

В опубликованной в журнале статье\* были рассмотрены исторические аспекты теории и практики разработки графика движения поездов. Учеными и практиками железнодорожного транспорта выработано большое количество рекомендаций по составлению графика, но, в совокупности они имеют много противоречий. В результате качество составляемых графиков зависит от личного опыта и добросовестности конкретных исполнителей. Поэтому дальнейшее совершенствование графика было бы невозможно без четкой формализации и алгоритмизации процесса его составления.

## ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ

**А.Т. ОСЬМИНИН, доктор технических наук, профессор**

**В.А. АНИСИМОВ, кандидат технических наук, профессор  
Дальневосточного университета путей сообщения**

**Н.А. КЛЮЕВ, начальник отдела графиков движения и плана формирования поездов ГВЦ ОАО «РЖД»**

**Л.А. ОСЬМИНИН кандидат технических наук, научный сотрудник ПГУПС**

**В.В. АНИСИМОВ, кандидат технических наук, доцент ДВГУПС**

С 1950-х годов научные исследования ученых в области совершенствования графика движения поездов были направлены на применение ЭВМ для его построения и оптимизации. В числе наиболее выдающихся работ этого периода можно отметить труды А.П. Петрова, В.М. Акулиничева, В.В. Повороженко, Е.М. Тишкина, Н.А. Самариной, С.С. Жаброва, Г.И. Державец, Д.Ю. Левина и др.

В 1961 г. Е.В. Ададунова и Ю.С. Хандкаров разработали принципы составления парного параллельного графика движения поездов на однопутном участке с применением ЭВМ. Была сделана попытка унификации схем прокладки поездов на одном или двух смежных перегонах. Выделили три основных элемента, отличающихся разным уровнем заполнения пропускной способности перегонов: пилообразную

или пачечную прокладку линий хода на одном перегоне и пилообразную прокладку на двух объединенных перегонах. На основе унифицированных схем разрабатывался параллельный график для «характерных групп перегонов» на заданные или предельные размеры движения. Под «характерной группой» понимались последовательно расположенные перегоны, для которых была целесообразна определенная, единая для всей группы перегонов схема прокладки поездов.

Был разработан алгоритм расчета оптимальной схемы увязки «ниток» графика соседних характерных групп, включающий согласование числа поездов в конфигурациях каждой группы, удовлетворение требований оборота локомотивов путем корректировки схем на перегонах, примыкающих к станциям оборота, а также ряд других вопросов. Увязка начиналась от группы с наименьшим числом поездов в исходной конфигурации, которая обычно включала в себя ограничивающий

перегон. Предложенный метод увязки позволял определить наилучшие схемы прокладки линий хода поездов для повышения их участковой скорости.

В методическом плане важен вывод авторов о том, что «составление параллельного графика движения поездов на однопутных линиях является подготовкой к следующему основному этапу разработки алгоритма и программы для составления коммерческого графика...». Кроме того, указывалось на необходимость разработки режимов, позволяющих составлять график как на заданные, так и на предельные размеры грузового движения. Несмотря на важность этих методических положений, во всех последующих исследованиях ставилась задача составления графика исключительно на заданные размеры, и не делалось попытки использования промежуточного этапа разработки параллельного графика.

Основными недостатками использования предложенного алгоритма являлись отсутствие формализованной постановки задачи и отказ от применения математических методов для ее решения в то время как это позволило бы определить наиболее оптимальный вариант по выбранному критерию.

В 1961 г. Б.А. Завьяловым при разработке системы «Автодиспетчер» был предложен эв-

\*См. «Железнодорожный транспорт» №3, 2012.

