

УДК 656.22:658.012.2

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; И. А. ВОЙТЕХОВИЧ, первый заместитель начальника службы перевозок Белорусской железной дороги, г. Минск; Т. В. ПИЛЬГУН, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела службы перевозок Белорусской железной дороги, г. Минск*

## МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ЗАДАНИЙ В СУТОЧНОМ ПЛАНЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Эффективность организации перевозочного процесса на железной дороге во многом зависит от адекватности модели оперативного планирования характеристикам транспортной сети и транспортного потока. Детализация модели позволяет повысить точность сменно-суточного плана и более обоснованно планировать работу предприятий железной дороги и использование ресурсов. Рассматриваются параметрические взаимосвязи при расчете показателей эксплуатационной работы железной дороги на плановые сутки, указываются особенности их учета и процедура разработки сменно-суточного плана. Предлагаются методы повышения достоверности исходных данных при планировании и учете перемещения транспортного потока в сети. Представлены основные автоматизированные системы, образующие информационную среду, необходимую для моделирования процесса оперативного планирования поездной работы на железной дороге.

**П**роцедура разработки суточного плана эксплуатационной работы дороги является одной из самых сложных в системе оперативного управления на железной дороге. Это связано с высокой степенью неопределенности изменения величины и направления следования грузо- и вагонопотока на сети дороги, сложности моделирования работы станций, участков железной дороги и получения достоверных результатов моделирования. Поэтому в системе оперативного планирования большую роль играет лицо, разрабатывающее план, его профессионализм, практические умения оценивать оперативную обстановку и принимать решения, адекватные текущей ситуации.

Развитие интегрированной информационно-аналитической системы поддержки управленческих решений грузовыми перевозками позволяет постепенно переходить от экспертных методов планирования к аналитическим (ИАСПУРГП). Для этого необходимо определить макропроцедуры аналитических решений при оперативном планировании и формализовать расчет каждого показателя суточного плана. Задача может быть решена на основе идентификации исходного состояния и прогнозирования его изменения с использованием методов моделирования транспортного потока в сети железной дороги.

Аналитическая модель расчета показателей сменно-суточного плана (ССП) включает области формирования исходных параметров функционирования, расчетных моделей, выходных решений (рисунок 1).

Формирование исходных параметров при разработке СПП осуществляется на основании:

- нормативов эксплуатационной деятельности – технического плана, плана формирования поездов, нормативного (вариантного) графика дви-

жения поездов (в перспективе – актуального графика движения поездов);

- планов образования грузо-, вагоно- и поездопотока – заявок на погрузку вагонов (месяц и сутки), планов: обмена поездов между отделениями, районами управления (РУ); приема поездов по межгосударственным стыковым пунктам; производства работ в «окно»;

- состояния объектов и наличия транспортных ресурсов – наличия парков вагонов и локомотивов, положения эксплуатационной работы на станциях и участках, подхода поездов к техническим и грузовым станциям и с соседних дорог; подхода вагонов с местным грузом на РУ и отделение.

Сменно-суточный план поездной работы для расчетного периода времени (рисунок 2) определяется следующей совокупностью параметров:

$$P_{\text{спп}(i)}(t_n, t_k) = \{ \{ U_{(i)}(t_n, t_k) \}, \\ \{ N_{(i)}(t_n, t_k) \}, \{ M_{(i)}(t_n, t_k) \} \},$$

где  $\{ U_{(i)}(t_n, t_k) \}$  – совокупность параметров, определяющих работу дороги, а также ее объектов (отделений, РУ) по работе с вагонами: погрузка, выгрузка, передача груженых, порожних вагонов и т. п.;  $\{ N_{(i)}(t_n, t_k) \}$  – совокупность параметров, определяющих поездную работу дороги: отправление поездов с технических станций, размеры движения поездов по участкам, передачу поездов по стыковым пунктам;  $\{ M_{(i)}(t_n, t_k) \}$  – совокупность параметров, определяющих обеспечение поездной работы локомотивами на станциях формирования поездов, а также на станциях перецепки локомотивов.

