

УДК 656.2.004

О. А. ТЕРЕЩЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕСТНОЙ РАБОТОЙ

Представлены теоретические основы создания информационных моделей местной работы, направленных на обеспечение необходимой детализации транспортной технологии в режиме реального времени на основе процессно-объектного подхода к отображению состояний перевозочного процесса. Приведена структура потребной информационной базы для полной идентификации подвижного состава одновременно по технологическому состоянию и дислокации на железнодорожном полигоне. Представлен алгоритм решения задачи идентификации технологических операций, выполняемых в местной работе, и текущей дислокации подвижного состава на основе предложенной модели. Даны рекомендации по практической реализации разработок в составе информационно-управляющей системы центра управления местной работой.

Повышение уровня цифровизации перевозочного процесса и создание необходимых условий для полномасштабного внедрения интеллектуальной системы управления перевозками требуют разработки специальных информационных моделей, которые должны обеспечивать [5, 7]:

- потребный уровень детализации транспортной технологии для обеспечения учета возможных (допустимых) сценариев реализации перевозочного процесса;
- единый процессно-объектный подход к отображению состояний перевозочного процесса (текущего, ретроспективного, прогнозного);
- информационное отображение выполнения операций перевозочного процесса в режиме реального времени (с допустимым запаздыванием по ответственным операциям не более 1 мин);
- наличие единых источников для каждого вида исходных данных;
- внутреннюю непротиворечивость и однозначную интерпретацию выходной информации.

Решение поставленных задач в сфере управления местной работой сопряжено с дополнительными трудностями, обусловленными воздействием внешних факторов. Это результат непосредственного взаимодействия перевозчиков, клиентов, операторов инфраструктуры и других участников перевозочного процесса.

Местная работа включает в себя комплекс операций по доставке вагонов в поездах на станции выполнения грузовых операций, обеспечению станций погрузки порожними вагонами, выполнению погрузки и выгрузки вагонов, обеспечению своевременного отправления вагонов после завершения грузовых операций. В результате проведенного анализа установлено, что:

- в системе управления перевозками отсутствует детализированная модель инфраструктуры станций, мест общего и необщего пользования; это не позволяет достоверно контролировать перевозочный процесс на всех фазах его реализации;
- в системе управления перевозками отсутствуют сведения о дислокации подвижного состава в режиме реального времени, что затрудняет решение задач оперативного планирования местной работы с высоким уровнем достоверности;
- решение задач организации и управления местной работой на полигоне железной дороги осуществляется со значительной долей экспертных оценок в процессе принятия управленческих решений.

Повышение уровня управляемости перевозочного процесса в указанных условиях может быть осуществлено за счет [2, 4–6]:

- разработки и внедрения алгоритмов динамического прогнозирования времени подхода грузовых поездов всех категорий к техническим станциям в районе местной работы;
- разработки и внедрения алгоритмов динамического прогнозирования времени завершения грузовых операций с вагонами в районе местной работы на местах общего и необщего пользования;
- создания динамической модели перевозочного процесса, позволяющей пооперационно и пообъектно моделировать обслуживание транспортного потока в режиме реального времени и получать более детальные и точные результаты оперативного планирования местной работы на объектах управления;
- осуществления точного динамического позиционирования в режиме реального времени подвижного состава на инфраструктуре станций, перегонов, мест общего и необщего пользования.

Решение приведенных задач является основой для создания эффективной технологии управления местной работой, а также для реализации контрольных функций в процессе текущей и итоговой оценки параметров и показателей перевозочного процесса.

Прогнозирование времени подхода грузовых поездов к техническим станциям и времени завершения грузовых операций с вагонами предлагается осуществлять на основе специально разработанной динамической модели перевозочного процесса, которая позволяет применить новый подход в оперативном планировании местной работы [4, 5].

В модели идентифицированы, классифицированы и представлены в формализованном виде инфраструктурные и динамические объекты железнодорожного транспорта, что обеспечивает пооперационное моделирование обслуживания транспортного потока в режиме реального времени и получение более детальных и точных результатов оперативного планирования местной работы на объектах управления. Динамическая модель позволяет алгоритмизировать задачи оперативного планирования, решаемые в режиме реального времени. Она может быть принята в качестве основы развития информационно-аналитических систем, что обеспечит улучшение результатов оперативного планирования и управления.

