

УДК 656.222.3

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Е. А. ФЕДОРОВ, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. Ф. ОВСЯННИКОВ, С. П. АЛЬШЕВСКАЯ, Белорусская железная дорога, г. Минск*

## ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

На Белорусской железной дороге ведется работа по созданию комплексной системы планирования и управления поездной работой (КС УПР БЧ), одной из задач которой является разработка единой системы оперативного планирования поездной работы на полигоне дороги. Отсутствие единой сквозной модели планирования и прогнозирования поездной работы для дорожного, отделенческого и станционного уровней существенно усложняет процесс развития автоматизированной технологии управления. Основной функцией системы является разработка плана поездной работы, включающего в себя график движения поездов, график оборота локомотивов и план работы локомотивных бригад на прогнозный период. Данная система повысит роль графика движения поездов как основного технологического документа, определяющего поездную работу, и сформирует основу для обеспечения оценки качества организации перевозочного процесса на основании динамической модели учета движения поездов по нитке графика.

**М**одель поездообразования на технических станциях железной дороги является основой для формирования плана отправления поездов на установленный текущий период, базирующегося на согласовании процессов накопления, графика движения поездов, наличия локомотивов и локомотивных бригад. При этом задачей является моделирование обработки предъявленного входного потока подвижного состава в соответствии с технологией работы и техническим оснащением станции с минимумом задержек по обслуживанию, а также формирование выходного потока информации о подвижном составе на установленный текущий период.

Входной поток модели поездообразования

$$P^{вх} = \{P_{п}^{вх}; P_{л}^{вх}; P_{м}^{вх}\},$$

где  $P_{п}^{вх}$  – поток прибывающих поездов и одиночных локомотивов (индекс, состав, масса, длина, разложение по формируемым назначениям, прогнозное время прибытия, данные по локомотивам и локомотивным бригадам);  $P_{л}^{вх}$  – поток локомотивов и локомотивных бригад, формируемый по окончании ремонтов и перечислении локомотивов из нерабочего в рабочий парк и по явке локомотивных бригад (время готовности к отправлению каждого локомотива и бригады);  $P_{м}^{вх}$  – поток прибывающих с пунктов производства грузовых операций групп вагонов (состав, масса, длина, разложение по формируемым назначениям, прогнозное время прибытия, данные по маневровому локомотиву).

Выходной поток модели поездообразования

$$P^{вых} = \{P_{п}^{вых}; P_{л}^{вых}; P_{м}^{вых}\},$$

где  $P_{п}^{вых}$  – поток отправляемых с технической станции поездов (индекс, состав, масса, длина, данные о наличии в составе вагонов местной погрузки, прогнозное время отправления, данные о локомотиве и локомотивной бригаде);  $P_{л}^{вых}$  – поток отправляемых резервом локомотивов и бригад (данные о локомотиве и бригаде, прогнозное время отправления);  $P_{м}^{вых}$  – поток отправляемых со станции на пункты производства грузовых операций групп вагонов (состав, масса, длина, прогнозное время отправления, данные по маневровому локомотиву).

Целевая функция модели поездообразования заключается в оптимизации обработки поездо- и вагонопотоков на станции и выражается через минимизацию времени выполнения технологических операций с поездами и вагонами:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n [(t_i^{мод} + t_i^{ож}) - t_i^{план}] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $t_i^{мод}$  – затраты времени на выполнение  $i$ -й технологической операции, используемое в модели поездообразования;  $t_i^{ож}$  – время ожидания выполнения  $i$ -й технологической операции в случае возникновения очереди при выполнении  $i$ -й технологической операции;  $t_i^{план}$  – действующий для

технической станции норматив времени на выполнение  $i$ -й технологической операции.

Планирование поездообразования предполагает определение на плановый период оптимального порядка выполнения множества технологических операций с физическим и информационным потоками:

$$S_{\text{план}} = \|s_{ij}\|, \quad (2)$$

где  $s_{ij}$  –  $i$ -я технологическая операция с  $j$ -м объектом на технической станции в плановом периоде.