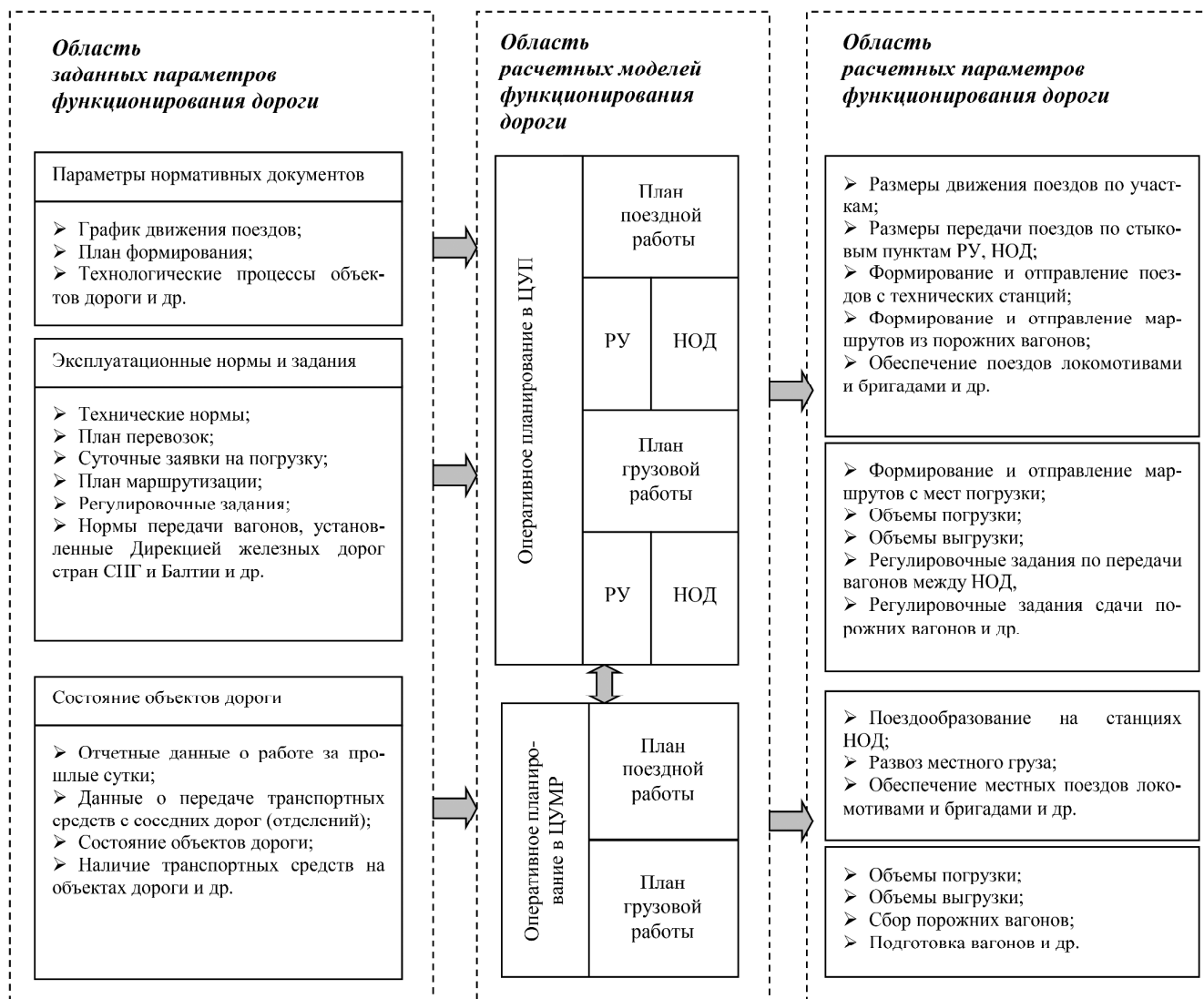


Рисунок 1 – Взаимосвязь предметной области оперативного планирования эксплуатационной работы в ЦУП дороги и ЦУМР отделения дороги

