

**Информация об авторах**

**Пузина Елена Юрьевна** – к. т. н., доцент кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

**Туйгунова Альбина Григорьевна** – к. т. н., доцент кафедры систем обеспечения движения поездов, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: tuigunova@krsk.irkups.ru

**Худоногов Игорь Анатольевич** – д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: hudonogovi@mail.ru

**Information about the authors**

**Elena Y. Puzina** – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru

**Al'bina G. Tuigunova** – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Train Traffic Management Systems, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, e-mail: tuigunova\_ag@krsk.irkups.ru

**Igor' A. Khudonogov** – Doctor of Technical Science, Professor at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).92-100

УДК 656.213

## **Применение визуальных моделей для оценки потребности локомотивов и локомотивных бригад с учетом индивидуальных особенностей железнодорожных полигонов**

**А. И. Власов<sup>1</sup>, А. А. Подорин<sup>1</sup>, А. Ю. Малеваный<sup>1</sup>, Е. А. Лаханкин<sup>2</sup>** ✉

<sup>1</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Институт экономики и развития транспорта, г. Москва, Российская Федерация*

✉ Lakhankin.e.a@gmail.com

**Резюме**

В рамках данной статьи рассмотрены особенности формализации работы локомотивных бригад на участках. Выявлена проблема, заключающаяся в способе описания процессов на участках обращения локомотивов. Рассмотрены основные существующие концепции реализации потоковой визуальной модели организации движения локомотивов внутри участков обращения, произведено их описание и приведены примеры их использования. Проанализированы аспекты классической методики, базирующейся на сетевой потоковой модели для формализованного описания технологии работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении. Данная методика оперирует схемами участков обращения локомотивов и работы локомотивных бригад, которые учитываются при составлении нормативного графика движения поездов. Показано, как в рамках модернизации системы «Программное обеспечение прогноза показателей работы локомотивов и локомотивных бригад на нормативный график движения грузовых поездов» под особенности полигонов Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог были произведены структурные и алгоритмические изменения. Данные модификации позволяют с большей гибкостью описывать участки работы локомотивных бригад. Продемонстрированы различия существующих моделей работы локомотивных бригад в зависимости от типа участков их оборота. В качестве средства моделирования предлагается использовать нотацию Business Process Model and Notation. Она призвана облегчить понимание процессов, происходящих внутри участков работы локомотивных бригад, и анализ масштаба работы бригад на участках. Предложены альтернативные варианты реализации потоковой визуальной модели перевозочных процессов для оценки потребности локомотивов и локомотивных бригад в нотации Business Process Model and Notation. Произведено сравнение существующей и предложенной концепций, на основании которого сделаны выводы.

**Ключевые слова**

визуальное моделирование, макро модель, эффективность деятельности, перевозочный процесс, процессное моделирование, Business Process Model and Notation (BPMN)

**Для цитирования**

Власов А.И. Применение визуальных моделей для оценки потребности локомотивов и локомотивных бригад с учетом индивидуальных особенностей железнодорожных полигонов / А.И. Власов, А.А. Подорин, А.Ю. Малеваный, Е.А. Лаханкин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 92–100. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).92-100

**Информация о статье**

поступила в редакцию: 11.02.2020, поступила после рецензирования: 20.03.2020, принята к публикации: 02.04.2020

## The use of visual models to estimate the demands of locomotives and locomotive crews considering individual characteristics of railway polygons

A. I. Vlasov<sup>1</sup>, A. A. Podorin<sup>1</sup>, A. Y. Malevannyi<sup>1</sup>, E. A. Lakhankin<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, the Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Economics and Transport Development, Moscow, the Russian Federation

✉ Lakhankin.e.a@gmail.com

### Abstract

This article focuses on the peculiarities of formalization of locomotive crews operation on the sections. A problem has been identified in a method of describing processes in locomotive turnaround section. The paper considers main existing concepts of implementation of the streaming visual model of locomotive movement organization inside the turnaround sections, makes their description and gives examples of their use. Aspects of the classical methodology based on the network streaming model for formalized description of the operation technology of locomotives and locomotive crews in cargo traffic have been analyzed. This methodology handles the schemes of locomotive turnaround sections and locomotive crew operation, which are taken into account when drawing up the standard train traffic schedule. It shows how, as a part of the modernization of the system “Software for forecast of performance of locomotives and locomotive crews for the standard schedule of freight trains”, structural and algorithmic changes were made taking into account the peculiarities of the October and West Siberian Railway polygons. These modifications make it possible to describe the operation areas of locomotive crews with greater flexibility. The article demonstrates the differences between the existing models of operation of locomotive crews depending on the type of their turnaround sections. Business Process Model and Notation is suggested as a modeling tool. It is designed to facilitate understanding of the processes that take place at the locomotive crew operation areas and to analyse the scope of crew work at the areas. Alternative versions of implementation of streaming visual model of transport processes are proposed to estimate the demand of locomotives and locomotive crews in Business Process Model and Notation. The authors compare existing and proposed concepts and draw conclusions on their basis.

