

УДК 656.222.3

А. А. ЕРОФЕЕВ^{1*}, Е. А. ФЕДОРОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-21-84, эл. почта alerof@tut.by, ORCID 0000-0002-3571-1895

^{2*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-21-84, эл. почта rwtor@gmail.com, ORCID 0000-0001-6129-2578

ПЛАНИРОВАНИЕ СОСТАВООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Цель. В работе необходимо определить подходы к детализированному планированию поездообразования с учетом взаимной увязки технологии работы станции с графиком движения поездов по участкам железной дороги. **Методика.** При разработке системы использованы теория управления, методы аналитического и имитационного моделирования, факторный анализ технологических процессов, методы многоуровневого интеллектуального планирования. **Результаты.** Рассмотрены и систематизированы подходы к созданию интеллектуальной системы планирования составообразования и ее взаимодействия с графиком движения поездов. Данная система разработана учеными Белорусского государственного университета транспорта совместно с сотрудниками конструкторско-технического центра Белорусской железной дороги. В статье формализовано описание технологических линий пропуска вагонопотоков через станции. Определены процедуры отнесения поезда к определенной линии обработки. Описан порядок идентификации и кодирования поездов по технологическим линиям. Произведена декомпозиция процедур разработки плана поездообразования на элементарные технологические задачи и дано описание решения этих задач. В качестве таких задач выделены: определение продолжительности нахождения состава в подсистеме станции, определение готовности к отправлению транзитного поезда без переработки, разложение составов, поступающих в расформирование, по назначениям плана формирования, планирование процесса накопления вагонов на состав поезда, следующего по постоянному расписанию, планирование процесса накопления вагонов на состав поезда по установленным для станций нормам массы и длины составов, определение времени включения местных и иных вагонов в процесс накопления вагонов и формирование плана обработки составов и местных вагонов, определение направления следования порожних вагонов, следующих по регулируемому заданию, обеспечение сформированных составов поездными локомотивами и локомотивными бригадами, формирование расписания готовности составов к отправлению со станций составообразования. Определены процедуры взаимодействия проектируемой системы с действующими при организации сбора исходных данных и передаче результатов расчетов конечным пользователям. **Научная новизна.** В работе сформирована методика планирования составообразования при различных эксплуатационных условиях и имеющихся технологических ограничениях. Выполнена технологическая и информационная увязка процедур планирования составообразования с графиком движения поездов по прилегающим участкам. Формализованы процедуры интеллектуального планирования поездообразования при минимальном участии человека. Разработаны механизмы обучения, которые позволяют расширять перечень решаемых задач без потери функциональности системы. **Практическая значимость.** По результатам исследования разработана система планирования УСОГДП и внедрена в опытную эксплуатацию в Центре управления перевозками Белорусской железной дороги. Ее использование позволило повысить точность планирования поездной и станционной работы и улучшить эксплуатационные показатели системы поездной работы. Разработанные методики и алгоритмы планирования могут быть использованы и при проектировании других систем управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: планирование составообразования, график движения поездов, технологическая линия, станция, категория поезда, интеллектуальное планирование.

Введение

Интеллектуализация управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте является многоаспектной проблемой, включающей решение различных эксплуатационных задач на всех уровнях управления [1]-[6].

Ключевым отличием от традиционных подходов является необходимость поиска оптимального по установленным критериям решения для всей системы в целом, а не по отдельным технологическим подсистемам и элементам. При такой постановке задачи на первое место выходит эффективная интеграция техно-

логических процессов между собой и формирование комплексной модели перевозочного процесса.

Одной из таких задач интеграции является согласование технологий пропуска поездопотоков по участкам (график движения поездов) с технологиями работы технических станций. Для ее эффективного решения на Белорусской железной дороге разработана система «Увязки составообразования с графиком движения поездов» (УСОГДП), которая является частью комплексной интеллектуальной системы управления поездной работой [7], [8].

Цель

Основной целью данной работы является определение подходов к детализированному интеллектуальному планированию поездообразования с учетом взаимной увязки технологии работы станции с графиком движения поездов по участкам железной.

Методика

Планирование составообразования и пропуска поездов по участкам – две основные взаимосвязанные задачи текущего планирования и управления поездной работой. Выходная информация каждой из этих задач является входной информацией для другой задачи, т.е. необходимо последовательное совместное решение этих задач.