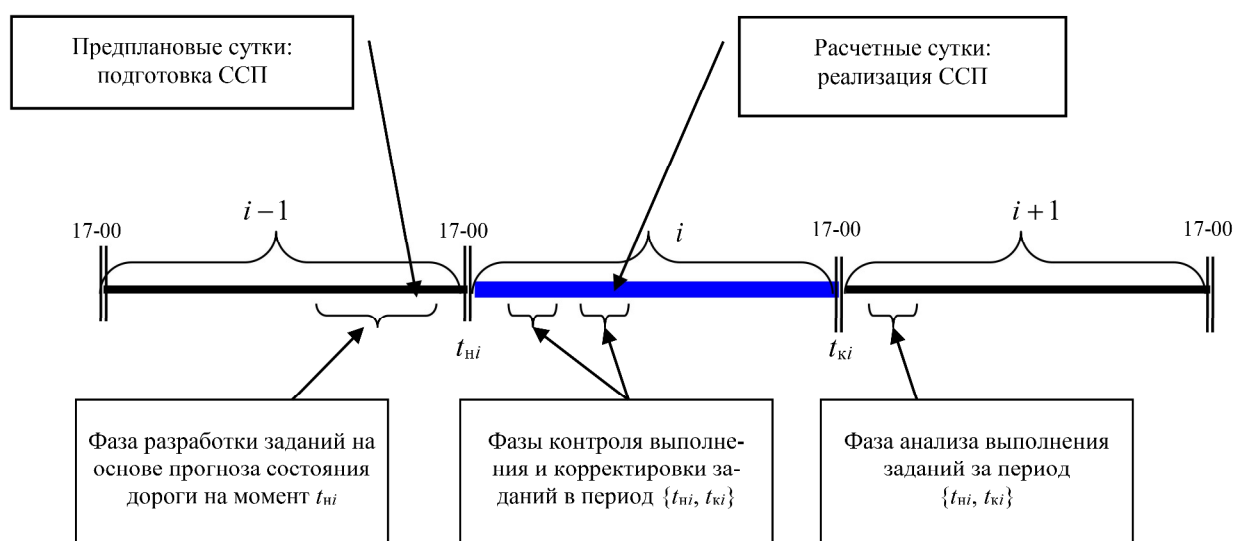


Рисунок 2 – Временные характеристики расчетных суток

Показатели сменно-суточного плана работы дороги и его подразделений (отделений и районов управления) рассчитываются на основе ожидаемого наличия вагонного парка к началу периода планирования –  $i$ -е сутки:

$$R_{\text{тр}(i)}(t_n) = R_{\text{тр}(i-1)}(t_n) + U_{\text{пр.гр.}(i-1)}(t_n, t_k) + U_{\text{выв}(i-1)}(t_n, t_k) - U_{\text{сд.гр}(i-1)}(t_n, t_k),$$

$$R_{\text{м}(i)}(t_n) = R_{\text{м}(i-1)}(t_n) + U_{\text{вв}(i-1)}(t_n, t_k) + U_{\text{мс}(i-1)}(t_n, t_k) - U_{\text{в}(i-1)}(t_n, t_k),$$

$$R_{\text{пор}(i)}(t_n) = R_{\text{пор}(i-1)}(t_n) + U_{\text{пр.пор}(i-1)}(t_n, t_k) + U_{\text{в}(i-1)}(t_n, t_k) - U_{\text{сд.пор}(i-1)}(t_n, t_k),$$