Множество  $S_{\text{план}}$  определяется на основании нагрузки на техническую станцию в течение планового периода, принятой технологии работы, технического оснащения станции и может включать:

- прием поезда на станцию;
  - закрепление состава, отцепку и уборку поезда локомотива;
  - обработку поезда по прибытию в техническом отношении;
  - обработку поезда по прибытию в коммерческом отношении;
  - обработку документов на поезд по прибытию в станционном технологическом центре (СТЦ), конторе передач (КП) и др.;
  - маневры по изменению массы (длины) транзитного состава;
  - расформирование состава;
  - окончание формирования состава;
  - перестановку сформированного состава в парк отправления;
  - обработку поезда по отправлению в техническом отношении;
  - обработку поезда по отправлению в коммерческом отношении;
  - обработку поезда по отправлению в СТЦ, КП и др.;
  - выдачу локомотива (закрепление за составом локомотива и локомотивной бригады);
  - подачу вагонов на пункт производства грузовых операций;
  - уборку вагонов с пункта производства грузовых операций.
- Планирование поездной работы на технической станции предполагает решение следующих задач:
- получение и обработка данных прогноза прибытия поездов и передач с пунктов производства местной работы;
  - определение начального состояния системы;
  - моделирование процессов обработки поездо- и вагонопотоков по различным технологиче-

ским каналам, накопления вагонов по назначениям плана формирования;

- разработка выходных форм готовности составов к отправлению;
- определение порядка информационного взаимодействия с дорожными информационными системами;
- хранение, корректировка и представление результатов моделирования.

При решении задачи планирования поездообразования на технической станции необходимо на текущий плановый период установить расчетное время:  $T_1$  – обработки каждого поезда по прибытию,  $T_2$  – расформирования каждого поезда,  $T_3$  – окончания накопления каждого состава,  $T_4$  – окончания формирования каждого состава,  $T_5$  – перестановки на путь отправления,  $T_6$  – обработки каждого состава по отправлению,  $T_7$  – прицепки локомотива к составу,  $T_8$  – заключительных операций перед отправлением поезда. Принципиальная схема функционирования модели поездообразования на технических станциях приведена на рисунке 1.

Состояние технической станции на текущий плановый период описывается рядом последовательно формируемых и упорядоченных по фактору времени массивов информации, характеризующих состояние подвижного состава:

- прогноз прибытия поездов с примыкающих направлений и передач с пунктов производства грузовых операций, упорядоченный по системам переработки на основании индекса поезда  $I_{pi}$  и по времени ожидаемого прибытия на станцию  $t_{\text{приб.}i}^{\text{ож}}$  (массив прогноза прибытия связан с базой информации о составах поездов  $RS$ , хранящейся в поездной модели дорожного уровня):

$$(N_{pi}, I_{pi}, t_{\text{приб.}i}^{\text{ож}}, RS_i);$$

- массив поездов, подлежащих расформированию (с учетом угловых передач и передач с пунктов производства грузовых операций), упорядоченный по возрастанию  $t_{\text{росп.}i}^{\text{гот}}$ :

$$(I_{pi}, t_{\text{росп.}i}^{\text{гот}}, RS_i, g_{\text{пни}});$$

- массив составов своего формирования, упорядоченный по возрастанию расчетного времени окончания накопления  $t_{\text{нак.}i}^{\text{ок}}$ :

$$(S_{Ri}, Q_i, L_i, t_{\text{нак.}i}^{\text{ок}}, g_{\text{снi}});$$

– массив составов, готовых к отправлению (образуется слиянием массивов транзитных составов и составов своего формирования с предварительным определением расчетного времени готовности каждого состава к отправлению  $t_{отпр,i}^{гот}$ ), упорядоченный по возрастанию  $t_{отпр,i}^{гот}$ :