### Keywords

visual modeling, macro model, performance, transportation process, process modeling, Business Process Model and Notation (BPMN)

### For citation

Vlasov A. I., Podorin A. A., Malevany A. Yu., Lakhankin E. A. Primenenie vizual'nykh modelei dlya otsenki potrebnosti lokomotivov i lokomotivnykh brigad s uchetom individual'nykh osobennosti zheleznodorozhnykh poligonov [The use of visual models to estimate the demands of locomotives and locomotive crews considering individual characteristics of railway polygons]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 92–100. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).92-100

### Article info

Received: 11.02.2020, Revised: 20.03.2020, Accepted: 02.04.2020

### Введение

Организация работы локомотивов и локомотивных бригад (ЛБ) для освоения плановых размеров грузового движения, установленных нормативным графиком перевозок, предполагает оценку потребности и принятие нормативов содержания эксплуатируемого и рабочего парков поездных локомотивов и явочного штата локомотивных бригад (ЛБ) [1, 2]. В последнее время все больше внимания уделяется созданию и развитию интеллектуальных систем управления грузопотоками. Важной задачей является построение потоковых визуальных моделей для управления грузоперевозками с учетом активных элементов транспортных систем. Под активными элементами транспортных систем будем понимать элементы способные самостоятельно принимать решения (диспетчеры, локомотивные бригады и т. п.).

Для понимания работы на участке железнодорожных (ЖД) линий следует рассмотреть основ-

ные термины [3–6]. ЛБ – это группа инженерно-технических работников, обязанностью которой является обслуживание локомотива. Обычно в состав бригады входят машинист и его помощник. Согласно Приказу Минтранса от 28 марта 2006 г. № 35 каждый вагон должен иметь свою станцию приписки. Это определяет куда могут быть отправлены вагоны после завершения работы в пункте назначения и куда отправить неисправные вагоны, подлежащие ремонту, если не объявился собственник. Станция приписки – центральное депо, обслуживающее участок обращения локомотивов [5]. В пунктах оборота на участках обращения локомотивов предусматриваются средства для их технического обслуживания и экипировки (ТОЭ), а также смены и отдыха локомотивных бригад [3]. Участок между станцией приписки локомотива и пунктом оборота ЛБ называют участком работы (УР) ЛБ [5]. Все участки работы

разделяют на два типа: те, на которых не предоставляется отдых бригаде, и те, на которых обязательно предусмотрен отдых установленной продолжительности [3]. Анализировать работу позволяют основные показатели эксплуатационной работы (рис. 1).

Основной проблемой является способ описания работы ЛБ на участках. Применяемые на данный момент модели не раскрывают обязанности ЛБ и особенности их оборота на участках обращения в полной мере. Моделирование и оптимизация бизнес-процессов оборота локомотивов и ЛБ по критериям времени и качества являются актуальными задачами современности. На их основе можно предвидеть множество проблем, возникающих при организации работы ЖД компаний. Применение моделирования бизнес-процессов позволяет оценить целесообразность того или иного действия на ранних этапах организации движения, выявить наилучшую последовательность действий, загруженность персонала и др.

### Концепция реализации потоковой визуальной модели работы локомотивов и локомотивных бригад и классическая сетевая потоковая модель и ее реализация инструментами модели Business Process Model and Notation

Согласно предложенной методике [1] в основу сетевой потоковой модели для формализованного описания технологии грузоперевозок положены существующие схемы участков обращения локомотивов (далее – УОЛ) и работы локомотивных бригад (далее – УРЛБ) [3], принимаемые при составлении нормативного графика движения поездов. Такие схемы могут быть представлены в виде модели конечных автоматов, системы массового обслуживания (СМО) [4] и др.

Среди эффективных визуальных инструментов построения моделей сложных систем можно вы-

делить классические структурно-функциональные модели, построенные согласно требованиям стандарта IDEF, который был предложен в рамках программы «Integrated Computer-Aided Manufacturing» (ICAM) (на данный момент он стандартизован в России на уровне ГОСТ) [7–14]. Модели активных систем целесообразно строить в концепции «агент – менеджер», когда выделяются активные элементы (активаторы действий). В качестве таких элементов могут быть как непосредственно сотрудники, так и элементы технических систем. Одной из перспективных технологий моделирования активных систем является Business Process Model and Notation – модель и нотация бизнес-процессов (BPMN) [7]. Она предложена «Business Process Management Initiative» (BPMI) и с 2005 г. поддерживается и развивается «Object Management Group» (OMG) [7]. Международной организацией по стандартизации принят стандарт «ISO/IEC 19510:2013. Information technology – Object Management Group. Business Process Model and Notation».

Рассмотрим особенности реализации потоковой визуальной модели оборота ЛЛБ. Обслуживание локомотивов производится на участках их работы таким образом, что весь УОЛ рассматривается как совокупность некоторого числа УРЛБ. Базовым элементом этой схемы является участок работы ЛБ, на котором работа бригады осуществляется от станции приписки до станции оборота и обратно по ниткам графика с поездом. Возможен альтернативный участок по резервной нитке локомотивом без поезда или пассажирами. При этом станции приписки и станции оборота являются отдельными станциями, между ними происходит продвижение ЛЛБ. Такая схема позволяет описать технологию и производить расчет графиков оборота ЛЛБ и расчет их показателей в грузовом движении для подавляющего большинства УОЛ и