где  $R_{\text{тр}(i-1)}(t_n)$ ,  $R_{\text{м}(i-1)}(t_n)$ ,  $R_{\text{пор}(i-1)}(t_n)$  – фактическое наличие вагонов с транзитным грузом, с местным грузом и порожних на начало  $(i-1)$ -х предплановых суток на полигоне;  $U_{\text{пр.гр.}(i-1)}(t_n, t_k)$ ,  $U_{\text{сд.гр}(i-1)}(t_n, t_k)$  – число груженых вагонов, принятых на полигон и сдаваемых с полигона за  $(i-1)$ -е предплановые сутки (текущие на момент планирования),  $U_{\text{пр.пор.}(i-1)}(t_n, t_k)$ ,  $U_{\text{сд.пор.}(i-1)}(t_n, t_k)$  – число порожних вагонов, принятых на полигон и сдаваемых с полигона за  $(i-1)$ -е предплановые сутки (текущие на момент планирования);  $U_{\text{вв}(i-1)}(t_n, t_k)$ ,  $U_{\text{выв}(i-1)}(t_n, t_k)$  – число груженых вагонов, ввозимых на полигон под выгрузку и вывоз погруженных на полигон вагонов за предплановые сутки (текущие на момент планирования);  $U_{\text{мс}(i-1)}(t_n, t_k)$ ,  $U_{\text{в}(i-1)}(t_n, t_k)$  – погрузка вагонов в местном сообщении на полигоне и выгрузка груженых вагонов на полигоне за  $(i-1)$ -е предплановые сутки (текущие на момент планирования).

На основе ожидаемого наличия вагонов на начало плановых суток определяются основные показатели работы железнодорожного полигона:

– сдача груженых вагонов по стыковым пунктам подразделений:

$$U_{\text{сд.гр}(i)}(t_n, t_k) = \{R_{\text{тр}(i)}(t_n);$$

$$U_{\text{пр.тр.}(i)}(t_n, t_k); U_{\text{выв}(i)}(t_n, t_k)\};$$

– погрузка вагонов на станциях подразделения:

$$U_{\text{п}(i)}(t_n, t_k) = \{U_{\text{з}(i)}(t_n, t_k)\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \{R_{\text{пор}(i)}(t_n); U_{\text{пр.пор.}(i)}(t_n, t_k);$$

$$U_{\text{сд.пор}(i)}(t_n, t_k); U_{\text{в}(i)}(t_n, t_k)\},$$

где  $U_{\text{з}(i)}(t_n, t_k)$  – заявки грузоотправителей на погрузку вагонов на  $i$ -е сутки;

– сдача порожних вагонов по стыковым пунктам подразделений:

$$U_{\text{сд.пор}(i)}(t_n, t_k) = \{R_{\text{пор}(i)}(t_n); U_{\text{пр.пор.}(i)}(t_n, t_k);$$

$$U_{\text{в}(i)}(t_n, t_k); U_{\text{п}(i)}(t_n, t_k); \Delta U_{\text{п}}(t_n, t_k)\},$$

где  $\Delta U_{\text{п}}(t_n, t_k)$  – дополнительное задание на перемещение порожних вагонов для выполнения технических норм передачи порожних вагонов, срочного возврата вагонов, ликвидации избытка вагонов и т. п.;

– выгрузка вагонов на станциях подразделений:

$$U_{\text{в}(i)}(t_n, t_k) = \{R_{\text{м}(i)}(t_n); U_{\text{вв}(i)}(t_n, t_k);$$

$$U_{\text{мс}(i)}(t_n, t_k); \Delta U_{\text{в}}(t_n, t_k)\},$$

где  $\Delta U_{\text{в}}(t_n, t_k)$  – дополнительное задание на выгрузку вагонов, связанных с невыполнением плана выгрузки в предыдущие периоды и превышение нормы рабочего парка вагонов с местным грузом для развоза.

Существенным ограничением на планирование показателей ССП является возможность использования «чужих» вагонов при обеспечении заявок на погрузку. На Белорусской железной дороге по колеям 1520 мм обращаются вагонные парки всех железных дорог стран СНГ и Балтии:

– принадлежности Белорусской железной дороге;

– принадлежности железнодорожным администрациям: наличный, находящийся в распоряжении железнодорожных администраций; наличный, переданных в аренду;

– транспортных операторов (экспедиторских предприятий, грузовых операторов и т. п.): собственный парк; парк, взятый в аренду;

– предприятий: собственный парк; парк, взятый в аренду.

При этом в информационной базе аналитической модели расчета показателей ССП параметры наличия и расчетные показатели  $R_{\text{пор}}(t)$ ,  $R_{\text{м}}(t)$ ,  $U_{\text{пр.пор}}(t)$ ,  $U_{\text{сд.пор}}(t)$ ,  $U_{\text{в}}(t)$ ,  $U_{\text{вв}}(t)$ ,  $U_{\text{мс}}(t)$  должны идентифицироваться по указанным классификационным признакам принадлежности вагона. В алгоритмах расчета модели необходим учет использования этих вагонов на Белорусской железной дороге по времени, а также по отдельным ограничениям их эксплуатации на сети дороги.

