

УДК 656.222.3

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПОРЯДКА НАЗНАЧЕНИЯ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД В ГРАФИКЕ ОБОРОТА ПРИГОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Пазойский Юрий Ошарович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Железнодорожные станции и транспортные узлы», Российский университет транспорта, Москва, Россия, E-mail: pazoyskiy@mail.ru
Вакуленко Сергей Петрович, к.т.н., профессор, заместитель директора Научно-исследовательского института транспорта, заведующий кафедрой «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы», Российский университет транспорта, Москва, Россия, Email: post-iuit@bk.ru
Калинин Кирилл Антонович, к.т.н., доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы», Российский университет транспорта, Москва, Россия, Email: kalinin.k.a@mail.ru
Сидоренко Никита Александрович, ведущий инженер НТК ЦМ В.И Уманского АО НИИАС, Москва, Россия, Email: sidorenko345@mail.ru
Уваров Алексей Антонович, ведущий инженер НТК ЦМ В.И Уманского АО НИИАС, Москва, Россия, Email: alex.dom.info@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В представленной статье описывается алгоритм, разработанный авторами для построения графика оборота пригородных поездов. Целью разработки является минимизация совокупного времени простоя локомотивных бригад в периоды ожидания движения поездов. Следствием данной оптимизации выступает сокращение потребности штатной численности бригад и операционных затрат на организацию перевозок на участках с высокой интенсивностью движения электропоездов. Описание предложенного алгоритма формализовано в виде блок-схемы, которая определяет логику назначения локомотивных бригад. В модель заложены следующие ограничения: минимально допустимое время оборота, а также установленные нормы труда и отдыха для персонала.

Ключевые слова: График оборота поездов, локомотивная бригада, оборотный тупик, путь оборота, график движения, блок-схема

ALGORITHMIZATION OF THE ORDER OF APPOINTMENT OF LOCOMOTIVE CREWS IN THE SCHEDULE OF TURNOVER OF SUBURBAN ELECTRIC TRAINS

Yuri O. Pazoyskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Railway Stations and Transport Hubs, Russian University of Transport, Moscow, Russia, Email: pazoyskiy@mail.ru
Sergey P. Vakulenko, Ph.D., Professor, Deputy Director of the Transport Research Institute, Head of the Department of Transport Business Management and Intelligent Systems, Russian University of Transport, Moscow, Russia, E-mail: post-iuit@bk.ru
Kirill A. Kalinin, PhD, Associate Professor of the Department of Transport Business Management and Intelligent Systems, Russian University of Transport, Moscow, Russia, E-mail: kalinin.k.a@mail.ru
Nikita A. Sidorenko, Leading Engineer of the Scientific and Technical Committee of the Central Research Institute of Economics and Umansky JSC NIIAS, Moscow, Russia, E-mail: sidorenko345@mail.ru
Alexey A. Uvarov, Leading Engineer of the Scientific and Technical Committee of the Central Research Institute of Economics and Umansky JSC NIIAS, Moscow, Russia, E-mail: alex.dom.info@gmail.com

ABSTRACT

This article describes an algorithm developed by the authors for constructing a commuter train turnaround schedule. The goal is to minimize the total downtime of locomotive crews while waiting for trains to depart. This optimization results in a reduction in the required crew complement and operating costs for organizing service on sections with high commuter train traffic. The description of the proposed algorithm is formalized in the form of a flowchart that defines the logic for assigning locomotive crews. The model incorporates the following constraints: minimum allowable turnaround time, as well as established work and rest standards for personnel.

Keywords: Train turnaround schedule, locomotive crew, turnaround dead end, turnaround route, traffic schedule, block diagram.

Введение

Организация движения пригородных электропоездов в крупных агломерациях является сложным и комплексным процессом, для реализации которого необходимо разработать, согласовать и апробировать ряд технологических документов, которые регулируют работу всех элементов транспортной инфраструктуры, участвующих в перевозочном процессе.

Разработка графика оборота пригородных электропоездов и графика работы локомотивных бригад для пригородных электропоездов в Московском узле требует детальной проработки и оптимизации графика движения поездов. Принятие иррациональных решений при разработке данных технологических документов могут привести к эксплуатационным потерям, завышенному простоя локомотивных бригад в ожидании отправления и неравномерному размещению ниток пригородных электропоездов в графике движения и графике оборота.

Рассмотрим типовой процесс оборота пригородного электропоезда на примере эксплуатации участка, где движения поездов организовано по принципу транзитного проследования городской части маршрута с остановками, и поезда проследуют из области в область. Фрагмент операций по смене головной кабины управления представлен на рисунке 1 (фрагмент а - прибытие и фрагмент б - отправление).