$$(S_{Ri}, Q_i, L_i, t_{отпр,i}^{гот}, g_{poi});$$

– массив поездов, готовых к отправлению (образуется по результатам подвязки локомотивов и бригад к составам, готовым к отправлению), упорядоченный по техническим станциям назначения  $S_{Ri}$ , направлению следования и времени отправления (планируемой нитке графика)  $t_{отпр,i}$ :

$$(N_{pi}, I_{pi}(S_{Fi}, N_i, S_{Ri}), Q_i, L_i, \text{Л}_i, \text{Б}_i, t_{отпр,i}, g_{poi}).$$

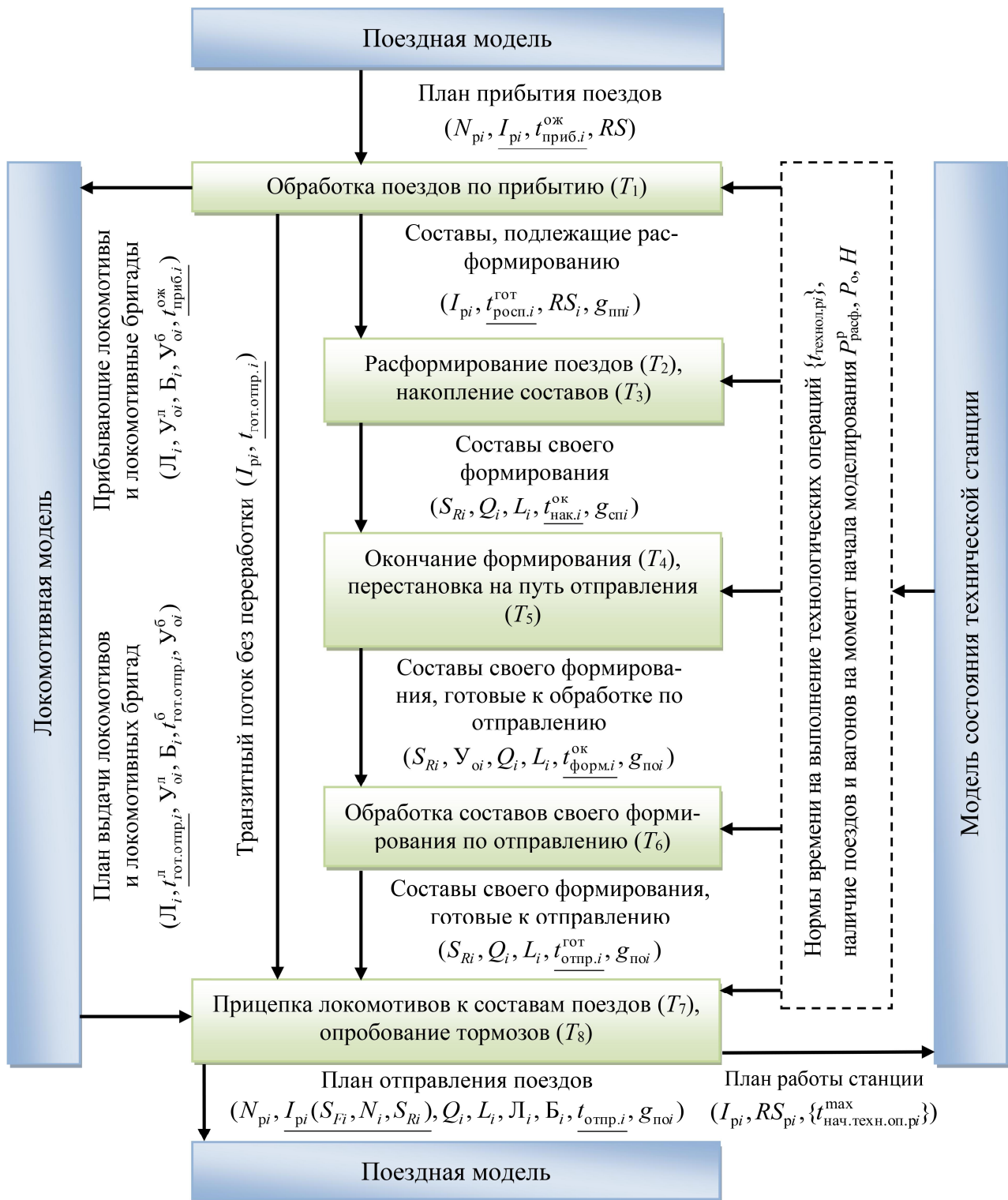


Рисунок 1 – Принципиальная схема функционирования модели поездообразования на технических станциях

В указанных массивах информации  $N_{pi}$  – номер поезда;  $I_{pi}$  – индекс поезда;  $t_{приб.i}^{ож}$  – ожидаемое время прибытия поезда на станцию;  $RS_i$  – информация о составе поезда;  $t_{роsp.i}^{гот}$  – прогнозируемое время готовности к роспуску состава;  $g_{пni}$  – путь приема поезда;  $S_{Ri}$  – код станции расформирования поезда;  $L_i$  – длина состава;  $Q_i$  – масса состава;  $t_{нак.i}^{ок}$  – расчетное время окончания накопления состава;  $g_{cni}$  – путь сортировочного парка, на котором накапливаются вагоны;  $t_{отпр.i}^{гот}$  – расчетное время готовности состава к отправлению;  $g_{поi}$  – путь отправления поезда;  $S_{Fi}$  – код станции формирования поезда;  $N_i$  – порядковый номер поезда, присваиваемый на станции формирования;  $t_{отпр.i}$  – расчетное время готовности поезда к отправлению;  $L_i$  – идентификатор локомотива;  $B_i$  – идентификатор локомотивной бригады.

Включение подвижного состава в формируемые массивы осуществляется по результатам моделирования обработки поездо- и вагонопотоков на технической станции в соответствии с установленной технологией работы и наличным техническим оснащением. Признаком перехода подвижного состава из одного состояния в другое является окончание времени выполнения установленных технологических операций (см. рисунок 1). Основные принципы формирования и упорядочивания описанных массивов информации приведены в [1].