Образование вагонопотоков на полигоне дороги, а также получение прогнозов передачи вагонов с взаимодействующих железных дорог позволяет установить параметры объемов движения поездов – отправление поездов со станций формирования, размеры движения поездов по участкам, передачу поездов между районами управления и отделениями, сдачу поездов на взаимодействующие железные дороги. Так, число отправленных

поездов с  $j$ -й технической станции определяется исходя из мощности назначений плана формирования установленной как для самой  $j$ -й станции, так и станций, формирующих транзитные поезда через  $j$ -ю станцию

$$N_j(t_n, t_k) = N_j^{c\Phi}(t_n, t_k) + N_j^{TP}(t_n, t_k),$$

где  $N_j^{c\Phi}(t_n, t_k)$ ,  $N_j^{TP}(t_n, t_k)$  – соответственно планируемое число отправленных поездов своего формирования и транзитных без переработки,

$$N_j^{c\Phi}(t_n, t_k) = \sum_{q=1}^{k_{c\Phi}} N_{jq}^{c\Phi}(t_n, t_k);$$

$$N_j^{TP}(t_n, t_k) = \sum_{p=1}^{k_{TP}} N_{pj}^{TP}(t_n, t_k),$$

где  $p, q$  – станции формирования и расформирования вагонопотока;  $N_{jq}^{c\Phi}(t_n, t_k)$ ,  $N_{pj}^{TP}(t_n, t_k)$  – соответственно планируемое число отправленных поездов своего формирования со станции  $j$  на  $q$ -е назначение и транзитных без переработки через  $j$ -ю станцию назначением  $q$ ;  $k_{c\Phi}$ ,  $k_{TP}$  – соответственно число назначений плана формирования, установленных  $j$ -й станции и станциям, формирующим транзитные назначения через  $j$ -ю станцию.

Планируемые объемы поездной работы по объектам дороги устанавливаются с учетом временных характеристик отправления поездов с технических станций или приема по стыковому пункту, а также моделированием времени проследования по станциям – объектам планирования поездной работы. Так, например, поезд, сформированный на станции района управления и следующий для передачи по стыковому пункту, идентифицируется по времени отправления, проследования по попутным техническим станциям и станции передачи поездов:

$$\text{ПП}_i = \{I_{\text{пп}}(p, q), (s_{p0}, t_{p0}), \dots, \dots, (s_{j0}, t_{j0}), \dots, (s_{q0}, t_{q0})\},$$

где  $I_{\text{пп}}(p, q)$  – индекс поезда в соответствии с назначением плана формирования (без номера состава по порядку);  $(s_{p0}, t_{p0}), \dots, (s_{j0}, t_{j0}), \dots, (s_{q0}, t_{q0})$  – станции и время отправления со станций учета следования поезда.

При планировании размеров движения поездов по участкам и сдачи поездов по стыковым пунктам учитывается временной горизонт подхода поездов со станций формирования или приема по стыковым пунктам, который позволяет идентифицировать момент появления на объекте планиро-

вания и его принадлежность расчетным суткам  $(t_n, t_k)$ .

Эксплуатируемый парк локомотивов грузового движения на расчетные сутки устанавливается исходя из необходимости полного обеспечения поездообразования на станциях. При этом каждый поезд, образующий на станции в расчетный период должен быть обеспечен локомотивами на протяжении поезда-участка  $(p, q)$ :

$$\text{ПП}_i(t_n, t_k) = \sum_{i=1}^{k_y} \text{ПЛ}_{pq}(Y_i, (t_n, t_k)),$$

где  $\text{ПЛ}_{pq}(Y_i, (t_n, t_k))$  – наличие локомотива на станции смены локомотива;  $Y_i$  – участок обращения локомотива на маршруте следования поезда по поезда-участку  $(p, q)$ ;  $k_y$  – число участков обращения локомотивов на поезда-участке.