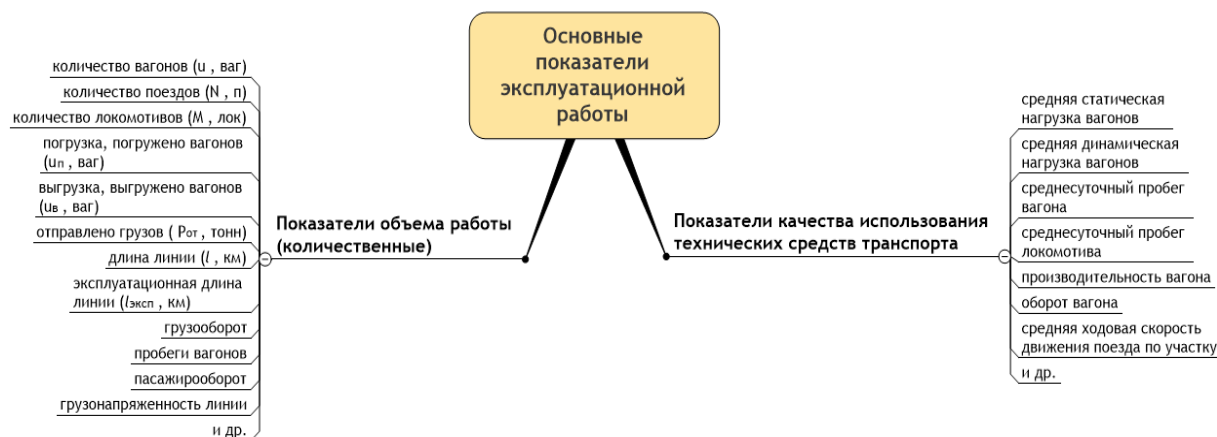


Рис. 1. Ментальная карта основных показателей эксплуатационной работы

Fig. 1. A mental map of key performance indicators

составляющих их УРЛБ на сети железных дорог России в виде BPMN модели (рис. 2) [15–17].

Решения задачи подсчета числа ЛЛБ по методике, описанной в Методических указаниях ЦДЛ-60 [2], осуществляется посредством комплекса «Подсистема ведения и корректировки формализованного описания технологии продвижения поездопотоков по участкам обращения локомотивов и работы локомотивных бригад в информационной модели АСОВ (далее – АСОВ-ВКУУ)» программного обеспечения технологии организации вагонопотоков (далее – АСОВ) и программного обеспечения прогноза показателей работы локомотивов и локомотивных бригад на нормативный график движения грузовых поездов (далее – АСГОЛ-ГДС) [2].

Назначение данных комплексов заключается в формализации на дорожно-сетевом уровне процесса разработки графиков оборота ЛЛБ грузового движения и расчета показателей их использования (согласно перечню формы ЦДЛ-13) [2]. Система в течение 5 лет успешно применяется при расчете потребности ЛЛБ и показателей их использования на сетевом и дорожном уровнях [1].

Однако при детальном анализе технологии оборота ЛЛБ на полигонах Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог были выявлены особенности, не позволяющие производить расчеты по установленной методике без упрощения схем тягового обслуживания [2]. Реализация расчетов в условиях усложнения технологических схем потребовала модернизации существующих структур автоматизированных систем с учетом необходимости переноса архивных данных в новую модифицированную структуру. Были произведены изменения в структуре УРЛБ, их участков и станций с точки зрения различных функций, которые используют указанные структуры.

Рассмотрим основные сложные схемы в организации оборота локомотивов и локомотивных бригад на данных полигонах.

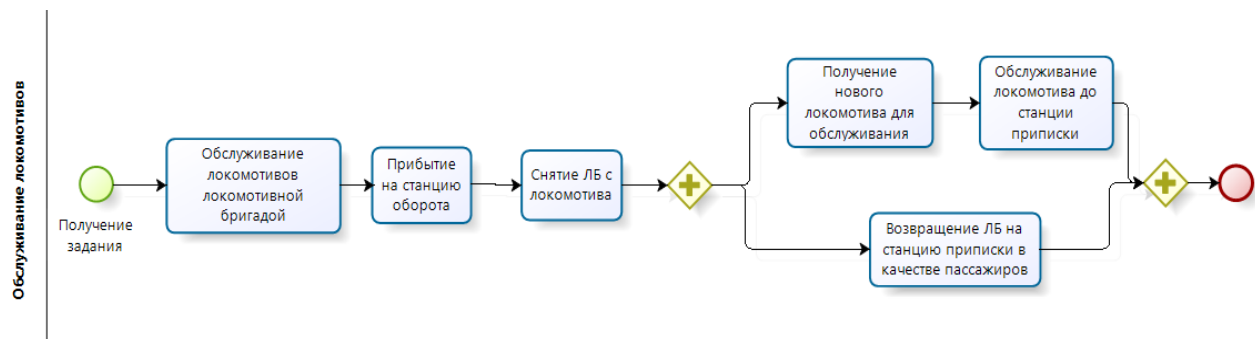


Рис. 2. Визуальная процессная модель участка обращения локомотивов в нотации Business Process Model and Notation

Fig. 2. The visual process model of the locomotive turnaround section in the Business Process Model and Notation

### Узловая модель и ее реализация инструментами модели Business Process Model and Notation

Отдельным случаем являются УРЛБ, в которых пунктами оборота или приписки являются несколько станций, сгруппированных в «узел». «Узлом» в данном случае называется совокупность станций, опорных пунктов и парков, имеющих общую технологическую функцию в организации оборота локомотивных бригад (например, как общий пункт приписки или общий пункт оборота) (рис. 3).