ристический алгоритм выбора последовательности скрещений и обгонов для каждого поезда, основанный на принципе «расчлененно-связанных решений». Суть этого принципа заключалась в том, что каждый вариант решения конфликтной ситуации между основным и влияющим поездом оценивался на основе прогнозирования движения этих поездов на три перегона вперед и два перегона назад. Такая методика не позволяла составить нормативный график, поскольку не учитывалась организация работы локомотивных бригад и локомотивов, не обеспечивалось суточное «замыкание» и не предусматривался расчет времени отправления на участки грузовых поездов. Однако она явилась первым шагом в области создания системы автоматизированного управления движением поездов на участках.

Первый алгоритм составления нормативного коммерческого (непараллельного) графика движения поездов на однопутном участке был разработан в Институте кибернетики АН УССР под руководством Б.Дел Рио в 1962 г. Сущность метода заключалась в разбиении суточного периода на интервалы, в каждом из которых анализировалась вся совокупность конфликтных ситуаций. При определении лучшего варианта на каждом интервале был использован критерий минимума общей суммы стоянок с учетом «ценности» поездов.

Для повышения удобства перебора вариантов было предложено формировать двоичную шкалу, где каждый разряд отображал принятый вариант разрешения соответствующей конфликтной ситуации. В то же время такой подход предполагал независимость общего количества конфликтных ситуаций от способов их решения, что выполняется обычно для мало загруженных участков. После принятия одного или нескольких лучших ва-

риантов на очередном интервале осуществлялся переход к следующему. Возврат для корректировки ранее принятых решений не допускался.

Для решения задачи составления графика на однопутных участках А.Г. Барткус (ЛИИЖТ) предложил модифицированный метод линейного программирования для комбинаторных задач, названный дихотомическим. В качестве критерия оптимальности была выбрана функция расходов, связанных с простоем поездов. Описанный метод был единственной до 1964 г. попыткой строгой математической формализации решения задачи составления графика движения поездов на однопутном участке.

Анализ результатов расчетов по этому методу дает возможность утверждать, что полный отказ от использования эвристических правил решения конфликтных ситуаций не позволяет достичь результата, имеющего практическую значимость, из-за определенной идеализированности получаемых графиков и недопустимо больших затрат машинного времени. По нашему мнению, оптимальным является сочетание строгих математических методов, используемых на определенных этапах алгоритма, с эвристическими процедурами для учета особенностей работы конкретных однопутных участков и направлений.

Новый подход к составлению непараллельного графика движения поездов для однопутного участка был предложен В.К. Суворовым в 1966 г. Программное обеспечение было разработано и отлажено на ЭВМ «Урал-4». Проведены расчеты для ряда участков, оборудованных полуавтоматической блокировкой. В результате удалось достигнуть повышения участковой скорости на 1,5–2% по сравнению с графиком, составленным вручную. Однако, проведение массовых расчетов для сети по разработанной программе ока-

залось невозможным из-за огромных затрат машинного времени на выбор оптимального варианта. Выявились и недостатки подхода, основанного на «перегонной» прокладке линий хода поездов. Главная проблема заключалась в необходимости перестройки графика при съеме одной из докладываемых «ниток», что иногда приводило к возврату на начало расчета. Этот недостаток особенно существенен при составлении графика на размеры движения, близкие к предельным.

Впервые практическое применение составленных на ЭВМ графиков для однопутных участков было осуществлено на основе методики и программы, разработанных учеными ВНИИЖТа под руководством И.Т. Козлова и Г.Н. Тихонова. Метод построен на принципе выделения зон, в которых локализуется перебор вариантов пропуска поездов.

Был проведен сравнительный анализ возможных методик и выбран оптимальный с точки зрения вероятности потери качества при неверно принятых решениях способ выделения зоны. В каждой из локальных зон поезда одного направления имели преимущество перед встречными, что позволяло сократить вариантность задачи в целом. Этот принцип представляется весьма перспективным, однако присвоение более высокого приоритета поездам одного из направлений на всем участке в выделенной временной зоне приводило к появлению неравномерности движения в условиях высокого заполнения пропускной способности.