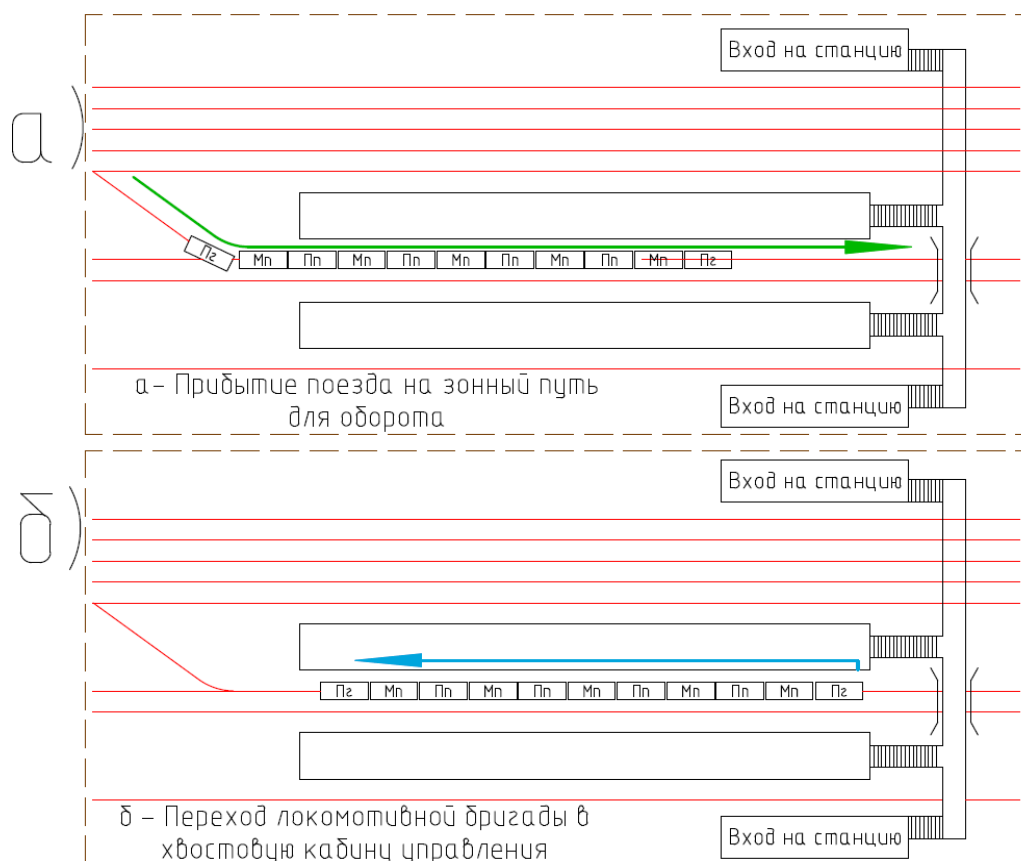


Рис. 1 – Фрагмент оборота пригородного электропоезда на зонном пути станции Л

На фрагменте (а) изображен процесс прибытия пригородного поезда на зонный путь рассматриваемой станции. После остановки поезда пассажиры покидают вагоны электропоезда, а локомотивная бригада приступает к выполнению технологического алгоритма по смене кабины управления. На рисунке 1(б) представлен маршрут перехода помощника машиниста из головной кабины в хвостовую. В это время машинист локомотивной бригады выполняет операции по отключению головной кабины управления, а затем также переходит в хвостовую кабину. После приведения кабины в рабочее состояние, члены бригады осуществляют сокращённую проверку тормозов, и после регламента «минутной готовности» отправляются со станции, рисунок 2 (в).