Объектами динамической модели перевозочного процесса являются [4]: 1) объекты инфраструктуры: перегоны, станции и их подсистемы; 2) динамические объекты: вагонный парк, грузы, локомотивный парк, вспомогательные объекты.

Информационная и технологическая составляющая динамической модели сформирована в виде модели местной работы. В ней каждый модуль рассматривается как система двух параллельных процессов: а) обработки вагонопотока; б) оперативного управления, включающего обработку документов и информационных потоков.

В результате проведенных исследований установлено, что совокупное влияние случайных факторов при моделировании местной работы может быть описано функциями плотности распределения вероятности остатков прогноза времени прибытия вагонов на техническую станцию и времени завершения выполнения с вагонами грузовых операций [5, 6].

Выполняемые с вагонами операции в модели предлагается представлять в виде последовательной структуры. В ней цепи операций, выполняемых по мере поступления вагонов в канал обслуживания, разделены операциями, выполняемыми по расписанию. При этом для каждого момента расписания формируется нечеткое множество из числа готовых к обработке вагонов и набора ограничений, которыми выступают допустимая длина железнодорожного состава и его допустимая масса.

Оперативный прогноз перевозочного процесса составляется в виде расписания с указанием в нем для каждой операции возможных моментов начала выполнения и нечетких множеств готовых к обработке вагонов.

При решении задачи оперативного планирования (на основе выполненного прогноза) производится анализ нечетких множеств [3, 6]:

- определяется математическое ожидание числа вагонов, готовых к обработке для каждого момента расписания (основа для составления оперативного плана);
- формируются альфа-срезы нечетких множеств (оценка устойчивости числа накопленных вагонов).

Технологические риски для оперативного плана оцениваются расчетом [1]:

- вероятности нарушения для вагона предельно допустимого времени нахождения в технологической це-

пи, что может повлечь нарушение срока доставки груза;

- вероятности нарушения ограничений для операций, выполняемых по расписанию. В результате могут наблюдаться необоснованные простои вагонов, нерациональное использование производственных ресурсов.

Оперативный анализ перевозочного процесса предлагается выполнять на основе предложенной модели накопления вагонов, учитывающей вероятностный характер поступления вагонов в накопление. Модель имеет три составляющие, каждая из которых адаптирована к параметрам неопределенности информации о поступлении вагонов в накопление.

При решении задач организации перевозочного процесса в районе местной работы необходимо использовать преимущества, предоставляемые технологиями GPS и цифровой инфраструктуры. Это позволит:

- производить автоматическую регистрацию событий, связанных с выполнением операций технологического процесса;
- обеспечить представленную динамическую модель информацией с привязкой в режиме реального времени к установленным точкам контроля;
- обеспечить ведение детализированной вагонной и локомотивной моделей местной работы в режиме реального времени.

Геопозиционирование предлагается осуществлять только для тягового подвижного состава. Результаты его позиционирования предлагается сопоставлять с моделями автоматизированной системы управления станцией (АСУС), информационно-аналитической системы поддержки управленческих решений в грузовых перевозках (ИАС ПУРГП) и системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов (МПЦ), что позволит:

- однозначно идентифицировать нахождение подвижного состава на одном из параллельных путей, решив задачу ликвидации погрешности позиционирования;
- обеспечить точное позиционирование вагонов только за счет привязки их к локомотиву в маневровом составе (без оборудования вагонов датчиками).

Схематическое изображение маневровой операции, выполняемой в местной работе, и сопутствующих информационных и технологических процессов представлено на рисунке 1.

