требования к аппаратно-программному обеспечению, необходимому для работы с системой.

¹ Владимир Леонидович Павлов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (pvl711@mail.ru).

² Владимир Ильич Уманский, кандидат технических наук, директор (umanvi@yandex.ru).

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, имитационное моделирование, дискретно-событийные процессы, пропускная способность железных дорог.

1. Введение

Рассматриваемая в данной работе система поддержки принятия решений (Система) предназначена для информационного и программно-методологического обеспечения процессов оценки показателей пропускных способностей железных дорог.

Примерный перечень классов задач, решаемых с использованием Системы, включает:

- определение перевозочных возможностей железных дорог, что позволит более обоснованно планировать перевозки грузов;
- оценку максимальных размеров движения на участке с целью недопущения перенасыщения;
- рациональный выбор вариантов развития технического оснащения участков;
- динамический анализ и мониторинг «узких мест» по пропускной способности, являющихся предметом контроля со стороны центральной и региональных дирекций управления движением;
- анализ тенденций и закономерностей в динамике контролируемых показателей пропускной способности железных дорог;
- прогнозирование на основе комплекса имитационных моделей показателей пропускных способностей участков железных дорог;
- анализ влияния на пропускную способность железных дорог различных факторов, включающих: профиль пути, путевой план, тяговые характеристики локомотивов; максимально допустимую скорость; ограничения скорости; неравномерность движения поездов по участку; автоблокировку, норму веса и длину поезда, количество станций, а также множество других;
- оценку эффективности принимаемых решений по организации движения поездов;
- автоматизацию процессов подготовки аналитической отчетности;

- ведение базы данных пропускных способностей участков железных дорог;
- визуализацию результатов оценки пропускных способностей;
- определение расстановки проходных светофоров (длин блок-участков), обеспечивающих максимальные размеры движения поездов;
- оценку эффективности организации движения соединенных, тяжеловесных и длинносоставных поездов на участке (влияние на пропускную и провозную способность);
- определение лимитирующих элементов («узких мест» по пропускной способности).

2. Структура Системы

СППР представляет собой распределенную информационно-аналитическую систему, включающую центральный узел (в ГВЦ ОАО «РЖД») и сеть пользователей в центральной и региональных дирекциях управления движением, а также в дорожном центре управления движением (ДЦУП) (рис. 1).

Функциональная структура Системы имеет модульный принцип построения (рис. 2) и включает подсистемы: формирования исходных данных, имитационного моделирования движения поездов, обработки результатов имитационного моделирования, управления базами данных и базами знаний, а также модули, включающие базу моделей, базы данных, базу знаний и модуль организации диалога с пользователем. 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.

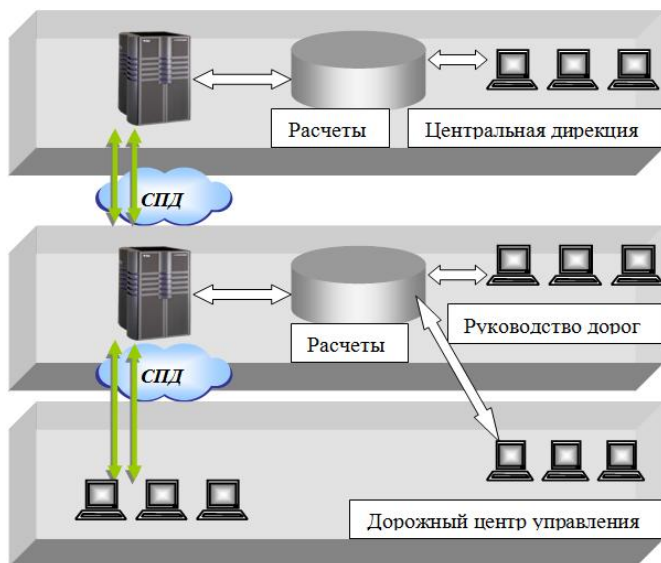


Рис. 1. Схема функционирования СППР

Подсистема формирования исходных данных предназначена для автоматической актуализации (синхронизации) данных для расчетов, ведение которых осуществляется во взаимодействующих АСУ. Процесс синхронизации осуществляется с использованием веб-сервисов. Предусматривается синхронизация по следующим блокам данных:

- продольный профиль;
- тяговые характеристики поездов;
- максимально допустимая скорость движения по участку;
- число станций;
- количество приемо-отправочных путей на станциях и их длины;
- длина перегонов;
- размеры блок-участков;
- размещение светофоров;
- скорость движения на различные показания светофоров;
- ограничения скорости движения.