При расчете составообразования устанавливаются:

- назначения поездов и включаемых в их состав групп вагонов;
- время окончания накопления вагонов по назначениям в соответствии с минимальными и максимальными нормами веса и длины составов;
- время завершения операций по формированию составов, включая их перестановку на пути отправления;
- время готовности составов к отправлению.

При разработке процедур планирования использованы теория управления, методы аналитического и имитационного моделирования, факторный анализ технологических процессов, методы многоуровневого интеллектуального планирования [9].

Результаты

Планирование составообразования в УСОГДП основано на обработке поездо- и вагонопотока на станциях составообразования в соответствии с установленной технологией ра-

боты. Для реализации задач моделирования весь перерабатываемый на станциях составообразования поездопоток распределяется по установленным линиям обработки.

Каждая технологическая линия обработки обозначается пятизначным кодом, первая цифра которого определяет категорию пропускаемого вагонопотока (без переработки, в расформирование, своего формирования), вторая – вид сообщения, третья – операции производимые с локомотивом и локомотивной бригадой, четвертая – необходимость смены направления движения, пятая – изменение нормы массы или длины поезда при проследовании его через станцию.

По каждой выделенной линии обработки предусматривается установленная технологией работы станции последовательность выполнения операций. Структура линий обработки составов поездов на станциях составообразования приведена на рис. 1.

Отнесение поезда (состава) к определенной линии обработки осуществляется в соответствии со следующими принципами:

Для прибывающих на станцию поездов:

- 1) Определение признака транзитности поезда для станции составообразования: Если код станции назначения поезда (в индексе) равен коду станции составообразования, то поезд в расформирование (операция с локомотивом – «Отцепка», признак смены направления движения для поездов в расформирование не актуален;
- 2) Определение вида сообщения поездов, прибывающих в расформирование: Если станция формирования поезда расположена на БЧ, то внутриреспубликанское сообщение, если нет, то международное;
- 3) Определение признака работы с локомотивом и локомотивной бригадой для транзитных поездов: Алгоритм определяется на основании системы увязки локомотивов и бригад на станции составообразования. Требуется проработки под каждую конкретную станцию с использованием локомотивной модели дороги.
- 4) Определение вида сообщения транзитных поездов: Если станция формирования и станция назначения расположена на БЧ, то внутриреспубликанское, если нет, то международное;
- 5) Определение необходимости смены направления движения транзитных поездов: Если участок отправления поезда с моделируемой станции является угловым для участка прибытия, то поезд – угловой; если нет – прямой.