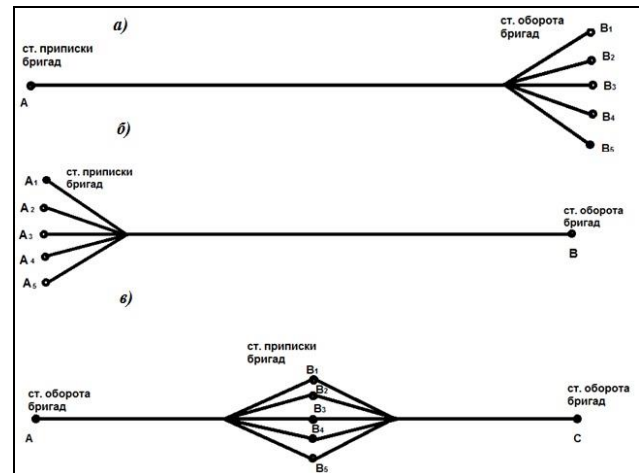


Рис. 3. Схемы участка работы локомотивных бригад, содержащих узловые станции в пункте:

а – оборота бригад; б – приписки бригад; в – приписки бригад, а также в пункте с несколькими станциями оборота

Fig. 3. Schemes of the locomotive crew operation area containing main terminals at the:

а – crew turnaround depot; б – crew base depot; в – crew base depot, as well as at a depot with several turnaround stations

Одной из самых значительных модификаций является изменение структуры «узлов», их роли в системе и параметров. Изначально «узлы» представляли собой несколько станций, которые были «стя-

нуты» в одну точку. Фактически после автоматизированного построения ниток графика на основе листов графика движения поездов (далее – ГДП) все станции, которые были в «узле», кроме основной, игнорировались. Это давало возможность минимизировать накладные расходы при расчете показателей использования ЛЛБ.

Однако для реализации движения на УРЛБ с узлами на станциях приписки или оборота бригад (например, УРЛБ Барабинск – Входная, Московка Западно-Сибирской железной дороги) необходимо изменить исходную структуру «узлов» [2]. В новой структуре «узлы» не имеют центральной станции, а группируются по принципу объединения станций, на которые приходят поезда, и наличия возможности передачи локомотива между этими станциями. Бригада может уехать с любой станции «узла» или вернуться на любую станцию «узла». Локомотив при этом прибывает или отправляется на станцию «узла», определяемую ниткой графика. Далее представлена BPMN модель данной схемы работы (рис. 4).

Главным изменением структуры является возможность указать время передачи локомотива и бригады (в рамках УОЛ) между станциями «узла» [2]. Они становятся персональными для каждого варианта расчета. При эксплуатации системы появ-

ляется возможность самостоятельно изменять их состав. Это позволяет учитывать время прохождения локомотива по «узлу», в том числе оценивать график оборота ЛБ на участках аналогичных УРЛБ Барабинск – Входная, Московка.

### Сложная прямая составная модель и ее реализация инструментами модели Business Process Model and Notation

Следующей сложной схемой оборота ЛБ является наличие отдельных участков на УРЛБ, на которых ЛБ перемещаются без локомотива (пассажиром), а также возможность перецепки локомотива с одной нитки на другую в рамках одного бригадного оборота. Такая организация движения бригады требует изменения структуры и состава УРЛБ. В базовой версии системы АСГОЛ-ГДС у каждого УРЛБ было два участка – в прямом и обратном направлении, а для решения данной задачи необходимо рассматривать сложный составной участок, состоящий из участков движения с локомотивом и участков движения пассажиром (рис. 5). BPMN модель данной схемы работы представлена ниже (рис. 6), что позволяет более наглядно учитывать влияние «активных факторов» (диспетчер, ЛБ и другие активные элементы).

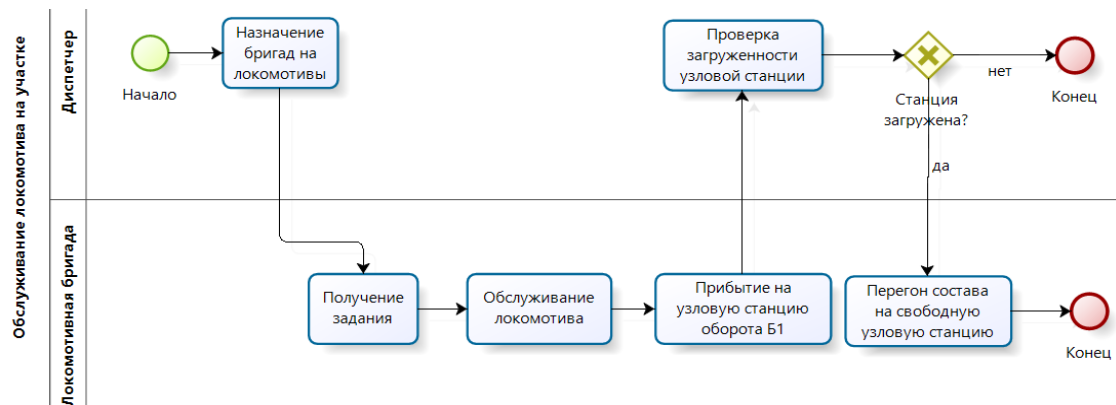


Рис. 4. Процессная модель участка работы локомотивной бригады с узловой станцией в пункте оборота бригад