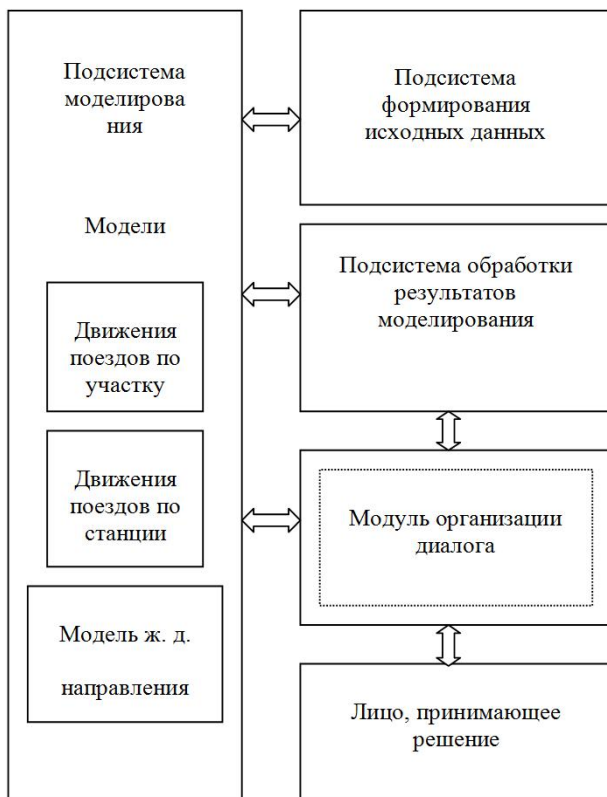


Рис. 2. Структура СППР

Подсистема моделирования включает базу моделей, ориентированных на решение различных комплексов технологических функциональных задач. В частности, для программной реализации имитационной модели движения поездов на участке использовалась современная версия языка GPSS – GPSS World [2, 6]. 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 приемоотправочных путей [1, 2]. 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.

Программный комплекс представляет собой последовательность операторов *GPSS*, отображающую формальное описание логики процесса движения поездов на участке железной дороги при заданном временном интервале. Ниже приведен фрагмент программы модели.

*STORAGE CAPACITY DEFINITION

STAN2 STORAGE 1

*Блок задания начальных значений параметров

INITIAL X1,900; межпоездной интервал 15 мин.;

GENERATE X1,180; поступление поездов на вход
*участка;

SAVEVALUE VHODPOTOK+, 1; общее количество

*поездов, поступивших на вход участка;

*движение поездов по блок участку 1;

QUEUE BU1; очередь поездов к блок-участку;

SEIZE BLU1; занятие блок-участка;

DEPART BU1; выход из очереди;

ADVANCE 641,5; задержка на время движения

*по блок-участку;

RELEASE BLU1

*движение поездов по блок-участку 2;

QUEUE BU2; очередь поездов к блок-участку;

SEIZE BLU2; занятие блок-участка;

DEPART BU2; выход из очереди;

ADVANCE 485,5; задержка на время движения

*по блок-участку;

RELEASE BLU2

*движение поездов по блок-участку 3;

QUEUE BU3; очередь поездов к блок-участку;

SEIZE BLU3; занятие блок-участка;

DEPART BU3; выход из очереди;

ADVANCE 470,5; задержка на время движения

*по блок-участку;

RELEASE BLU3

```
*движение поезда по станции  
GATE NU STAN2  
ENTER STAN2  
ADVANCE 300,300  
LEAVE STAN2  
TERMINATE  
*Период времени 24 часа (87600 сек.);  
GENERATE 87600  
TERMINATE 1  
START 1  
*межпоездной интервал 12 мин.;  
CLEAR  
INITIAL X1,720  
START 1
```

Пропускная способность участка рассчитывается по разработанной методике [1, 5]. Кроме того, по результатам моделирования определяются дополнительные частные показатели оценки пропускной способности – коэффициенты загрузки блок-участков (отношение времени занятия блок-участка поездами к общему времени моделирования) и количество поездов, прошедших на различные сигналы светофора. Цель имитационных исследований – комплексная оценка показателей пропускной способности участка.