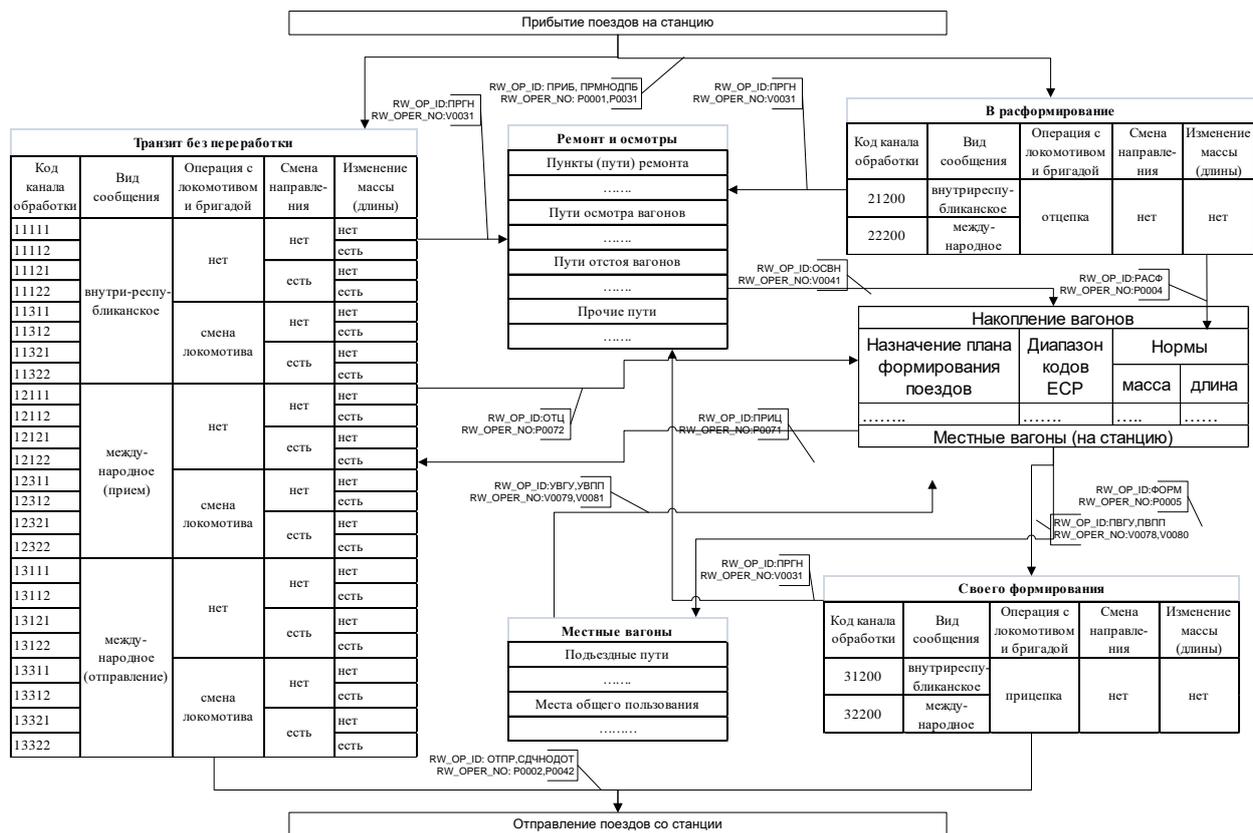


Рис. 1. Технологические линии обработки поездо- и вагонопотока на станции

Для поездов своего формирования:

1) Определение признака транзитности поезда для моделируемой станции: если код станции формирования поезда (в индексе) равен коду моделируемой станции, то поезд своего формирования (операция с локомотивом – «Прицепка», признак смены направления движения для поездов в расформирование не актуален);

2) Определение вида сообщения поезда своего формирования: если станция назначения поезда расположена на БЧ, то внутриреспубликанское сообщение, если нет – то международное.

Также на значение времени обработки состава на станции могут влиять дополнительные условия: длинносоставный, тяжеловесный, негабаритный, из порожних вагонов и т.д.

Интеллектуальное планирование составообразования в УСОГДП основано на использовании многоуровневой базы данных и применении методов ситуационного моделирования. Для этих целей в дополнение к традиционной базе данных (нормативно-справочная и оперативная информация) создается база знаний, которая включает множество алгоритмов решения элементарных эксплуатационных задач.

На основании имеющейся информации о характеристиках и свойствах прибывающих на

станцию поездов производится их классифицирование по технологическим линиям. В зависимости от технологической линии определяется соответствующий набор технологических задач и устанавливается последовательность их решения.

Разделим процедуры разработки плана поездеобразования на элементарные технологические задачи.

Определение продолжительности нахождения состава в подсистеме.

В УСОГДП формируется база данных, содержащая перечни технологических операций, выполняемых с составами поездов в соответствии с определенным технологической линией и нормативные времена их выполнения. По каждой операции нормативы времени определяются в соответствии с технологическими процессами работы станций и уточняются в зависимости от значимых факторов. В последующем в процессе «обучения» системы значения нормативов могут уточняться и корректироваться.

В соответствии с установленной линией обработки для каждого поезда (состава) определяется продолжительность обработки до расформирования (поезда, поступающие в расформирование) или до отправления (транзит-

ные без переработки и поезда своего формирования) [10]. Определение времени начинается с прогнозного времени прибытия (для прибывающих поездов) или со времени завершения последней зафиксированной операции с поездом (для составов (поездов), находящихся на станциях составообразования на момент сбора исходной информации).

Информация о поездах, для которых в течение планового периода наступит время готовности к отправлению, включается в план отправления поездов со станций составообразования.

Определение готовности к отправлению транзитного поезда без переработки.

Готовность к отправлению транзитного поезда без переработки определяется на основании прогнозного времени отправления и в зависимости от линии обработки.

В случае если поезд поступает на станцию по нитке графика сквозного поезда, выполняется его автоматическая привязка к нитке с таким же номером по участку отправления. Время отправления поезда определяется актуальным графиком движения поездов.