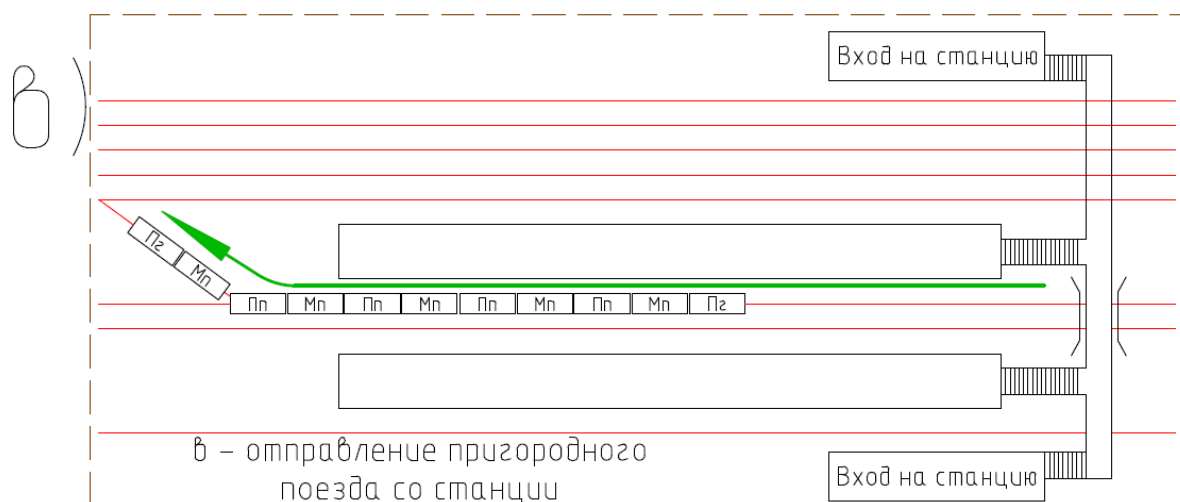


Рис. 2 – Отправление поезда со станции

Преимущество технологии оборота состава на зонном пути заключается в проведении операций по смене кабины управления непосредственно у платформы. Это обеспечивает возможность параллельного выполнения операций по смене кабины управления и проведении посадки/высадки пассажиров [1].

1. Формализация алгоритма назначения локомотивных бригад

При разработке метода автоматизированного назначения локомотивных бригад в графике оборота подвижного состава и локомотивных бригад, требуется определить систему выбора нитки графика движения поездов с учётом всех имеющихся входных параметров. Для Московского железнодорожного узла действует норматив времени на оборот пригородного электропоезда от 12 до 15 минут, точное время зависит от количества вагонов в составе поезда [2-5]. Фрагмент назначения оборота пригородного электропоезда приведен на рисунке 3.

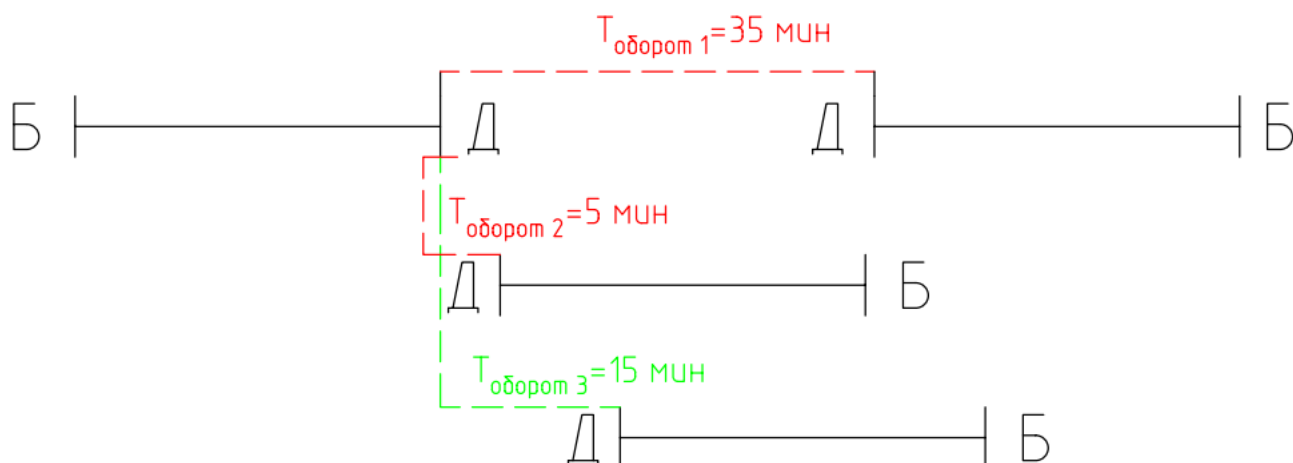


Рис. 3 – Схема выбора оптимального маршрута для размещения локомотивной бригады

На разработанной схеме приведен пример выбора оптимального нитки следования для локомотивной бригады, с учетом ограничений по времени на смену кабины управления. При минимизации времени простоев, локомотивная бригада способна совершить большее число рейсов, за общее время рабочей смены, однако необходимо учитывать ограничение на

установленный режим работы и отдыха локомотивной бригады. Применение описываемого алгоритма позволит минимизировать нерациональные простои локомотивных бригад без нарушения медицинских, эргономических и физиологических ограничений их работы:

$$T_{\text{раб}}^i \rightarrow T_{\text{Общ}} - T_{\text{Отд}} \quad (1),$$

где: $T_{\text{Общ}}$ – продолжительность смены локомотивной бригады, часов; $T_{\text{раб}}^i$ – суммарное время, которое проводит i локомотивная бригада в кабине управления, часов; $T_{\text{Отд}}$ – гарантируемое работодателем время нахождения в доме отдыха локомотивных бригад, часов.