Состояние модели поездообразования в момент начала моделирования  $t_0$  определяется на основании информации о состоянии технической станции и планируемой нагрузки на период разрабатываемого оперативного плана ( $t_0, t_0 + t_{план}$ ). Состояние и нагрузка на момент  $t_0$  определяются на основании динамической модели текущего состояния технической станции, декомпозиция которой предполагает выделение следующих основных элементов:

- план подвода поездов и передач с пунктов производства грузовых операций;
- накопление вагонов в сортировочном парке;
- поезда в парках приема и отправления поездов, транзитных парках;
- вагоны, не организованные в поезда, передачи на (с) пункты местной работы и не участвующие в процессе накопления;

– локомотивы и локомотивные бригады, находящиеся на технической станции и на подходах к станции в пределах полигона сбора информации.

Исходная информация в модели поездообразования представляется в виде массивов данных:

1 Наличие поездов и вагонов на станции и на подходах к ней в пределах полигона планирования:

- поезда, подлежащие расформированию,

$$P_{расф}^p = \{I_{pi}, t_{роsp.i}^{гот}, RS_i, g_{пni}\};$$

- составы, подлежащие отправлению,

$$P_o = \{S_{Ri}, Q_i, L_i, t_{отпр.i}^{гот}, g_{поi}\};$$

- положение сортировочного парка станции

$$H = \{E_i, \sum l_i, \sum q_i^{бр}, g_{cni}\};$$

– план подвода поездов и передач из местных вагонов на период оперативного планирования

$$P_{приб}^p = \{I_{pi}, t_{роsp.i}^{гот}, RS_i, g_{пni}\},$$

где  $E_i$  – специализация пути по назначению плана формирования;  $\sum l_i$  – суммарная длина вагонов  $i$ -го назначения плана формирования;  $\sum q_i^{бр}$  – суммарная масса брутто вагонов  $i$ -го назначения.