В случае если поезд поступает по нитке графика участкового поезда либо на участке отправления отсутствует увязанная нитка сквозного поезда, временем готовности состава к отправлению считается время завершения обработки поезда по соответствующей технологической линии.

Разложение составов, поступающих в расформирование, по назначениям плана формирования.

Составы поездов, поступающих на станции в расформирование, подлежат разложению по установленным назначениям плана формирования. Для каждого назначения определяется совокупность непрерывных последовательностей кодов ЕСР.

Планирование накопления вагонов на составы поездов на станциях составообразования включает следующие элементы модели.

1) Определение начального состояния процесса накопления. В процесс накопления включаются вагоны, удовлетворяющие всем условиям:

- находящиеся на станции составообразования вне поездов (нет связи с индексом поезда);
- станцией назначения которых является не рассматриваемая станция;
- включенные в рабочий парк (кроме вагонов, для которых проставлены признаки задержки).

2) Определение расформировываемых поездов и включаемых в процесс накопления местных вагонов в течение прогнозного периода.

К расформировываемым в течение периода планирования поездам относятся все прибывшие на станцию в расформирование поезда, прогнозные время расформирования которых приходится на период планирования $t_{рф}^{пф} \in T_{пл}$.

К местным вагонам, включаемым в процесс накопления в течение прогнозного периода относятся местные вагоны, прогнозные время уборки которых с пункта местной работы, а также возвращающиеся из ремонта) приходится на период планирования $t_{уб}^{пф} \in T_{пл}$.

3) В процесс накопления также включаются порожние вагоны, отправляемые со станции по регулировочному заданию. При планировании составообразования в УСОГДП такие вагоны могут накапливаться как отдельное назначение или включаться в общий процесс накопления наряду с остальными местными вагонами. При этом каждому такому вагону присваивается код станции назначения, соответствующий регулировочному заданию. Изменение состояния процесса накопления происходит при:

- расформировании поездов;
- включении в процесс накопления местных вагонов.

В момент прогнозного расформирования (для местных вагонов – уборки с пункта местной работы на станцию) добавляется информация о включении в процесс накопления по каждому включаемому вагону.

4) Проверка на наличие накопленных составов (после каждого изменения процесса накопления). Для диапазонов назначений плана формирования на которые включаются вагоны проверяются условия норм массы и длины формируемых составов.

5) Проверка наличия вагонов на назначения при отправлении по постоянному расписанию. Отправление таких поездов осуществляется по постоянному расписанию.

6) Изменение состояния процесса накопления при формировании состава. При накоплении достаточного количества вагонов для формирования состава в модели образуется состав, ему присваивается индекс и выполняется привязка вагонов к образованному составу. Вагоны исключаются из процесса накопления. Момент образования состава считается моментом начала обработки состава по отправлению.

Планирование процесса накопления вагонов на состав поезда, следующего по постоянному расписанию.

До начала периода планирования определяются нитки актуального ГДП, по которым будут отправляться поезда постоянного расписания. При планировании накопления составов на постоянное расписание минимальные нормы массы и длины поездов не учитываются.

Корректировка расписания отправления указанных поездов может осуществляться перед каждым периодом планирования составообразования. Критерием формирования поезда с постоянным расписанием отправления для УСОГДП является наличие к максимально допустимому моменту окончания накопления вагонов указанного назначения.

Максимальная масса и длина составов поездов с постоянным расписанием отправления ограничена нормами массы и длины, действующими на участках отправления данных поездов.

Проверка наличия составов на постоянные нитки графика осуществляется по следующим принципам:

1. Определение времени проверки: максимально допустимое время окончания накопления состава к отправлению по постоянному расписанию определяется по времени отправления поезда: $t_{\text{нак}}^{\text{ок}} = t_{\text{отпр}}^{\text{ГДП}} - t_{\text{обр}}^{\text{отпр}}$.

2. Определение массы и длины накопленного состава по установленным для участка отправления нормам:

$$Q_j^{\text{сост}} \leq Q_j^{\text{max}}, L_j^{\text{сост}} \leq L_j^{\text{max}}. \quad (1)$$

Если накоплено вагонов больше, то в состав включается максимально допустимое число вагонов по обоим ограничениям, а оставшаяся часть остается в процессе накопления на следующий состав.

Алгоритм планирования отправления поездов по постоянному расписанию описан в [11].