Рабочим временем локомотивной бригады считается то время, когда локомотивная бригада находится в пути, стремящееся к $T_{\text{Общ}}$.

Оптимизация работы одной конкретной локомотивной бригады создаёт перед графистами участка другую технологическую задачу, а именно необходимость увязки графика оборота на зонных станциях [6-8]. При условии выбора из нескольких вариантов следует осуществлять назначение бригады по принципу максимизации полезного времени работы бригады, а также увеличению её суточного пробега. На рисунке 4 представлена схема выбора постановки при назначении локомотивной бригады на маршрут.

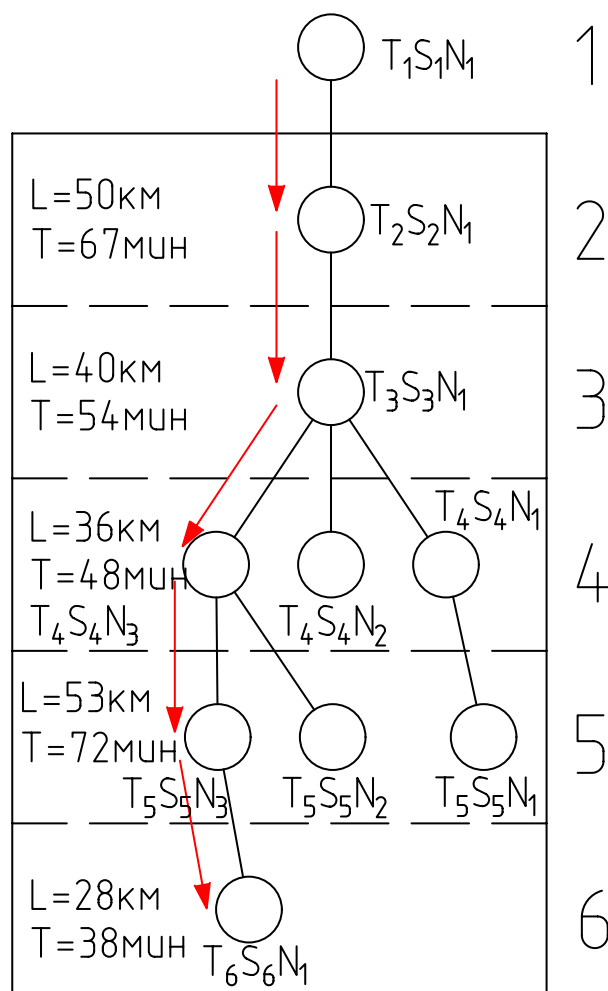


Рис. 4 – Схема постановки локомотивной бригады на маршрут

На рисунке 4 отображены все варианты назначения локомотивной бригады на рейс в течение суток. При использовании описанной технологии принятия решения об оптимальном размещении бригады на поезд, то есть выборе последующей ветви, обусловлен временем $T_{\text{раб}}^i$, стремящимся к нормативному времени работы локомотивной бригады, а также показателем пройденного расстояния S , значение которого, целесообразно выбирать наибольшим. Исходя из рисунка 4 маршрут бригады на рассматриваемые сутки принимает следующий вид:

$$T_1 S_1 N_1 \rightarrow T_2 S_2 N_1 \rightarrow T_3 S_3 N_1 \rightarrow T_4 S_4 N_3 \rightarrow T_5 S_5 N_3 \rightarrow T_6 S_6 N_1$$

В приведенном примере по заданному маршруту суммарное расстояние, преодолеваемое локомотивной бригадой, составляет 207 км. Общее время хода по перегонам составляет 4 часа 39 минут.

При разработке графика оборота поездов и назначении локомотивных бригад на рейсы предлагается использовать алгоритм, представленный на рисунке 5.