2 Информация о локомотивах и локомотивных бригадах:

– наличие на станции на момент  $t_0$  готовых к отправлению локомотивов и бригад

$$Л^c = \{Л_i^c, У_i, t_{гот.i}^л\}, \quad Б^c = \{Б_i^c, У_i, t_{гот.i}^б\};$$

– план ввода локомотивов из резерва (и по окончании ремонтов) и явки бригад

$$Л^b = \{Л_i^b, У_i^b, t_{гот.i}^b\}, \quad Б^a = \{Б_i^a, У_i^a, t_{гот.i}^a\};$$

– информация о порядке использования локомотивов и бригад прибывающих поездов (совмещаемая при подготовке исходных данных с планом подвода поездов  $P^p$ )

$$Л^n = \{N_{pi}, Л_i, У_i\}, \quad Б^a = \{N_{pi}, Б_i, У_i\}$$

где  $У_i$  – участок обращения локомотива (локомотивной бригады);  $t_{гот.i}^л$  – прогнозируемое время готовности локомотива к работе;  $t_{гот.i}^б$  – прогнозируемое время готовности локомотивной бригады к работе;  $t_{гот.i}^b$  – прогнозируемое время ввода локомотива из резерва или по окончании ремонта;  $t_{гот.i}^a$  – прогнозируемое время явки локомотивной бригады.

3 Нормативы и ограничения модели:

– заданный станции план формирования поездов, позволяющий по коду  $s_n$  и  $N_w$  однозначно

отнести вагон к  $i$ -му назначению плана формирования ( $s_{ni}, N_{wi}$ );

– установленные нормы массы и длины состава  $Q_p, L_p$  для всех формируемых назначений ( $Q_{pi}, L_{pi}$ );

– затраты времени на операции технологической обработки поездов и вагонов, определяемые на основании обработки статистической информации ( $t_{Ti}, t_{пTi}^{пто}, t_{пTi}^{пко}, t_{высти}^{по}, t_{поi}^{пто}, t_{поi}^{пко}, t_{пTi}^{пто}, t_{ок.форм.i}$ );

– нормы времени на операции внутростанционного оборота поездных локомотивов и локомотивных бригад ( $U_i, t_{ли}^{об}, t_{би}^{об}$ );

– число путей в приемо-отправочных парках станции и их длина ( $g_{ij}, L_{ij}$ );

– длина каждого пути сортировочного парка, отнесение пути к назначению по плану формирования, вытяжке формирования ( $g_{ij}^{сп}, L_{ij}^{сп}, E_i, N^{выт}$ );

– ограничения емкости и производительности погрузочно-разгрузочных фронтов ( $L_j^{прф}, Q_j^{прф}$ );

– число маневровых локомотивов и их районы работы ( $M_k, R_k$ ),

где  $s_{ni}$  – код станции назначения вагона;  $N_{wi}$  – номер вагона;  $L_{pi}$  – норма длины поезда на  $i$ -м назначении;  $Q_{pi}$  – норма массы поезда на  $i$ -м назначении;  $t_{ли}^{об}$  – норматив времени оборота локомотива на технической станции;  $t_{би}^{об}$  – норматив времени оборота локомотивной бригады на технической станции;  $g_{ij}$  – идентификатор  $i$ -го пути  $j$ -го парка;  $L_{ij}$  – длина  $i$ -го пути  $j$ -го парка;  $E_i$  – отнесение пути к  $i$ -му назначению по плану формирования;  $N^{выт}$  – идентификатор вытяжки формирования;  $L_j^{прф}$  – длина  $j$ -го погрузо-разгрузочного фронта;  $Q_j^{прф}$  – производительность  $j$ -го погрузо-разгрузочного фронта;  $M_k$  – идентификатор  $k$ -го маневрового локомотива;  $R_k$  – район работы  $k$ -го маневрового локомотива.