Fig. 4. The process model of the locomotive crew operation area with the main terminal at the crew turnover depot

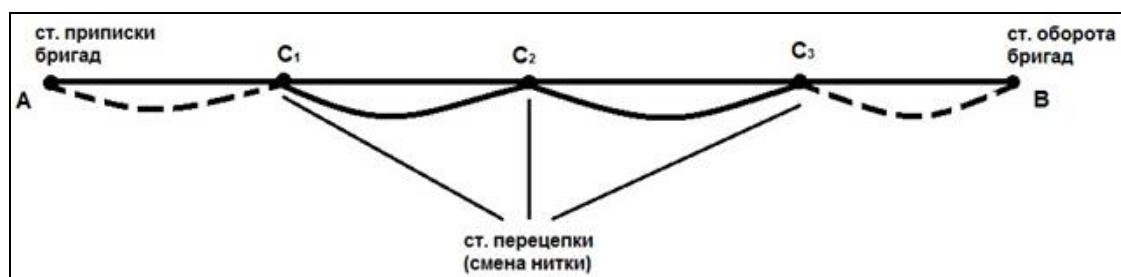


Рис. 5. Схема работы бригады при наличии нескольких различных участков движения на одном участке работы локомотивной бригады

Fig. 5. The crew operation scheme in the presence of several different sections of circulation at one operation area of the locomotive crew



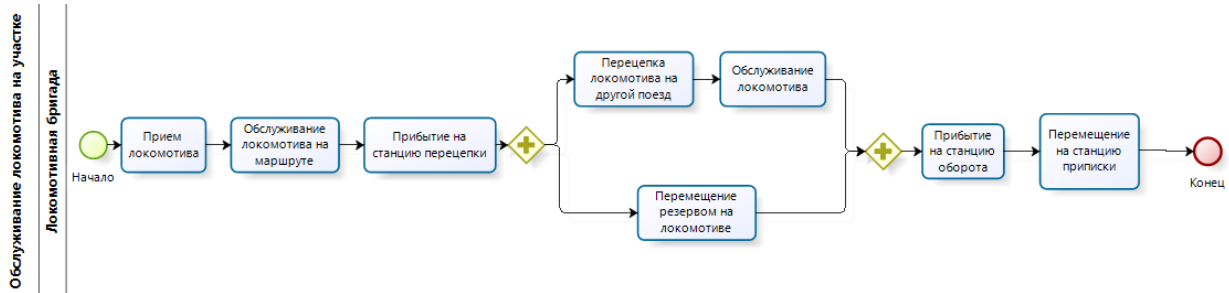


Рис. 6. Процессная модель работы бригады при наличии нескольких различных участков движения на одном участке работы локомотивной бригады

Fig. 6. The process model of the crew operation in the presence of several different sections of circulation at one operation area of the locomotive crew

Такое разделение позволяет создавать участки, на которых бригада начинает и (или) заканчивает работу не на станции, на которой они принимают (сдают) локомотив. При таком движении бригада добирается до станции, на которой они принимают локомотив (заканчивают работу) с помощью различного пассажирского транспорта, либо по резервной нитке.

**Сложная множественная составная модель и ее реализация инструментами модели Business Process Model and Notation**

Наличие нескольких пунктов отдыха локомотив-

ных бригад также вносит изменение в структуру УРЛБ, а именно необходимость создания множества участков движения, а не только участков в прямом и обратном направлении. Такие участки возникают при наличии нескольких пунктов оборота ЛБ в одном УРЛБ, либо при нахождении пункта приписки бригад между двумя пунктами оборота. Причем эти участки нельзя сгруппировать по принципу «туда» и «обратно», потому что эти участки могут быть однонаправленным (рис. 7). BPMN модель данной схемы работы также представлена (рис. 8).

Второй частью изменений, необходимых для модификации системы АСГОЛ-ГДС под индивидуаль-

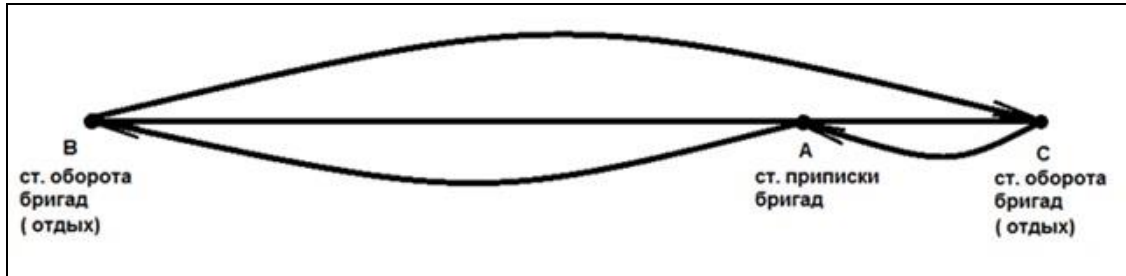


Рис. 7. Схема оборота бригады при наличии нескольких пунктов оборота на одном участке работы локомотивной бригады

Fig. 7. The crew turnaround scheme in the presence of several turnaround depots at one operation area of the locomotive crew