Потребность эксплуатируемого парка локомотивов устанавливается на каждой  $j$ -й станции формирования (передачи вагонов в межгосударственном сообщении) по поезда-участкам:

$$M_j(t_n, t_k) = \sum_{q=1}^{k_n} \sum_{i=1}^{k_y} M_{jq}(Y_i, (t_n, t_k)),$$

где  $M_{jq}(Y_i, (t_n, t_k))$  – потребный парк локомотивов на  $j$ -й станции по поезда-участку  $(j, q)$ ; устанавливается на основе норм времени обращения локомотива по поезда-участку и плана отправления поездов назначением  $(j, q)$ ;  $k_n$  – число назначений на станции  $j$ .

Потребный парк локомотивов, установленный по станциям на расчетные сутки, суммируется по основному депо, отделениям и району управления, в том числе отдельно по электровозам и тепловозам. Исходя из прогноза о наличии локомотивов эксплуатируемого парка на полигоне дороги на начало плановых суток и потребного количества локомотивов и локомотивных бригад для обеспечения размеров движения поездов на предстоящие сутки, локомотивный диспетчер дороги осуществляет подвозку локомотивов согласно суточному плану работы (в том числе регулирование локомотивного парка).

На основании месячных планов на предоставление «окон» для производства ремонтных и строительно-монтажных работ, а также поданных заявок на технологические «окна» отделом разработки графиков движения поездов и организации «окон» ЦУП составляется план предоставления «окон» на следующие сутки. План согласовывается с руководством причастных служб, утверждается начальником службы перевозок и доводится отделениям дороги, начальникам РУ ЦУП и причастным службам Управления Белорусской же-

лезной дороги до начала времени разработки ССП. Для аналитической модели расчета показателей ССП план предоставления «окон» представляет собой ограничения на пропуск и переработку поездопотока и требует проведения корректирующих действий разработчиком ССП.

Начальник ЦУПа, на основании согласованных параметров суточного плана работы, плана предоставления «окон», плана регулирования локомотивного парка устанавливает задания каждому отделению дороги и району управления с учетом выполнения нормативов технического плана. План проверяется, согласовывается начальником службы перевозок и утверждается первым заместителем начальника дороги.

Исходные для аналитической модели расчета показателей ССП параметры наличия вагонного и локомотивного парков  $R_{\text{гри}}(t_n)$ ,  $R_m(t_n)$ ,  $R_{\text{пор}}(t_n)$ ,  $M_s(t_n)$  к началу периода планирования имеют достаточно высокую степень неопределенности, т. к. базируются на информации, отдаленной от начала расчетного периода в 6 часов. Для железной дороги с постоянной и высокой динамикой изменения состояния большого множества управляемых объектов, вероятностным характером образования в сети вагонопотока по времени устойчивость значений указанных параметров наличия может изменяться.

Повышение надежности расчетных параметров достигается через систему согласований между лицами, занимающимися оперативным планированием перевозочного процесса на различных уровнях управления. Согласование расчетных параметров, установленных для РУ и отделений, производится поэтапно по установленным периодам времени с использованием для общения дорожной селекторной связи и видеоконференции. На основании согласований выполняются корректирующие действия по изменению исходных данных аналитической модели.

Ход выполнения ССП дороги контролируется и дважды в сутки предусматривается его контрольный анализ и корректировка: вечерняя – на основе отчетных данных о работе дороги за прошедшие сутки; утренняя – на основе данных о работе дороги за первую половину суток.

Развитие модели расчета показателей сменного суточного планирования работы дороги от использования статистических коэффициентов к объектно-логистическому, включающему полную идентификацию перемещения транспортного потока по учетным элементам железнодорожной сети во времени, возможно только при автоматизации процесса прогнозирования работы дороги в рамках ИАС ПУР ГП с использованием информации ГИД, АСУ СС и других автоматизированных систем реального времени. При этом в процессе планирования необходимо использование аналитических оценок ведущих специалистов по планированию (заместители начальника ЦУП) к процессам, имеющим высокий уровень неопределенности.