Проанализировав возможности существовавших в тот период математических методов, Г.Н. Тихонов сделал вывод о невозможности их применения и необходимости создания чисто эвристического метода составления графика. Такой подход означал попытку полного переноса ло-

гики инженера-графиста на язык программы, имея ввиду, что решения, принимаемые человеком, всегда лучше тех, которые выдает машина. Надо учитывать и тот факт, что инженер-графист имеет возможность совершенствовать графики из года в год, последовательно сохраняя лучшие из ранее найденных схем прокладки, а разработчик алгоритма и программы не может опираться на такую исходную информацию.

Программная реализация была осуществлена первоначально на ЭВМ «Урал-4», а затем и на машинах третьего поколения ЕС ЭВМ на языке PL1. Было достигнуто повышение участковой скорости для ряда участков, оборудованных полуавтоматической блокировкой. Но при попытке модернизировать программу с целью расчета графиков для участков, оборудованных автоблокировкой, с высоким уровнем заполнения пропускной способности, выяснилось, что используемые эвристические правила в большинстве случаев не позволяют достичь оптимального результата. Сравнение с ручной разработкой для однопутных участков Приволжской и Западно-Казахстанской железных дорог выявило недостатки машинного решения по условиям обеспечения пакетной прокладки линий хода поездов для форсирования размеров грузового движения.

Таким образом, полный отказ от строгих математических методов оптимизации, также как и игнорирование возможностей использования эвристических приемов и правил в других исследованиях, не могли привести к удовлетворительному для использования на практике решению проблемы автоматизированного составления графиков движения поездов на однопутных линиях. В вопросах разработки графика, также как и плана формирования поездов, неизбежны человеко-машинные алгоритмы (процедуры).

Еще один метод составления непараллельного графика был предложен Д.Ю. Джалиловым. По вычислительной процедуре он является итерационным. Каждая итерация состояла из двух этапов: формирования совокупности начальных точек появления поездов на расчетном участке и определения наилучшего варианта решения конфликтных ситуаций.

Для каждого поезда рассматривалась совокупность конфликтных ситуаций, образуемых фиктивным продолжением линий хода на два перегона вперед и на два перегона назад по отношению к рассматриваемому отдельному пункту. Времена отправления и прибытия грузовых поездов на участковые станции выбирались случайным образом, что требовало проведения большого числа расчетов для достижения оптимума предложенного стоимостного критерия. Подход не отличался принципиальной новизной и не позволял устранить недостатки ранее выполненных разработок. Существенным же в работе Д.Ю. Джалилова было создание математического обеспечения для автоматического вычерчивания графика на графопостроителе «Атлас».

Окончательно проблема автоматического вычерчивания была решена в работах сотрудников ВЦ ВНИИЖТа Л.М. Перцова и О.И. Мосоловой. Математическое обеспечение создано на языке FORTRAN для графопостроителей французской фирмы «Velson».

Тем не менее ручное составление графика движения поездов имело ряд слабых мест: контроль только визуальный, исполнение на бумаге в значительной мере зависит от индивидуальности чертjenника, не поддается стандартизации, тиражирование является отдельной проблемой, не решается в комплексе, все сопровождающие разработку графика документы, расчеты показателей выполняются вручную, нет информационного

обмена, информация выбирается из графика и вводится в связанных с ним задачах вручную.

Проблема автоматизации построения графика движения поездов на сети железных дорог относится к классу трудноформализуемых задач, что вытекает из большего количества критериев, по которым оценивается график. Она решается с позиции разработки человеко-машинной системы, позволяющей в диалоговом режиме вести разработку графика движения поездов и добиваться максимально приемлемых качественных показателей.

Для решения задачи по автоматизации разработки графика движения поездов на сети железных дорог России в 1980-х годах было начато создание системы централизованного составления графика движения поездов (ЦСГДП), руководство которой осуществляли департаменты управления перевозками и пассажирских сообщений ОАО «РЖД».