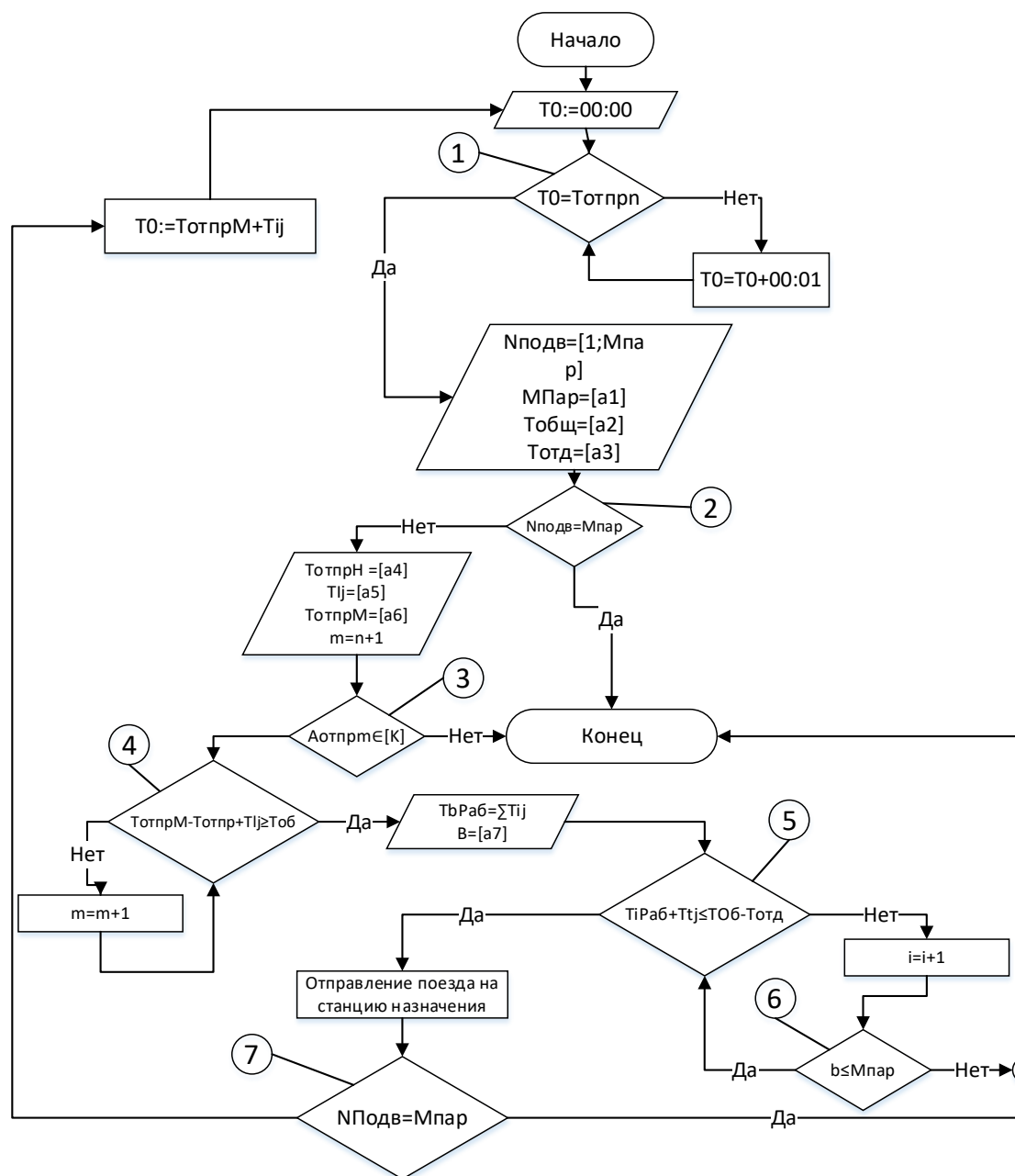


Рис. 5 – Блок-схема процесса назначения

Используемые обозначения:

T_0 – задаваемый временной параметр, указывающий начало работы алгоритма; $N_{\text{подв}}$ – количество пар ниток графика движения занесённых в график оборота; $M_{\text{пар}}$ – количество пар поездов в графике движения; A – массив данных о графике движения; n – номер нитки; m – номер следующей выбранной нитки; b – номер локомотивной бригады; $A_{\text{отпр}}^m$ – станция отправления нитки m ; $T_{\text{отпр}}^n$ – время отправления рассматриваемой нитки; T_i^j – время

проследования i нитки по j маршруту; $T_{отпр}^m$ – время отправления второй нитки в подвязываемой паре; K – массив данных о станциях, остановочных и раздельных пунктах на рассматриваемом перегоне; $T_{об}$ – нормативное время продолжительности оборота пригородного состава на станции, где осуществляется оборот.