В качестве исходной информации используется актуальных ГДП в которых предусмотрена специализация ниток, в том числе и для поездов, следующих по постоянному расписанию. Данные о нитках размещены по принципу возрастания времени отправления по графику. Расчеты для каждого «жесткого» назначения сводятся к последовательному выбору из расписания отправления «ниток» и суммированию данных по весу и длине в соответствующей строке расчетной таблицы составообразования

– в интервале времени накопления рассматриваемого состава.

Планирование процесса накопления вагонов на состав поезда по установленным для станций составообразования нормам массы и длины составов.

Число вагонов в составах формируемых поездов определяется нормами веса и длины составов. Формирование длинносоставных поездов, поездов повышенной длины допускается только на установленные в графике движения поездов специализированные (как правило, безобгонные) нитки.

Для более полного использования участковых весовых норм транзитные поезда могут пополняться вагонами при соблюдении следующих условий:

– прицепляемые вагоны должны быть подобраны в одну группу;

– отцепка и прицепка этих вагонов должны производиться за время стоянки поезда по графику движения поездов;

– при наличии в технологии работы станции вариантов пополнения транзитных поездов местным грузом, и ниток графика движения поездов, допускающие такое пополнение.

Определение времени окончания накопления поездов, формируемых с обязательным соблюдением норм массы и длины осуществляется по следующим принципам

1. Определение необходимости проверки: Проверка выполняется после поступления в процесс накопления вагонов (расформирование поезда, передачи с пунктов местной работы, выставки вагонов из ремонта, после устранения и др.) для тех назначений плана формирования в адрес которых поступили вагоны.

2. Проверка на наличие достаточного числа вагонов для формирования поезда по массе и длине:

$$\Sigma q_{ij} \in [Q_j^{\text{min}}; Q_j^{\text{max}}] \text{ или } \Sigma l_{ij} \in [L_j^{\text{min}}; L_j^{\text{max}}]. \quad (2)$$

Если $\Sigma q_{ij} \geq Q_j^{\text{max}}$ или $\Sigma l_{ij} \geq L_j^{\text{max}}$, то в состав включается максимально допустимое число вагонов по обоим ограничениям, а оставшаяся часть остается в процессе накопления на следующий состав.

3. Присвоение времени начала обработки состава по отправлению $t_{\text{обр}}^{\text{отпр}} = t_{\text{ок}}^{\text{нак}}$ при выполнении условия 2.

По результатам планирования составообразования формируются выходные формы, представляемые на АРМах причастных оперативных работников (ДНЦ, ДСЦ).

Определение времени включения местных и иных вагонов в процесс накопления вагонов и формирование плана обработки составов и местных вагонов.

В расчете состава образования необходимо учитывать местные и иные вагоны (подлежащие отцепочному и безотцепочному ремонтам, задержанные и т.д.) после завершения выполнения с ними соответствующих операций технологического процесса (погрузки, выгрузки, перегруза, отцепочного ремонта и др.) как с пунктов грузовой работы станции, так и с других станций района местной работы.

Время включения таких вагонов в процесс состава образования определяется и корректируется подсистемой «Идентификация операций с местными вагонами и определение времени их включения в процесс накопления».

Дальнейший расчет производится в зависимости от линии обработки, в которую поступает местный вагон.

Определение направления следования порожних вагонов, следующих по регулировочному заданию.

Регулировочные задания по передислокации порожних вагонов из-под выгрузки по роду, выделенным типам и принадлежности подвижного состава определяются, исходя из:

- данных заявок на плановые и последующие сутки;
- наличия порожних вагонов к началу планируемых суток, ожидаемого поступления с соседних железных дорог;
- планируемой выгрузки.

Обеспечение сформированных составов поездными локомотивами и локомотивными бригадами.

С целью разработки плана обеспечения сформированных составов поездными локомотивами и локомотивными бригадами необходима следующая информация:

- данные о наличии локомотивов и локомотивных бригад для обеспечения вывоза поездов и об их ожидаемом подходе с учетом плеч обслуживания и видов тяги, а также разрешений на управление локомотивной бригадой той или иной серии локомотива;

- прогноз времени готовности к отправлению локомотивов (с учетом выхода из ремонта, вывода из резерва с учетом проведения ТО или ТР или времени, оставшимся до ТО-2 и т.д.) и локомотивных бригад (окончание отдыха, выход по именному графику или безвызывной системе) по данным локомотивного диспетчера;

Эти данные поступают из подсистемы планирования работы локомотивов и локомотивных бригад.