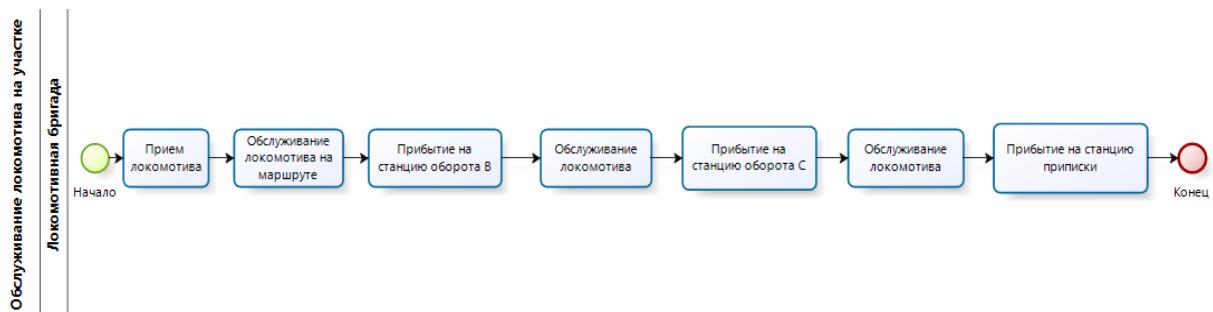


Рис. 8. Процессная модель оборота бригады при наличии нескольких пунктов оборота на одном участке работы локомотивной бригады

Fig. 8. The process model of the crew turnaround in the presence of several turnaround depots in one operation area of the locomotive crew

ные особенности Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог, является оптимизация алгоритмов для решения задачи с большим количеством исходных ниток.

Расчет потребности локомотивного парка требует решения способом, известным как задача «коммивояжера». Однако имеющиеся алгоритмы решения данной задачи подразумевают проход локомотива без прохождения технического обслуживания (ТО-2) при указанном набеге. Поэтому возникает необходимость использования ограниченного перебора вариантов маршрута – псевдооптимальных решений.

### **Особенности применения визуальных моделей оценки потребности локомотивов и локомотивных бригад**

Рассмотрение псевдооптимальных решений возникает из-за невозможности решения задачи «коммивояжера» полным перебором, при количестве ниток графика более 20 на одном участке затраты времени на решение данной задачи слишком велики. Реализация решения в ограниченном промежутке времени требует внесения различных ограничений. Например, используются следующие методы:

- для уменьшения объемов памяти вычислительных средств дерево вариантов рассматривается вглубь с удалением неподходящих вариантов;
- при прибытии на конкретную станцию рассматривается только несколько вариантов отправления максимально близких к минимальному простоя;
- при превышении текущего минимального количества локомотивов возврат вверх по дереву происходит до максимального простоя, что повышает равномерность распределения простоев;
- архитектура решения позволяет производить вычисления различных начальных ниток ГДП параллельно, что способствует уменьшению времени вычисления при выделении необходимых аппаратных ресурсов [17–20].

Данные способы позволяют успешно решать задачу построения ГДП при количестве ниток графика около 200. Данная цифра вариативна и зависит от структуры УОЛ, а также от структуры самого ГДП. Применение моделей в нотации

VRMN позволяет более подробно рассмотреть работу ЛБ как активных систем на различных участках железной дороги, оценить количество операций на участке.

Однако на УОЛ Октябрьской и Западно-Сибирской железной дороги может быть более 500 ниток, что многократно повышает сложность расчета [1, 2]. Подобные объемы заставляют вводить дополнительные ограничения, чтобы расчет выполнялся за определенное время, при этом минимизируется ухудшение результата с точки зрения количества необходимых локомотивов [1, 2]. Среди таких решений можно отметить:

- ограничение времени обработки одной стартовой нитки, что дает возможность производить ориентировочные прогнозы времени расчета – это особенно важно для крупных УОЛ;
- для конечных станций использовать завязку по принципу «первый прибыл – первый отправился»;
- для станций, на которых все локомотивы проходят обязательное ТО-2 завязка происходит по аналогичному принципу.

Данные методы позволяют уменьшить количество рассматриваемых вариантов путей следования, а также дают возможность прогнозировать время окончания расчета.

### **Заключение**

В рамках модернизации системы АСГОЛ-ГДС под особенности полигонов Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог были произведены структурные и алгоритмические изменения, которые позволяют с большей гибкостью описывать УРЛБ различных строений.

В рамках статьи продемонстрированы различия существующих моделей работы ЛБ в зависимости от типа участков и их оборота.

В качестве средства моделирования предлагается использовать нотацию VRMN, что позволяет сделать акцент в моделировании активных элементов системы организации движения. Она призвана облегчить понимание процессов, происходящих внутри УРЛБ, и проанализировать масштабы работы бригад на участках.

### **Список литературы**

1. Автоматизация расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад на график движения поездов с учетом индивидуальных особенностей полигона Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог в АСГОЛ-ГДС / М.А. Агеева, Е.А. Лаханкин, А.А. Подорин и др. // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование : сб. тр. VII науч.-техн. конф. «ИСУЖТ-2018». М. : НИИАС. С. 47–51.
2. Развитие алгоритмов и программных средств проектирования технологии и нормирования работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении / Е.А. Лаханкин, М.А. Агеева, И.С. Кондальцев и др. // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование : сб. тр. V науч.-техн. конф. с междунар. участием «ИСУЖТ-2016». М. : НИИАС, 2016. С. 198–201.