Алгоритм на рисунке 5 разработан для внедрения в процесс составления графика оборота пригородных поездов упорядоченного порядка действий. В условиях, когда за счёт средств автоматизации (АРМ-графиста или Эльбрус) [9,10] нормативный график движения поездов создаётся сотрудниками вручную, на этапе разработки могут возникать ошибки по причине человеческого фактора, так как технологу-графисту необходимо учитывать сведения, предоставляемые дирекцией тяги, вагонниками, планы по техническому обслуживанию и капитальному ремонту.

В настоящий момент в отечественной практике эксплуатации пассажирского железнодорожного транспорта отсутствуют какие-либо внутренние нормативные документы или должностные инструкции, регулирующие процесс назначения локомотивных бригад при составлении графика оборота. Разработанный авторами алгоритм направлен на уменьшение вероятности принятия не рационального решения при выборе локомотивной бригады с целью её назначения на рассматриваемую нитку поезда [11]. В условиях отсутствия централизованного подхода, формализованного алгоритма, и внедрение ПО, обеспечивающего воспроизводимость результатов процесса назначения локомотивных бригад процесс их назначения в значительной степени подвержен человеческому фактору и субъективизму.

Блок-схема осуществляет выбор подходящей бригады в результате проверки 7 условий. В случае, если все условия удовлетворяют заданным требованиям эксплуатации участка, то бригада считается назначенной на конкретный рейс.

Условие №1 в представленной блок-схеме отвечает за поиск ближайшей свободной нитки. Поиск осуществляется посредством итерационного продвижения времени начала цикла на 1 минуту. В случае, если время начала цикла соответствует времени отправления нитки, алгоритм продолжает проверку последующих условий для поезда под соответствующим номером.

Проверка условия №2 заключается в определении количества ниток графика, уже указанных в графике оборота. Алгоритм продолжает работу в случае, если количество пар ниток не соответствует заданным размерам движения на участке. В случае, если значение $N_{подв}$ равняется $M_{пар}$ цикл завершается, поскольку в график оборота занесены все существующие нитки.

На третьем этапе проверяется возможность организации операции по обороту на станции отправления подвязываемой нитки $A_{отпр}^m$. Определение возможности осуществляется за счёт анализа массива данных K , который содержит информацию о техническом оснащении станций на моделируемом участке.

Затем алгоритм проверяет разницу между временем отправления нитки m и временем прибытия выбранного поезда n . Если полученное значение больше или равно нормативной продолжительности оборота пригородного электропоезда, установленного на рассматриваемом участке, скрипт переходит к проверке соблюдения условий труда локомотивной бригады.

В условии №5 осуществляется проверка выполнения обязательных норм по длительности смены и отдыху локомотивной бригады. В случае если сумма показателя накопленной полезной работы и продолжительности предстоящего рейса меньше, чем разница общей продолжительности смены и времени, выделяемого на отдых, то локомотивная бригада назначается на рассматриваемую поездку. Затем алгоритм повторно проверят количество ниток в графике оборота относительно показателя парности нормативного графика движения поездов. В случае, если условие $N_{подв} = M_{пар}$ выполняется алгоритм завершает работу. В противном случае алгоритм начнёт поиск последующих ниток, то есть начнёт цикл с начала. Таким образом время T_0 принимает следующий вид:

$$T_0 = T_{отпр}^m + T_t^j \quad (2)$$

С целью апробации алгоритма был разработан фрагмент графика движения поездов. На рисунке 6 приведен фрагмент графика движения поездов с учётом пикового и непикового периода.