Формирование расписания готовности составов к отправлению со станций состава образования.

Пономерное назначение поездов своего формирования и транзитных поездов осуществляется по ниткам прогнозного графика движения поездов (актуального расписания движения поездов), действующего в данном плановом периоде.

Формируемые и транзитные контейнерные, рефрижераторные и другие ускоренные поезда, а также технологические маршруты должны быть назначены и подготовлены к отправлению на установленные для них специализированные нитки графика движения поездов (в случае их наличия в ГДП), остальные маршруты - на любые нитки графика движения поездов, позволяющие пропуск поездов соответствующего направления, веса и длины.

Время отправления поездов при текущем планировании состава образования устанавливается в соответствии с графиком движения поездов применительно к предусмотренной нумерации поездов по направлениям.

В исключительных случаях, когда отправление поезда по соответствующей нитке графика движения поездов вызывает его непроизводительный простой в ожидании графика движения поездов, допускается отправлять такой поезд по более ранней свободной нитке графика движения поездов другого поезда попутного направления (с одинаковыми временами хода по перегонам и нормами времени технических стоянок).

Практическая реализация решений, сформированных в УСОГДП, производится путем информационного обмена с действующими автоматизированными системами станционного уровня (АСУС).

Информация из АСУС представляется в виде массива информации о составах и поездах, содержащего дополнительные идентификаторы, по которым группируется статистическая информация для повышения достоверности расчета продолжительности выполнения технологических операций [12]:

$$(N_p, I_p, Q, L, RS_p, \{t_{\text{технол. } pi}\}, \{K_{pj}\}), \quad (3)$$

где $\{t_{\text{технол. } pi}\}$ – продолжительности технологических операций, выполненных с p -м поездом;

$\{K_{pj}\}$ – дополнительные идентификаторы по которым выполняется группировка статистической информации.

Для каждой группы поездов, выделенной в соответствии с указанными признаками, определяются среднестатистические продолжительности выполнения технологических операций, которые после проверки на соответствие установленным нормативам ($t_{\text{стат}} \leq t_{\text{норм}}$), принимаются в качестве расчетных для модели составообразования. Принципы формирования достоверных выборок информации о поездах должны учитывать колебания объемов работы, изменения в технологии работы и техническом оснащении станции, наличия в составах поездов вагонов, требующих особых условий обработки. Влияющие факторы определяются на основании анализа станций, участвующих в процессе моделирования и структуры поездо- и вагонопотоков перерабатываемых на станциях.

Для обеспечения достоверности и точности прогнозирования составообразования на технических станциях результаты моделирования необходимо доводить до технических станций в виде плана работы на прогнозный период. В плане работы указываются основные времена выполнения технологических операций с составами и информация об обрабатываемых составах. План представляется в виде массива информации

$$(I_p, RS_p, \{t_{\text{нач.технол.оп.}i}^{\text{max}}\}), \quad (4)$$

где $t_{\text{нач.технол.оп.}i}^{\text{max}}$ – максимально допустимое по результатам моделирования время i -й операции с p -м поездом (составом).

При несоблюдении плана работы, вызвавшем отклонение контрольных параметров системы (время отправления поезда, изменение состава поезда, замена локомотива, бригады и т.п.), необходимо предусмотреть фиксацию отклонения от плана, передачу информации в систему УСОГДП для выполнения корректировочных мероприятий.

Научная и практическая значимость

В работе сформирована методология планирования составообразования при различных эксплуатационных условиях и имеющихся технологических ограничениях. Выполнена технологическая и информационная увязка процедур планирования составообразования с графиком движения поездов по прилегающим участкам. Формализованы процедуры интеллектуального планирования поездообразования при мини-

мальном участии человека. Разработаны механизмы обучения, которые позволяют расширять перечень решаемых задач без потери функциональности системы.

По результатам исследования разработана система планирования УСОГДП и внедрена в опытную эксплуатацию в Центре управления перевозками Белорусской железной дороги. Ее использование позволило повысить точность планирования поездной и станционной работы и улучшить эксплуатационные показатели системы поездной работы.

Разработанные методики и алгоритмы планирования могут быть использованы и проектировании других систем управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте [13].