3. Методические указания по расчету потребности в поездных локомотивах грузового движения и показателей их использования по графикам движения поездов (ЦДЛ-60) : утв. ОАО «РЖД» от 25.06.2014 № 266.
4. Технология автоматизированного планирования и управления маршрутными перевозками / Е.Н. Лазарева, А.Ф. Бородин, В.В. Панин и др. // Железнодорожный транспорт. 2017. № 11. С. 16–23.
5. Об утверждении Правил приписки железнодорожного подвижного состава, предназначенного для перевозок грузов по железнодорожным путям общего пользования, к железнодорожным станциям инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : приказ Минтранса РФ от 28.03.2006 № 35.
6. Организация тягового обеспечения поездной работы. URL: <http://bit.do/ff5Uw> (дата обращения: 28.09.2019).
1. ба Организация тягового обеспечения поездной работы. URL: [http://xn--b1amah.xn--d1ad.xn--p1ai/wiki/Организация\\_тягового\\_обеспечения\\_поездной\\_работы](http://xn--b1amah.xn--d1ad.xn--p1ai/wiki/Организация_тягового_обеспечения_поездной_работы) (дата обращения: 19.06.2020).
7. Репин В.В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 329 с.
8. Chee Tahir A., Darton R.C. The process analysis method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation // Journal of cleaner production. 2010. №. 16–17. С. 1598–1607.
9. Which capabilities matter for successful business process change? / M.C. Jurisch, W. Palka, P. Wolf et al. // Business process management journal. 2014. № 1. P. 47–67.
10. Ten principles of good business process management / J. Vom Brocke, T. Schmiedel, J. Recker, et al. // Business process management journal. 2014. № 4. P. 530–548.
11. Mcivor R.T., Humphreys P.K., Mcaleer W.E. A strategic model for the formulation of an effective make or buy decision // Management desigion. 1997. № 2. P. 169–178.
12. Власов А.И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 10-2 (17). С. 17–26.
13. Власов А.И. Концепция визуального анализа сложных систем в условиях синхронных технологий проектирования // Датчики и системы. 2016. № 8-9 (206). С. 19–25.
14. Власов А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10–28.
15. Власов А.И., Гоношилов Д.С. Системный анализ производства с использованием визуальных инструментов BPMN // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 3. С. 10-16.
16. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Simulation of manufacturing systems using BPMN visual tools // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1353(1). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1353/1/012043> (access date: 12.06.2020).
17. Палагин Ю.И., В.А. Глинский, А.И. Мочалов Интермодальные транспортно-логистические процессы. экспедирование, технологии, оптимизация. СПб. : Политехника, 2019. 367 с.
18. Музычин В.В. Решение транспортной задачи применительно к грузовым железнодорожным перевозкам // Вестник БФУ им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2017. № 1. С. 38–47.
19. Артюхин В.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с помощью дискретной оптимизации и современных программных средств // Технологии гражданской безопасности. 2014. Т. 11. № 1 (39). С. 86–91.
20. Экономика железнодорожного транспорта: Вводный курс / Н.П. Терешина, В.А. Подсорин, Ю.И. Соколов и др. Саратов. ГК IPR MEDIA, 2019. 418 с.

## References

1. Ageeva M.A., Lakhankin E.A., Podorin A.A., Kibanov G.V. Avtomatizatsiya rascheta potrebnosti lokomotivov i lokomotivnykh brigad na grafik dvizheniya poezdov s uchetom individual'nykh osobennostei poligona Oktyabr'skoi i Zapadno-Sibirskoi zheleznykh dorog v ASGOL-GDS [Automation of calculating the needs of locomotives and locomotive crews on the train schedule taking into account the individual characteristics of the range of the October and West Siberian Railways in ASGOL-GD]. Sbornik trudov. Sed'maya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Intellectual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie» (ISUZhT-2018). Moskva, 14 noyabrya 2018 g. [Collection of works. Seventh scientific and technical conference “Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling” (ISUZHT-2018). Moscow, Russia, November 14, 2018], NIIAS OAO Publ., pp. 47–51.
2. Lakhankin E.A., Ageeva M.A., Kondaltsev I.S., Podorin A.A., Safronov A.I. Razvitie algoritmov i programnykh sredstv proektirovaniya tekhnologii i normirovaniya raboty lokomotivov i lokomotivnykh brigad v gruzovom dvizhenii [Development of algorithms and software for designing technology and normalizing the work of locomotives and locomotive crews in freight traffic]. Sbornik trudov pyatoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Intellectual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie» (ISUZhT-2016, Moskva, 17–18 noyabrya 2016 g). [Proceedings of the fifth scientific and technical conference with international participation “Intelligent control systems on railway transport. Computer and mathematical modeling” (ISUZT-2016, Moscow, November 17–18, 2016)], Moscow: NIIAS OAO Publ., 2016, pp. 198–201.
3. Metodicheskie ukazaniya po raschetu potrebnosti v poezdnykh lokomotivakh gruzovogo dvizheniya i pokazatelei ikh ispol'zovaniya po grafikam dvizheniya poezdov (TsDL-60), utverzhennyye ОАО «RZhD» 25.06.2014 [Guidelines for calculating the need for freight train locomotives and indicators of their use according to train schedules (CDL-60), approved by Russian Railways ОАО Jun 25, 2014].