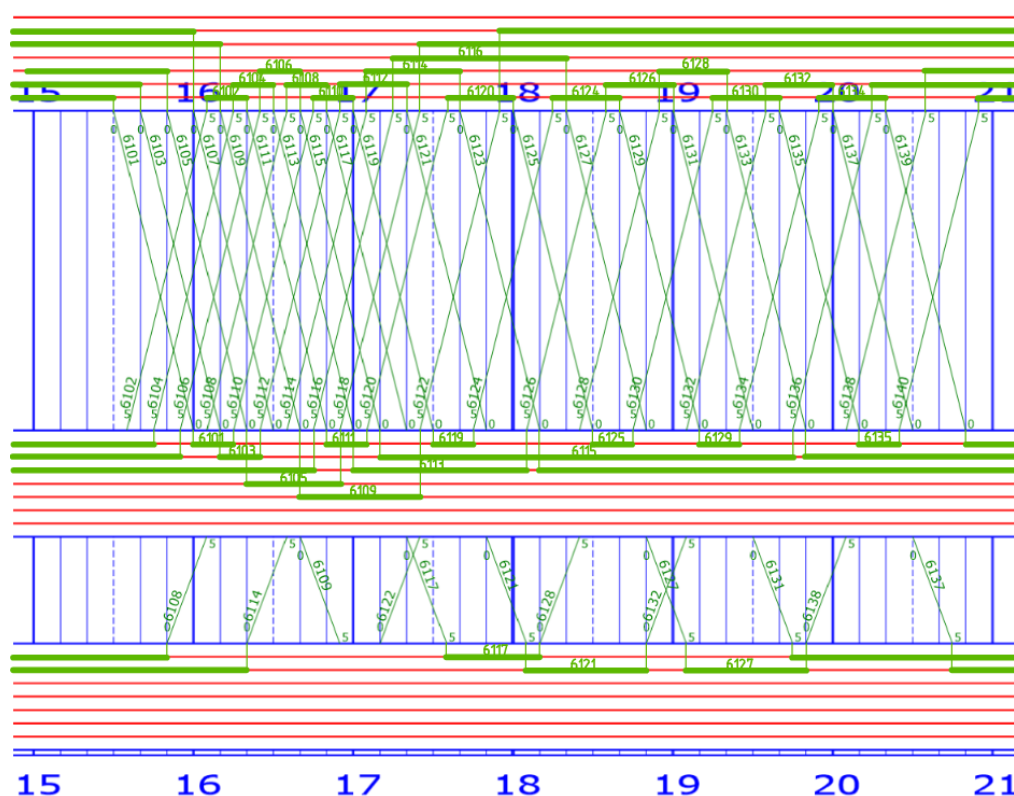


Рис. 6 – Фрагмент графика движения поездов

Стоит отметить, что алгоритм на рисунке 5 предназначен для железнодорожных участков, оборот на которых осуществляется на конечных станциях участка. Соответственно, алгоритм не учитывает возможность смены локомотивной бригады в пути следования на промежуточных станциях или остановочных пунктах.

На основе фрагмента графика движения поездов и предлагаемого алгоритма был разработан график оборота локомотивных бригад рассматриваемого участка. График оборота представлен на рисунке 7.

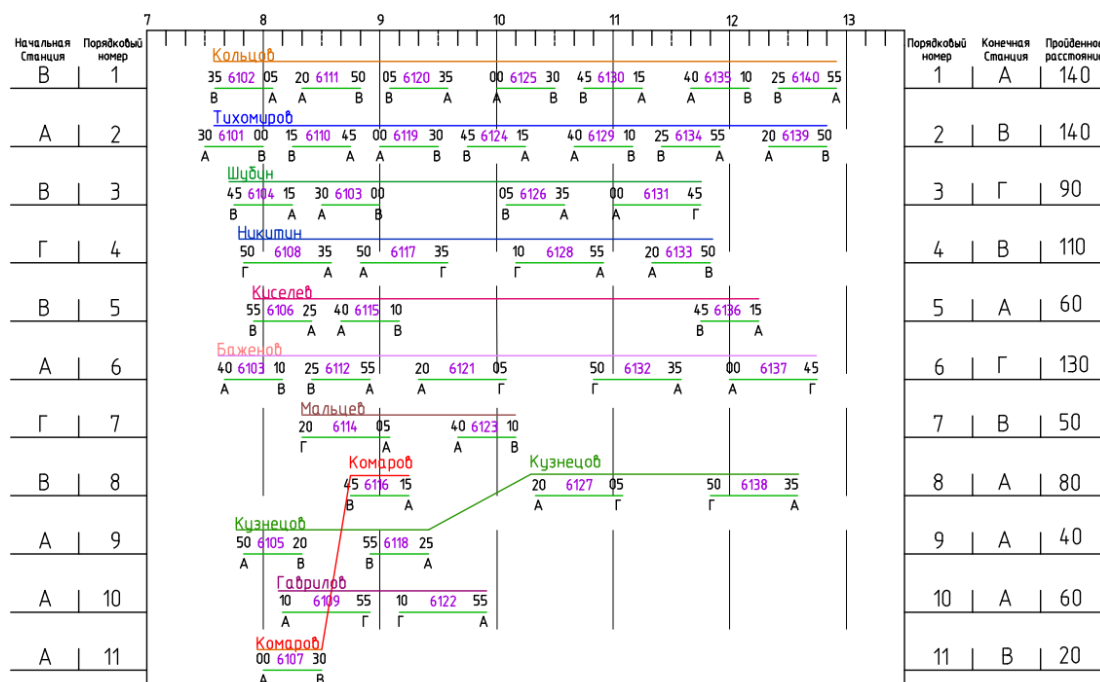


Рис. 7 – Фрагмент графика оборота локомотивных бригад

Исходя из данных, полученных при разработке графика оборота, определяется продолжительность работы локомотивных бригад, назначенных на рассматриваемые нитки. Накопленное время работы локомотивных бригад представлено в таблице 1.