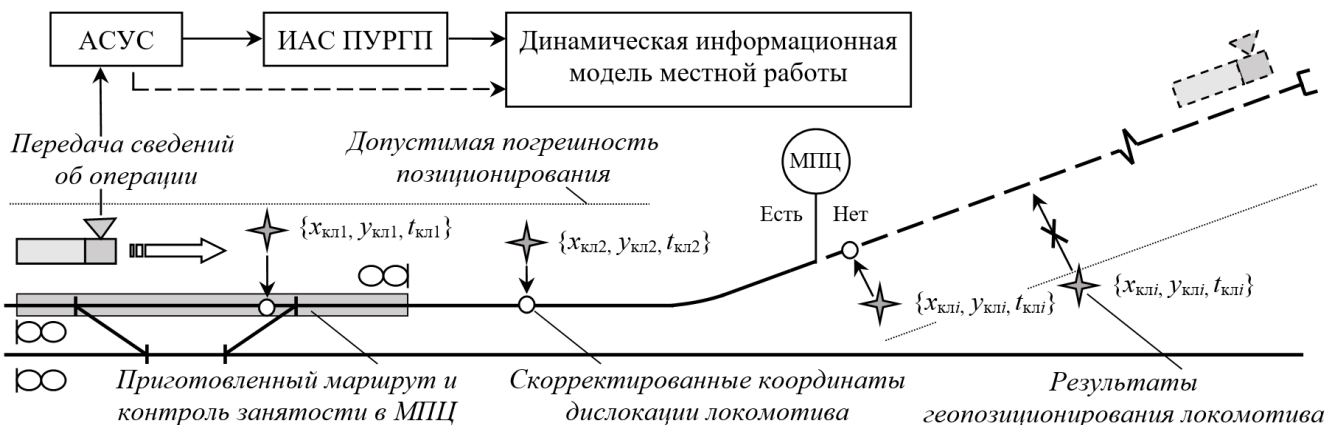


Рисунок 1 – Схема выполнения маневровой операции во взаимосвязи с сопутствующими информационными и технологическими процессами

Потребная информационная база для полной идентификации подвижного состава одновременно по технологическому состоянию и дислокации на железнодорожном полигоне (включая места общего и необщего пользования) содержит:

1) перечень выполненных операций для каждого i -го маневрового локомотива, применяемого в местной работе:

$$O_{li}(t) = \begin{vmatrix} o_{l1} & o_{l2} & \dots & o_{ln} \\ t_{l1} & t_{l2} & \dots & t_{ln} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где o_{lj} – технологический признак (идентификатор) j -й выполненной с маневровым локомотивом операции; t_{lj} – момент времени завершения выполнения с маневровым локомотивом j -й операции;

2) перечень выполненных операций для каждого i -го вагона (маневрового состава, состава поезда, поезда), участвующего в местной работе:

$$O_{vi}(t) = \begin{vmatrix} o_{v1} & o_{v2} & \dots & o_{vm} \\ t_{v1} & t_{v2} & \dots & t_{vm} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где o_{vj} – технологический признак (идентификатор) j -й выполненной с вагоном (маневровым составом, составом поезда, поездом) операции; t_{vj} – момент времени завершения выполнения с вагоном (маневровым составом, составом поезда, поездом) j -й операции;

3) сведения о подготовленных маршрутах в МПЦ:

$$E_{mi}(t) = \begin{vmatrix} \bigcup_{k1} sig_{1k1} & \bigcup_{k2} sig_{2k2} & \dots & \bigcup_{kn} sig_{pkn} \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mp} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где $\bigcup_j sig_{1j}$ – перечень светофоров (в точной последовательности), входящих в j -й подготовленный в МПЦ маршрут; t_{mj} – момент времени завершения приготовления j -го маршрута в МПЦ;

4) сведения о занятости путей и стрелочных секций в МПЦ:

$$E_{si}(t) = \begin{vmatrix} sek_{s1} & sek_{s2} & \dots & sek_{sq} \\ t_{s1} & t_{s2} & \dots & t_{sq} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где sek_{sj} – идентификатор (номер) j -го занятого в МПЦ пути, секции пути или стрелочной секции; t_{sj} – момент времени занятия j -го пути, секции пути или стрелочной секции в МПЦ;

5) данные о геолокации маневровых локомотивов, применяемых в местной работе:

$$K_{li}(t) = \begin{vmatrix} x_{кл1} & x_{кл2} & \dots & x_{клr} \\ y_{кл1} & y_{кл2} & \dots & y_{клr} \\ t_{кл1} & t_{кл2} & \dots & t_{клr} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где $x_{клj}$ – абсцисса в выбранной системе координат, соответствующая дислокации маневрового локомотива в j -й момент времени $t_{клj}$; $y_{клj}$ – ордината в выбранной системе координат, соответствующая дислокации маневрового локомотива в j -й момент времени $t_{клj}$.

Подходы к решению задачи совместной идентификации операций, выполняемых в местной работе, и дислокации подвижного состава представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Алгоритм решения задачи идентификации выполняемых операций во взаимосвязи с дислокацией подвижного состава

Процесс идентификации основан на сопоставлении данных $K_{li}(t)$, $O_{li}(t)$, $O_{vi}(t)$, $E_{mi}(t)$, $E_{si}(t)$ с применением нормативно-справочной информации и шаблонов, включающих:

- топологию объектов инфраструктуры и таблицы взаимной принадлежности их элементов (пересечения подмножеств);
- таблицы соответствия операций объектам инфраструктуры (все возможные варианты занятия объектов);
- геометрические и эксплуатационные характеристики подвижного состава.