4. Lazareva E.N., Borodin A.F., Panin V.V., Rubtsov D.V. et al. Tekhnologiya avtomatizirovannogo planirovaniya i upravleniya marshrutnymi perevozkami [Technology of automated planning and management of route transportation]. Zheleznodorozhnyi transport [Railway transport] 11-2017, pp. 16–23.
5. Prikaz Mintransa RF N 35 «Ob utverzhenii Pravil pripiski zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, prednaznachennogo dlya perevozok gruzov po zheleznodorozhnym putyam obshchego pol'zovaniya, k zheleznodorozhnym stantsiyam infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya» ot 28.03.2006 [The order of the Ministry of transport of the Russian Federation N 35 “about the approval Of rules of the registration of the railway rolling stock intended for transportation of goods on railway tracks of General use, to railway stations of infrastructure of railway transport of General use” dated Mar 28, 2006].
6. Organizatsiya tyagovogo obespecheniya poezdnoi raboty [Organization of traction support for train service]. URL: <http://bit.do/ff5Uw> (Accessed: September 28, 2019).
7. Repin V.V. Biznes-protsessy. Modelirovanie, vnedrenie, upravlenie [Business processes. Modeling, implementation, management]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2013.
8. Chee Tahir A, Darton R.C. The process analysis method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation. Journal of cleaner production, 2010, No. 16-17, pp. 1598–1607.
9. Jurisch M.C., Palka W., Wolf P., Krcmar H. Which capabilities matter for successful business process change? Business process management journal, 2014, No. 1, pp. 47–67.
10. Vom Brocke J., Schmiedel T., Recker J., Trkman P., et al. Ten principles of good business process management. Business process management journal. 2014, No. 4, pp. 530–548.
11. Mcivor R.T., Humphreys P.K., Mcaler W.E. A strategic model for the formulation of an effective make or buy decision. Management decision, 1997, No. 2, pp. 169–178.
12. Vlasov A.I. Sistemnyi analiz tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva slozhnykh tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem vizual'nykh modelei [System analysis of technological processes of production of complex technical systems using visual models]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International scientific research journal], 2013, No. 10-2 (17), pp. 17–26.
13. Vlasov A.I. Kontseptsiya vizual'nogo analiza slozhnykh sistem v usloviyakh sinkhronnykh tekhnologii proektirovaniya [Concept of visual analysis of complex systems in conditions of synchronous design technologies]. Datchiki i sistemy [Sensors and systems], 2016, No. 8-9 (206), pp. 19–25.
14. Vlasov A.I. Prostranstvennaya model' otsenki evolyutsii metodov vizual'nogo proektirovaniya slozhnykh sistem [Spatial model of estimation of evolution of methods of visual design of complex systems]. Datchiki i sistemy [Sensors and systems], 2013, No. 9 (172), pp. 10–28.
15. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Sistemnyi analiz proizvodstva s ispol'zovaniem vizual'nykh instrumentov BPMN [System analysis of production using visual BPMN tools]. [Information technologies in design and production], 2019, No. 3.
16. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Simulation of manufacturing systems using BPMN visual tools. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1353(1). art. No. 012043.
17. Palagin Yu.I., Glinskii V.A., Mochalov A.I. Intermodal'nye transportno-logisticheskie protsessy. Ekspedirovanie, tekhnologii, optimizatsiya [Intermodal transport and logistics processes. Forwarding, technology, optimization]. St. Petersburg: Polytekhnik Publ., 2019, 367 p.
18. Muzychin V.V. Reshenie transportnoi zadachi primenitel'no k gruzovym zheleznodorozhnym perevozkam [Solution of transport problem for freight rail transport]. Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. [Journal of the Kant Baltic Federal University. Series: Physical, mathematical and technical sciences], 2017, No. 1, pp. 38–47.
19. Artyukhin V.V. Prognozirovaniye chrezvychaynykh situatsii s pomoshch'yu diskretnoi optimizatsii i sovremennykh programnykh sredstv [Forecasting Emergencies with the Help of Discrete Optimization and Modern Software Tools]. Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti [Civil Security Technology], 2014, Vol. 11, No. 1 (39), pp. 86–91.
20. Tereshina N.P., Suborin V.A., Sokolov Yu.I., Kozhevnikov Yu.N. et al. Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: Vvodnyi kurs. Uchebnik [Economics of railway transport: Introductory course. A textbook]. Saratov, Ai Pi Ar Media Publ., 2019, 418 p.

### Информация об авторах

**Власов Андрей Игоревич** – к. т. н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: vlasovai@bmstu.ru

**Подорин Александр Андреевич** – аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: alex@podorin.ru

**Малеванный Артур Юрьевич** – магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: artumall96@icloud.com

**Лакханкин Евгений Александрович** – заместитель заведующего отделением эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем, Институт экономики и развития транспорта, г. Москва, e-mail: Lakhankin.e.a@gmail.com

### Information about the authors

**Andrei I. Vlasov** – Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: vlasovai@bmstu.ru

**Aleksandr A. Podorin** – Ph.D. student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: alex@podorin.ru

**Artur Yu. Malevanniy** – Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: artumall96@icloud.com

**Evgenii A. Lakhankin** – Deputy Head of Railway Operation and Transport Systems Interaction Subdepartment, Institute of Transport Economics and Development JSC, Moscow, e-mail: Lakhankin.e.a@gmail.com