Автоматизация разработки оперативного плана поездной работы Белорусской железной дороги может быть проведена на основе сквозной технологии оперативного планирования, которая включает решение следующих задач (рисунок 3):

- планирование приема поездов с соседних дорог и сдачи своих поездов;
- планирование поездообразования на технических и грузовых станциях;
- планирование продвижения сформированных поездов на участках назначения.

Для решения указанных задач необходима:

- автоматизация сбора информации и отображения поездной ситуации (контроль и отображение состояния устройств СЦБ, отслеживание поездной ситуации, автоматизация задания маршрутов следования поездов, ведение исполненного графика движения и приложений к нему, анализ выполнения графика, слежение за местонахождением и режимом работы локомотивов и локомотивных бригад);

- прогнозирование поездной ситуации на расчетные периоды (построение прогнозного графика движения поездов, выявление затруднений в пропуске поездов и приеме их станциями, обеспечение локомотивами и локомотивными бригадами составов, готовых к отправлению на основе имитационного моделирования поездной работы);

- автоматизация принятия решений по недопущению затруднений в поездной работе, оптимизация регулировочных мер и систем поддержки принятия решения (автоматизированная выдача оперативных рекомендаций по вводу поездов в график движения, оптимальному пропуску поездов на железнодорожных участках и поездоучастках, регулировочных мер по недопущению или ликвидации затруднений в пропуске поездов).

Реализация сквозной системы планирования поездной работы возможна на основе интеграции в единый комплекс информационных подсистем следующих моделей:

- 1) дислокации грузо-, вагоно- и поездопотоков на станциях и участках дороги;
- 2) составообразования по назначениям плана формирования (ПФ);
- 3) дислокации локомотивов на участках обращения;
- 4) подвязки локомотивов к поездам в пунктах оборота и станций назначения следования поездов;
- 5) подвязки составов по техническим станциям к ниткам графика движения поездов (ГДП) на основе сквозного пропуска по поездо-участкам;
- 6) расчета и согласования показателей ССП;
- 7) формирования единых выходных форм для оперативных работников линейного (станционного), отделенческого и дорожного уровней железной дороги;
- 8) корректировки назначений ПФ в оперативном режиме.

В рамках создания комплексной системы управления поездной работой на дороге проводится разработка первой очереди автоматизированных подсистем:

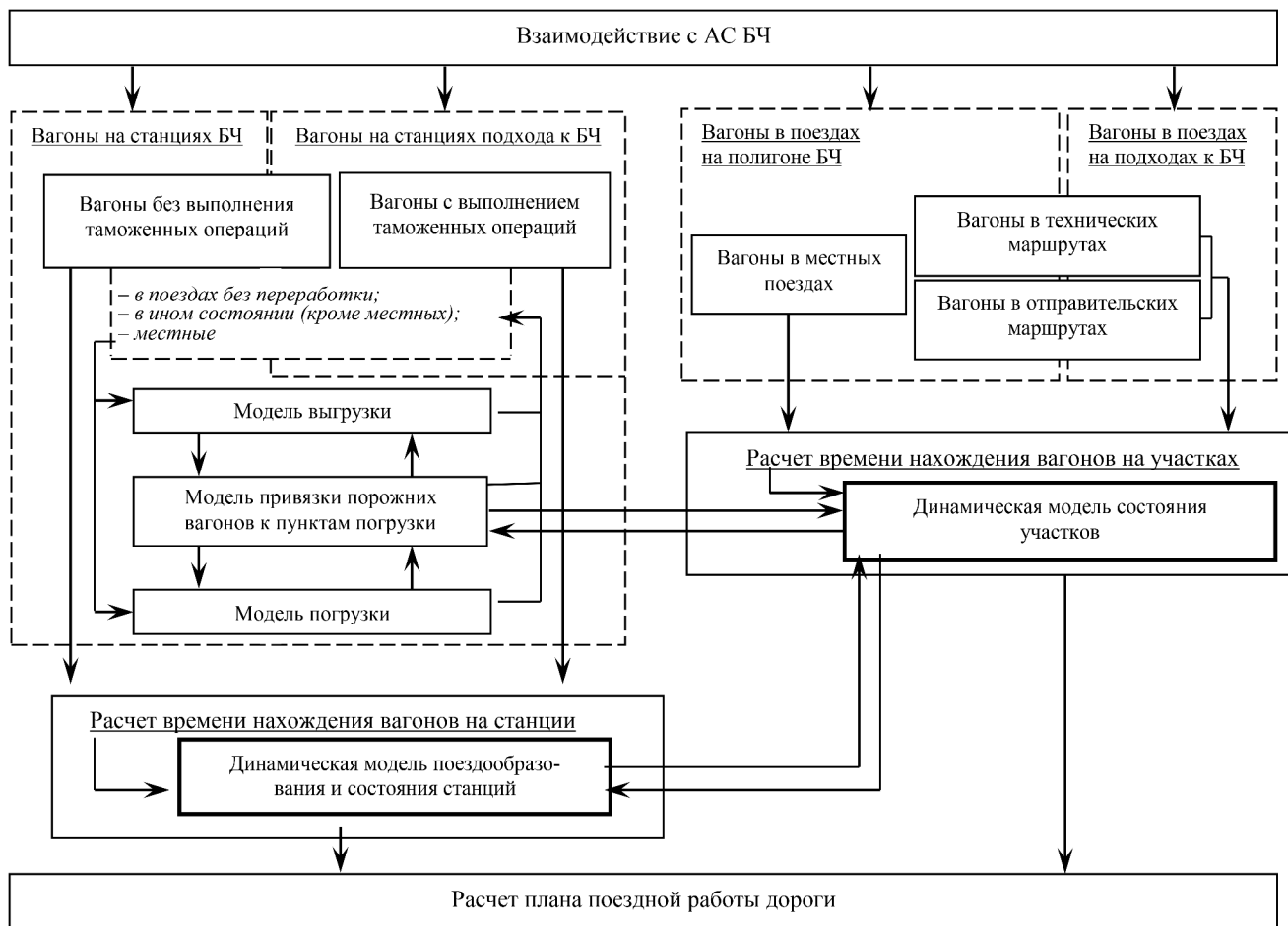


Рисунок 3 – Взаимосвязь между основными процессами в системе расчета плана поездной работы на железнодорожном полигоне

- организации и планирования «окон» (АС «Окна»);
- увязки состава образования на технических станциях с прогнозным графиком движения на железнодорожных участках (АС УСОГДП);
- разработки прогнозного графика движения поездов (АС ПГДП).

Данные подсистемы позволяют учитывать в процессе планирования актуальное состояние станций и участков, образование поездопотока и его пропуск в сети железной дороги. Их реализация на Белорусской железной дороге позволит иметь основную часть информационного обеспечения, необходимую для планирования поездной работы.

Дальнейшее повышение достоверности сменно-суточного планирования эксплуатационной

работы дороги связано с созданием интегрированной системы сбора и обработки заявок грузоотправителей, функционирования модели отправок в реальном масштабе времени и ее увязка с системой регулирования парка порожних вагонов. Наличие такой информационной среды позволяет разрабатывать достоверные планы погрузки вагонов.

#### Список литературы

- 1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.
- 2 Комплекс прикладных программ для разработки графика движения поездов / В. Г. Кузнецов [и др.]. – Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 4. – С. 25–31.

Получено 20.10.2010

**V. G. Kuznetsov, I. A. Vojtechovich, T. V. Pilgun.** Model of working out of tasks in the daily plan of operational work of the Belarus railway.

The efficiency of the organization of transportation process on the railway depends on adequacy of model of operational planning in many respects to characteristics of a transport network and a transport stream. Model detailed elaboration allows to raise accuracy of the daily plan and to plan work of the railway's enterprises and use the resources more exact. Parametrical interrelations are considered during the calculation of indicators of operational work of the railway for planned days, features of their account and procedure of working out of the planned daily plan are specified. Methods of increase of reliability of the initial data are offered at planning and the account of moving of a transport stream in a network. The basic automated systems, that form the information environment, and that is necessary for modeling of process of operational planning of train work on the railway are presented.