Комплексная реализация и внедрение предложенных решений предполагает создание информационно-управляющей системы центра управления местной работой (ИУС ЦУМР). Предлагаемое место ИУС ЦУМР в существующей информационной среде Белорусской железной дороги представлено на рисунке 3.

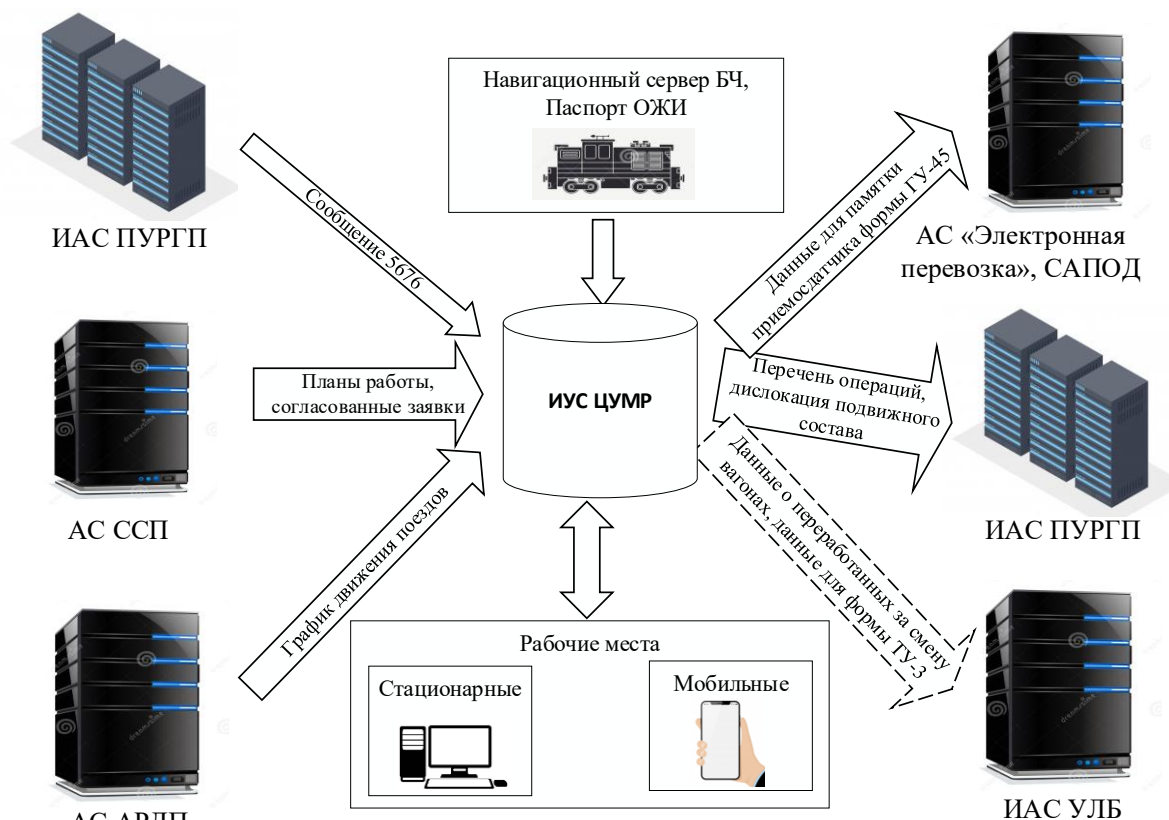


Рисунок 3 – Схема информационного взаимодействия в процессе функционирования ИУС ЦУМР

Разрабатываемая ИУС ЦУМР должна отвечать следующим требованиям и критериям:

- создаваться согласно архитектуре «тонкий клиент – сервер»;
- проектироваться как масштабируемая и расширяемая система с возможностью последующего развития имеющегося функционала;
- использовать для функционирования общесистемные справочники ИАС ПУРГП;
- предусматривать однократный ввод информации и последующее ее многократное использование;
- предоставлять возможность пользователям формировать необходимые аналитические решения.