Выводы

1. Систематизированы подходы к созданию интеллектуальной системы планирования составообразования и ее взаимодействия с графиком движения поездов, которые позволяют создавать масштабируемую систему как по количеству объектов управления, так и по ее функциям.

2. Формализовано описание технологических линий пропуска вагонопотоков через станции и определены процедуры отнесения поезда к определенной линии обработки. Данная формализация позволяет в автоматическом режиме устанавливать каналы и фазы обслуживания поезда на станции и планировать потребности в ресурсах.

3. Произведена декомпозиция процедур разработки плана поездообразования на элементарные технологические задачи и дано описание решения этих задач с использованием математического аппарата интеллектуального управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев, А. А. Интегрированная информационная поддержка перевозочного процесса : Учеб.-метод. пособие / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров, Е. А. Ерофеева. – Гомель : УО БелГУТ, 2014. – 114 с.

2. Мацкель, В. М. Перевозочная деятельность Белорусской железной дороги и перспективные направления развития / В. М. Мацкель, А. А. Ерофеев, М. Ю. Страдомский // Наука и транспорт : Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2015. – № 2 (31). – С. 18-24.

3. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other

modes of transport Text with EEA relevance. Official Journal L 207 , 06/08/2010 P. 0001 – 0013.

4. Эксплуатационная надежность станций: монография / П. С. Грунтов. – Москва : Транспорт, 1986. – 247с.

5. Грунтов, П.С. Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог: монография / П. С. Грунтов [и др.]; под общ. ред. П. С. Грунтова. – Москва : Транспорт, 1990. – 288 с.

6. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой железных дорог : учебник / П. С. Грунтов [и др.]; под общ. ред. П. С. Грунтова. – Москва : Транспорт, 1994. – 542 с.

7. Ерофеев, А. А. Интеллектуальная система оперативного управления поездной работой на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, Е. А. Ерофеева // Современный концепции развития транспорта и логистики в Республике Беларусь : сборник статей. – Минск : Центр «БАМЭ-Экспедитор», 2014. – С. 149-154.

8. Ерофеев, А. А. Интеллектуальные технологии в оперативном планировании грузовой работы Белорусской железной дороги / А. А. Ерофеев, Н. А. Старинская, П. Н. Прудников // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2014) : труды третьей научно-

технической конференции с международным участием. – Москва : ОАО «НИИАС», 2014 – С.30-33.

9. Russel, S. Artificial intelligence. A modern approach / S. Russel, P. Norvig // Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey 07458 – 1407 s.

10. Типовой технологический процесс работы сортировочных и участковых станций Белорусской железной дороги. – Минск : Белорусская ж. д., 2013. – 218 с.

11. Буянов, В. А. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – Москва : Транспорт, 1984. – 239 с.

12. Акулиничев, В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог : монография / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков. – Москва : Транспорт, 1981. – 223 с.

13. Угрюмов, А. К. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте: монография / А. К. Угрюмов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1983. – 239 с.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Скалзубом В. В. (Украина)

Поступила в редколлегию 25.11.2016.

Принята к печати 26.11.2016.