Таблица 1

Показатели работы локомотивных бригад

№	Локомотивная бригада	Время работы, мин
1	Кольцов	210
2	Тихомиров	210
3	Шубин	135
4	Никитин	180
5	Киселев	90
6	Баженов	150
7	Мальцев	75
8	Кузнецов	90
9	Гаврилов	180
10	Комаров	60

Заключение

Применение разработанного алгоритма позволяет отслеживать динамику показателей работы участка и локомотивных бригад при изменении характеристик пассажира. Так для обеспечения качественного перевозочного процесса и необходимой провозной ёмкости пассажирского сообщения в пиковые часы интенсивность движения пригородных поездов увеличивается, что в обозначенном примере эквивалентно добавлению трёх дополнительных ниток в графике движения поездов. В часы пик, при интенсификации движения по участку для обеспечения смены головы пригородного электропоезда требуется оборудовать третий дополнительный путь для совершения оборота пригородных поездов, по причине нехватки свободных станционных путей, в связи с 15 минутным нормативом на оборот поездов.

Согласно принципам минимизации времени простоя локомотивных бригад, в ожидании нитки графика был описан разработанный алгоритм формирования рационального графика оборота локомотивных бригад. Также фактором, влияющим на работу разработанного метода, являлась продолжительность смены заданной локомотивной бригады.

В ходе выполнения работы были также разработаны фрагменты графика движения поездов в пиковый и непиковый период с применением разработанной методики размещения локомотивных бригад в графике оборота. Предложенная методика позволяет минимизировать время простоя локомотивных бригад, тем самым повышая суммарное время нахождения в кабине управления и эффективность её работы.

Список использованной литературы

1. Разработка единой технологии работы пригородных участков с различными межпоездными интервалами / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, А. Д. Ершов // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.*, Москва, 30 мая 2024 г. – М.: Рос. ун-т транспорта (МИИТ), 2024. – С. 63–70. – DOI 10.30932/9785002446094-2024-63-70.

2. Роменский Д. Ю. Пригородно-городские железнодорожные пассажирские перевозки на диаметральных маршрутах крупных транспортных узлов (на примере Московского транспортного узла): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. – М., 2021. – 240 с.
3. Биленко Г. М., Волков В. С. График оборота локомотивов как основа графика движения грузовых поездов // *Наука и техника транспорта*. – 2016. – № 2. – С. 79–86;
4. Роменский Д. Ю., Калинин К. А., Кулалаева М. В. Разработка принципов формирования клиентоориентированного графика движения поездов в пригородно-городских пассажирских перевозках // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф.*, Москва, 25 мая 2023 г. – М.: Рос. ун-т транспорта, 2023. – С. 330–337. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-330-337.
5. Бакин А. А. Алгоритм построения графика движения поездов с тактовым расписанием движения пригородных поездов // *Кочневские чтения – 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог: труды II Междунар. науч.-практ. конф.*, Москва, 19–20 апр. 2023 г. – М.: Рос. ун-т транспорта (МИИТ), 2023. – С. 316–321.
6. Козлов П. А., Копылова Е. В. Оптимизация оборота составов по обеспечению ниток графика пригородного движения // *Наука и техника транспорта*. – 2020. – № 2. – С. 68–73.
7. Бакин А. А. Метод разработки тактового графика движения пригородных поездов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. – М.: Рос. ун-т транспорта, 2024. – 24 с.
8. Организация пригородных железнодорожных перевозок: транспортные средства. Эксплуатация железных дорог: учеб. пособие / Ю. О. Пазойский, С. П. Вакуленко, А. В. Колин и др.; Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 270 с. – ISBN 978-5-89035-816-5.
9. Использование системы «ЭЛЬБРУС-Учебный» для подготовки студентов по специальности «Эксплуатация железных дорог» / С. П. Вакуленко, М. И. Мехедов, Д. Ю. Роменский и др. // *Железнодорожный транспорт*. – 2023. – № 4. – С. 50–54.
10. Цифровая прогнозная макромодель движения поездопотоков ЭЛЬБРУС-М / В. Ю. Кирякин, А. Г. Сахаров, С. А. Виноградов и др. // *Железнодорожный транспорт*. – 2024. – № 4. – С. 4–11.
11. Управление качеством графика движения поездов в железнодорожных узлах с интенсивным пригородным движением / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, М. В. Лукинская // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2024. – № 5. – С. 30–40. – DOI 10.36535/0236-1914-2024-05-5.