Подсистема обработки результатов имитационного моделирования обеспечивает реализацию следующих автоматизируемых функций [4]:

- редактирование отчетов по результатам имитационного моделирования движения поездов;
- создание (импорт), хранение ИМ движения поездов на участке;
- сохранение отчетов моделирования движения поездов в базе данных;
- сохранение отчетов моделирования в виде *XML*-файлов;
- публикация отчетов на веб-узле.

Входящий в состав Системы модуль базы знаний содержит фактическую информацию и обеспечивает реализацию основанных на знаниях правил вывода.

3. Функционирование Системы

СППР обеспечивает реализацию информационной технологии расчета пропускной способности участков железных дорог в виде последовательности информационно-связанных функций, выполняемых в автоматизированном (интерактивном) режиме. С функциональной точки зрения программная реализация системы предоставляет пользователю набор средств и методов для обработки информации, включая средства ввода, отображения, контроля, модификации данных, а также формирования представления, распространения и интерпретации результатов.

Процесс оценки пропускной способности включает ряд этапов. На начальном этапе с использованием веб-сервисов осуществляется доступ к необходимой для расчетов информации, содержащейся во взаимодействующих системах. Для недостающей части исходных данных предусматривается ручной ввод характеристик участка, содержащихся в режимных картах, телеграммах – «натурный лист поезда», путевых планах участков, приказах начальников дорог. Затем с использованием расчетного модуля реализуется подготовка массива исходной информации для его непосредственного включения в модель участка и осуществляется проведение расчетов (серии имитационных экспериментов) в соответствии с заданным моделирующим алгоритмом, отображающим особенности движения поездов на участке. По окончании имитационных экспериментов формируется массив выходных результатов, содержащих сведения о пропускной способности участков железных дорог в виде стандартных отчетов *GPSS*, который предварительно редактируется и сохраняется в базе данных.

По запросу пользователя к базе данных могут формироваться отчеты по формам №3 ЦД, №4 ЦД, содержащим сведения о пропускной способности участков. В системе реализуется возможность вызова различных форм справок по результатам исследований влияния различных факторов на показатели пропускной способности участков. Также предусматривается ведение ведомостей расчета пропускных способностей по перегонам при параллельном и непараллельном графиках.

T_1 – время хода поездов по блок-участкам;

$T_1 = \{T_i\}_{i=1}^n$ – время хода поезда по i -му блок-участку;

n – количество блок-участков (вычисляется так же, как время подхода – по среднему времени и отклонению);

τ – моделируемый период времени.

В свою очередь сервер в ответ присылает пользователю данные по результатам моделирования $\langle N_{max}, K, P, R \rangle$, где

N_{max} – пропускная способность участка;

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

P – показатель, характеризующий очереди поездов перед блок-участками: $P = \{P_{max}, P_{min}, P_{cur}\}$, где P_{max} , P_{min} , P_{cur} – максимальное, среднее и текущее число поездов в каждой очереди;

$R = (R_1, R_2, R_3)$ – количество поездов, прошедших на различные сигналы светофора. Единица измерения модельного времени – 1 с.

4. Аппаратно-программное обеспечение

Для работы с системой необходимо использование программного и аппаратного обеспечения в следующем составе:

1. Персональный компьютер x86 (процессор 2.0 ГГц, ОП – 2048 Мб, жесткий диск не менее 200 Гб).

2. Операционная система *Microsoft Windows XP/VISTA/Windows7*. Наличие веб-браузера (*MS Explorer* или *Netscape Communicator* последних версий).

3. Офисный пакет *Microsoft Office (Word, Excel, Outlook)* версии не ранее 2003 г.