Критерием оценки эффективности внедрения ИУС ЦУМР может служить снижение:

- потребности в перевозочных ресурсах (уменьшение эксплуатируемого количества локомотивов и парка грузовых вагонов) за счет оптимизации их использования;
- эксплуатационных расходов, связанных с содержанием парка локомотивов и грузовых вагонов, организацией маневровой работы и движения местных поездов.

При создании ИУС ЦУМР также следует учитывать необходимость:

- достижения приемлемого уровня экономической эффективности инвестиционного проекта с учетом финансово-экономического положения Белорусской железной дороги;
- обеспечения приемлемых сроков создания и внедрения программного обеспечения во взаимосвязи с комплексом необходимых технических средств;
- обеспечения соответствия заявленных требований к ИУС ЦУМР результатам ее разработки.

В структуре ИУС ЦУМР должна быть предусмотрена реализация:

- 1) подсистемы «Информационное обеспечение и взаимодействие», предназначенной для решения задач:
 - сбора и анализа данных из информационных систем и систем геопозиционирования;
 - передачи данных во взаимодействующие информационные системы;
- 2) подсистемы «Динамический контроль состояния», обеспечивающей ведение пообъектной динамической модели дислокации и состояния подвижного состава, объектов железнодорожной инфраструктуры, мест общего и необщего пользования (рисунок 4);



Рисунок 4 – Визуализация элементов пообъектной динамической модели дислокации и состояния подвижного состава

3) подсистемы «Планирование и управление», предназначенной для решения следующих задач:

- автоматического формирования планов грузовой работы, доставки вагонов с местным грузом, маневровой работы, качественных и количественных показателей работы станций и полигона управления ЦУМР;

- формирования пользователями заданий на производство подач и уборок вагонов с мест общего и необщего пользования, а также для автоматического слежения за ходом их исполнения;

4) подсистемы «Учет и анализ», обеспечивающей выполнение функций:

- по автоматическому сбору данных о результатах грузовой работы на полигоне управления ЦУМР;
- автоматическому учету показателей использования маневровых локомотивов;

- автоматическому получению, обработке и анализу информации о составах прибывающих поездов с местным грузом;

- автоматическому формированию анализа планов грузовой работы, маневровой работы, доставки местного груза;

5) подсистемы «Исполнительские процессы и математическое обеспечение», предназначенной:

- для верификации и валидации информации;
- обеспечения реализации необходимых процессов в управлении местной работой с учетом пользовательских прав, функциональных ролей и текущего технологического состояния объектов управления;

6) подсистемы «Доступ и авторизация», предназначенной для обеспечения:

- авторизации и аутентификации пользователей в системе;

- доступа к информации на трех уровнях: 1) администратор (полный доступ с правами администрирования базы данных и учетных данных пользователей); 2) пользователь с уровнем доступа, который позволяет вносить изменения в параметры работы системы; 3) пользователь без права внесения изменений.

В заключение следует отметить, что реализация ИУС ЦУМР в намеченных объемах и в запланированные сроки по предварительным оценкам является экономически целесообразной. Внедрение намеченных мероприятий технического, технологического и информационного характера позволит организовать более эффективное управление местной работой на полигоне Белорусской железной дороги.

Список литературы

1 **Акимов, В. А.** Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

2 **Гарлицкий, Е. И.** Оперативное управление развозом местного груза в железнодорожных узлах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Е. И. Гарлицкий; Дальнев. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2015. – 24 с.

3 **Долгополов, П. В.** Удосконалення управління потоками у транспортному вузлі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж / П. В. Долгополов, О. О. Бовкун // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – Вип. 2. – С. 30–32.

4 **Терещенко, О. А.** Динамическая модель перевозочного процесса для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 68–71.

5 **Терещенко, О. А.** Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2016. – № 12. – С. 80–89.

6 **Терещенко, О. А.** Технология оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 79–82.

7 **Erofeev, A.** Intelligent management of the railway transportation process: object model / A. Erofeev, N. Erofeeva // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2017. – С. 281–284.

Получено 04.11.2021

O. A. Tereshchenko. Information support of technological processes in railway local work management.

The article presents theoretical foundations for creating information models of the railway local work, aimed at providing necessary detailing of transport technology in real time based on the process-object approach to displaying states of the transportation process. It is given a structure of required information base for a complete identification of the rolling stock at the same time according to the technological state and dislocation at the railway site. Here are presented an algorithm for solving a problem of identifying technological operations carried out in railway local work and the current dislocation of rolling stock based on the proposed model. In the article are given recommendations for a practical implementation of developments as part of an information management system in the railway local work management center.