О. О. ЄРОФЄЄВ, Є. О. ФЕДОРОВ

ПЛАНУВАННЯ СОСТАВОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ

Мета. У роботі необхідно визначити підходи до деталізованого планування поєздоутворення з урахуванням взаємної ув'язки технології роботи станції з графіком руху поїздів по ділянках залізниці. **Методика.** При розробці системи використані теорія управління, методи аналітичного та імітаційного моделювання, факторний аналіз технологічних процесів, методи багаторівневого інтелектуального планування. **Результати.** Розглянуто і систематизовано підходи до створення інтелектуальної системи планування составоутворення та її взаємодії з графіком руху поїздів. Дана система розроблена вченими Білоруського державного університету транспорту спільно з співробітниками конструкторсько-технічного центру Білоруської залізниці. У статті формалізовано опис технологічних ліній пропуску вагонопотоків через станції. Визначені процедури віднесення поїзда до певної лінії обробки. Описано порядок ідентифікації та кодування поїздів по технологічних ліній. Проведена декомпозиція процедур розробки плану поєздоутворення на елементарні технологічні завдання та надано опис вирішення цих завдань. В якості таких задач виділені: визначення тривалості перебування составу в підсистемі станції; визначення готовності до відправлення транзитного поїзда без переробки; розкладання составів, що надходять в розформування, за призначенням плану формування; планування процесу накопичення вагонів на состав поїзда, що прямує за постійним розкладом; планування процесу накопичення вагонів на состав поїзда за встановленими для станцій нормами маси та довжини составів; визначення часу включення місцевих та інших вагонів в процес накопичення вагонів і формування плану обробки составів і місцевих вагонів; визначення напрямку прямування порожніх вагонів, що прямують по регульовальному завданню; забезпечення сформованих составів поїзними локомотивами і локомотивними бригадами; формування розкладу готовності составів до відправлення зі станцій составоутворення. Визначені процедури взаємодії системи що проектується з діючими при організації збору вихідних даних і передачі результатів розрахунків кінцевим користувачам. **Наукова новизна.** У роботі сформована методика планування составоутворення при різних експлуатаційних умовах і наявних технологічних обмеженнях. Виконана технологічна та інформаційна ув'язка процедур планування составоутворення з графіком руху поїздів по прилеглим ділянкам. Формалізовані процедури інтелектуального планування поєздоутворення за мінімальної участі людини. Розроблено механізми навчання, які дозволяють розширювати перелік вирішуваних завдань без втрати функціональності системи. Практична значимість. За результатами дослі-

дження розроблена система планування УСОГДП та введена в дослідну експлуатацію в Центрі управління перевезеннями Білоруської залізниці. Її використання дозволило підвищити точність планування поїзної та станційної роботи та поліпшити експлуатаційні показники системи поїзної роботи. Розроблені методики та алгоритми планування можуть бути використані при проектуванні інших систем управління перевізним процесом на залізничному транспорті.

Ключові слова: планування составоутворення, графік руху поїздів, технологічна лінія, станція, категорія поїзда, інтелектуальне планування.

A. EROFEEV, E. FEDOROV

PLANNING FOR THE FORMATION OF TRAINS IN THE SYSTEM OF INTELLECTUAL MANAGEMENT OF TRANSPORTATION PROCESS

Destination. The need to identify approaches to detailed trains makeup planning into account mutual linkage technology work stations with a schedule of trains on railway stations. **Method.** When developing the system used in the theory of control, methods of analytical modeling and simulation, factor analysis of technological processes, methods of multilevel scheduling. **Results.** Considered and systematic approach to creating intellectual system of trains makeup planning and its interaction with the schedule of trains. This system developed by scientists of Belarusian state University of transport, together with employees of the engineering-technical centre of the Belarusian Railways. The article formalized description of the technological lines crossing traffic volumes through the station. Procedures for the designation of trains to a specific processing line. The described procedure of identification and coding of trains on the technological lines. Produced decomposition procedures development plan of trains makeup on basic technological tasks and the description of these tasks. As these tasks are allocated: definition of the length of time of the composition in the subsystem of the station; determining readiness for departure of the transit trains without any processing; decomposition of trains, arriving at the dissolution, the nominating formation plan; planning of the process of accumulation of cars on the train, next to the permanent schedule; planning for accumulation of cars on the train at the stations established for the standards of mass and length; the timing of the inclusion of local and other cars in the process of accumulation of cars and the formation of a treatment plan of local trains and cars; determining the direction of empty cars, the next adjustment task; providing the generated trains of train locomotives and locomotive crews; scheduling, willingness trains to depart from stations ashtavakrasana. Defines the procedure of interaction of the designed system from operating when organizing the data collection and transfer of calculation results to end users. **Scientific novelty.** In work the technique of planning ashtavakrasana under various operational conditions and the existing technological limitations. Made with the information and technology linkage planning procedures of ashtavakrasana with the schedule of trains on adjacent partici-Kam. Formalized procedures intelligent planning outdoorsman with minimal human involvement. Developed training mechanisms that allow to expand the list of tasks without any loss of functionality of the system. **Practical significance.** The results of the study developed a planning system USOGDP and put into trial operation in the movement control Centre of the Belarusian Railways. Its use has allowed to increase the accuracy of scheduling Board and on-station work and to improve the operational performance of the system of train operation. Developed techniques and scheduling algorithms can be used and design of other control systems of transportation process on railway transport.

Keywords: trains makeup planning, train schedule, process, station, category of the train, intelligent planning.