4. Система управления реляционными базами данных (СУБД) *MS SQL Server 2008*.

5. Имитационная система *GPSS World* для моделирования дискретно-событийных процессов (*GPSS World Commercial Version 5.2.0 Copyright 2007. Minuteman Software*), устанавливаемая на АРМ системного аналитика или на сервере приложений.

Прикладное ПО в составе:

1. Подсистема формирования исходных данных, устанавливаемая на АРМ системного аналитика или сервере приложений.
2. Имитационная модели движения поездов на участке. Описание программного комплекса имитационной модели движения поездов на участке приведено в [2]. Программа ИМ устанавливается на АРМ системного аналитика или сервере приложений.
3. Подсистема обработки результатов имитационного моделирования [4], устанавливаемая на АРМ или сервере приложений.

5. Выводы

Создание Системы обеспечивает возможность получения достаточно объективных и обоснованных количественных оценок показателей пропускной способности участков железных дорог исходя из особенностей инфраструктуры, включая такие характеристики участка, как: профиль пути, путевой план, тяговые характеристики локомотивов, максимально допустимые скорости, ограничения скорости, автоблокировку, длины блок-участков и перегонов, длину и вес поездов, число станций и количество приемо-отправочных путей на них, а также ряд других характеристик.

Функциональные характеристики Системы предоставляют пользователю принципиально новые возможности для проведения многофакторного анализа. В частности, пользователи Системы получают удобный инструмент для решения широкого спектра задач, связанных с оценкой влияния факторов на пропускную способность участка и ряд других показателей эксплуатационной работы.

В процессе эксплуатации Системы предусматривается создание централизованного информационного ресурса, содержащего расчетные характеристики пропускных способностей участков на сети железных дорог. Данный информационный ресурс может быть использован при решении комплексов задач, связанных с определением перевозочных возможностей железных дорог в целях обоснования объемов перевозки грузов, оценки максимальных размеров движения для недопущения перенасы-

щения, а также рационального выбора вариантов технического оснащения участков.

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

Литература

1. ЛЕВИН Д.Ю., ПАВЛОВ В.Л. *Расчет и использование пропускной способности железных дорог*. – М., «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 364 с.
2. ПАВЛОВ В.Л. *Программный комплекс имитационного моделирования движения поездов на участке железной дороги Сызрань – Сенная* // Техника и технология. – 2008. – №6. – С. 37–41.
3. ПАВЛОВ В.Л. *Разработка автоматизированной системы оценки пропускной способности участков железных дорог с применением моделирования* // Техника и технология. – 2010. – №3 – С. 34–39.
4. ПАВЛОВ В.Л., ФЕДОТОВ М.В. *Применение методов распределенной обработки данных имитационного моделирования в системах корпоративного управления* // Сборник докладов Четвертой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Имитационное моделирование, теория и практика. – СПб., 2009. – Т.1. – С. 302–305.
5. ПАВЛОВ В.Л. *Применение имитационного моделирования в автоматизированной системе оценки пропускной способности железных дорог* // Сборник докладов Пятой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Имитационное моделирование, теория и практика. – СПб., 2011. – Т.2 – С. 205–209.
6. ДЕВЯТКОВ В.В. *Руководство пользователя по GPSS World*. Пер. с английского. – Казань: Издательство «Мастер-Лайн», 2002. – 272 с.

DESIGN OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR RAILWAY LINES THROUGHPUT ASSESSMENT

Vladimir Pavlov, Institute for Information Technology, Signaling and Telecommunications on Railway Transport (JSC NIIAS), Moscow, Cand. Sc., (pvl711@mail.ru).

Vladimir Umansky, “Intechgeotrans” Joint Stock Company, Moscow, Cand. Sc. (umanvi@yandex.ru).

Abstract: We develop a decision support system for assessment of railway lines throughput on the basis of train movement simulation. We explain DSS functions, structure, typical usage scenarios, and provide the GPSS World (language for discrete-event processes modeling) code of the train movement simulation model. We consider functions of a web-based version of the system, describe details of the railway lines throughput assessment procedure, and explain software and hardware requirements.

Keywords: decision support system, simulation, discrete event process, railway throughput.