Модель поездообразования на технической станции является сложной многофазовой с параллельными каналами обслуживания, при разработке которой с целью обеспечения ее достоверности и применения при оперативном планировании накладываются логические условия, например:

– поезда принимаются на свободные пути;

– обработка последующего поезда (состава) технологическим звеном (бригада ПТО, ПКО, технологическое звено технической конторы) начина-

ется не ранее его прибытия, завершения с ним предыдущей последовательной технологической операции и после окончания обработки предыдущего;

– состав может быть расформирован только после завершения обработки по прибытию в соответствии с технологическим процессом;

– специализация путей не изменяется в период оперативного планирования и определяется на момент начала моделирования;

– окончание формирования состава начинается после накопления числа вагонов, удовлетворяющих заданным нормам массы и длины или по достижении установленного момента времени для поезда на «твердую» нитку графика;

– обработка состава своего формирования по отправлению начинается не ранее окончания формирования, после окончания обработки предыдущего состава; окончание обработки определяется технологией производства обработки и числом бригад, закрепленных за составом;

– локомотив и бригада, закрепляемые за составом, должны иметь совпадающие данные по номеру участка, на который отправляется состав;

– подаче на пункты производства грузовых операций подлежат вагоны составов, с которыми выполнено расформирование;

– уборке с пунктов производства грузовых операций подлежат вагоны по истечении установленных нормативов времени на простой под производством грузовой операции.

Анализ возможности практической реализации модели поездообразования на Белорусской железной дороге показал, что целесообразным является размещение ее в рамках информационной аналитической системы поддержки управленческих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП). В процессе ее функционирования должно осуществляться взаимодействие со смежными информационными системами для определения исходного состояния и предоставления результатов моделирования.

#### **Выводы:**

1 Предлагаемая модель поездообразования может быть реализована на основе идентификации поездов, локомотивов, локомотивных бригад на участках и станциях и детализована до уровня отдельных технологических операций, а также использована для разработки детальных планов работы технических станций с последующим контролем их выполнения.

2 Применение системы позволит перейти к оценке качества работы подразделений технических станций по результатам выполнения заданий, установленных планом поездообразования.

3 Получение достоверного прогноза готовности поездов к отправлению с технических станций

на основании модели поездообразования является основой для разработки графика движения поездов на участках.

#### Список литературы

- 1 Буянов, В. А. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – М. : Транспорт, 1984. – 239 с.
- 2 Ерофеев, А. А. Математическая постановка задачи определения оптимального варианта поездообразования на же-

лезнодорожном полигоне / А. А. Ерофеев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта : Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 33–38.

- 3 Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах : учеб. / под ред. В. И. Ковалева, А. Т. Осьмина, Г. М. Грошева. – М. : Маршрут, 2006. – 544 с.

- 4 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

Получено 20.02.2009

**V. G. Kuznechov, E. A. Fedorov, V. F. Ovsjanikov, S. P. Alschevskaja.** The work on creating complex system on planning and ruling over the railway traffic is being carried out on the Belorussian Railway.

Lack of the common through planning and forecasting model of the railway traffic for road, compartment and station level makes the development process of the automatized technology management more complicated. The main aim of the complex system on planning and ruling over the railway traffic is the working out the common plan of the efficient planning system of the railway traffic on the road ground. The main function of the system is the working out of the railway traffic plan including train schedule, the schedule of locomotive turnover, and the plan of the team of locomotive workers for the needed period. This system will raise the role of the schedule in the railway traffic, as the main technological document defining railway traffic and will form the ground for the ensuring of the quality mark of the transporting process on the grounds of the dynamic model of the train calculation on the schedule line.