Для проведения централизованных расчетов графика движения поездов в системе ЦСГДП были созданы структурные производственные подразделения: отдел автоматизированных расчетов графика движения поездов в ГВЦ ОАО «РЖД», обеспечивающий общее методическое и программное руководство, и региональные центры по разработке графика движения поездов в ИВЦ железных дорог. Производственные подразделения системы в тесном взаимодействии с железными дорогами должны были обеспечивать поэтапную разработку нормативного графика движения поездов, корректировку его на зимний период, подготовку сопровождающих разработку графика печатных документов, информационный обмен на разных стадиях разработки графика, наполнение справочных систем расписаниями поездов. Полная информация по нормативным графикам с тех пор стала на-

капливаться в ГВЦ ОАО «РЖД».

Для автоматизированного составления графика движения поездов в 1990-х годах ГВЦ начал разработку комплекса программ «АРМ инженера-графиста», который на сегодняшний день эксплуатируется не только на всех железных дорогах России, но и на дорогах Украины, Узбекистана, Латвии и в различных проектно-конструкторских институтах. Помимо комплекса программ пониточной прокладки, являющегося автоматизированным средством разработки графика движения поездов, комплекс программ «АРМ инженера-графиста» включает в себя программный блок печати листов графика, справочную систему «Расписание движения пассажирских поездов» и программный модуль для автоматизированной подготовки книг расписания движения.

К началу 2010 г. на сетевом и дорожном уровне на основе персональных компьютеров была осуществлена автоматизация отдельных операций и технологических процессов разработки графика и его нормативной базы (рис. 1). Вместе с тем отсутствие

централизованной базы данных о техническом оснащении сети железных дорог, согласованной нормативно-справочной информации, возможности оперативной передачи данных в рамках единого информационного пространства, сохранение существенной доли ручного труда значительно снижают эффективность существующих программных разработок.

Особого внимания заслуживает проблема адекватного моделирования технического состояния участков, линий, магистралей, направлений и транспортных коридоров железнодорожной сети России для целей разработки и исполнения графика движения поездов. Техническое состояние железнодорожного участка, линии магистрали, направления или транспортного коридора – это конструкция и состояние постоянных устройств и сооружений данной транспортной системы, способы и технология перевозочного процесса, осуществляемого данной системой, а также подсистема управления ее работой на данный момент или период времени. Эти составляющие однозначно

обуславливают возможные массы  $Q_{\max}$  и максимально допускаемые скорости движения поездов  $V_{\text{доп}}$  определенных категорий, а также пропускную способность системы  $N$ . Разработка графика движения поездов определенной категории базируется на рациональном использовании транспортной триады  $Q_{\max} - V_{\text{доп}} - N$ , обуславливая экономическую эффективность перевозок.

Формально техническое состояние указанной транспортной системы не только представляется (идентифицируется) релевантными (существенными для разработки и реализации графиков движения поездов) параметрами их подсистем, но и отождествляется с этими параметрами.

Структуризация, агрегация и представление указанных параметров в единой и правильно организованной компьютерной базе данных, создание эффективной системы ведения (актуализации) этой базы является лишь первым шагом к комплексной автоматизации разработки графиков движения поездов. Определенная разработка такой системы управления базами данных выполнена в предшествующие годы в рамках создания АСУ-И (под руководством Департамента информатизации и корпоративных процессов управления ОАО РЖД) и комплексной автоматизированной системы разработки нормативного графика движения поездов КАС РНГДП (Проектно-конструкторско-технологического бюро по системам информатизации – ПКТЬ ЦКИ ОАО «РЖД», ЗАО «Диджитал Дизайн», ГВЦ ОАО «РЖД», ОАО «НИИАС» и ДВГУПС).

По инициативе Центральной дирекции управления движением Департамент информатизации и корпоративных процессов управления ОАО «РЖД» в 2010 г. приступил к построению комплексной автоматизированной системы разработки, согласования и акту-



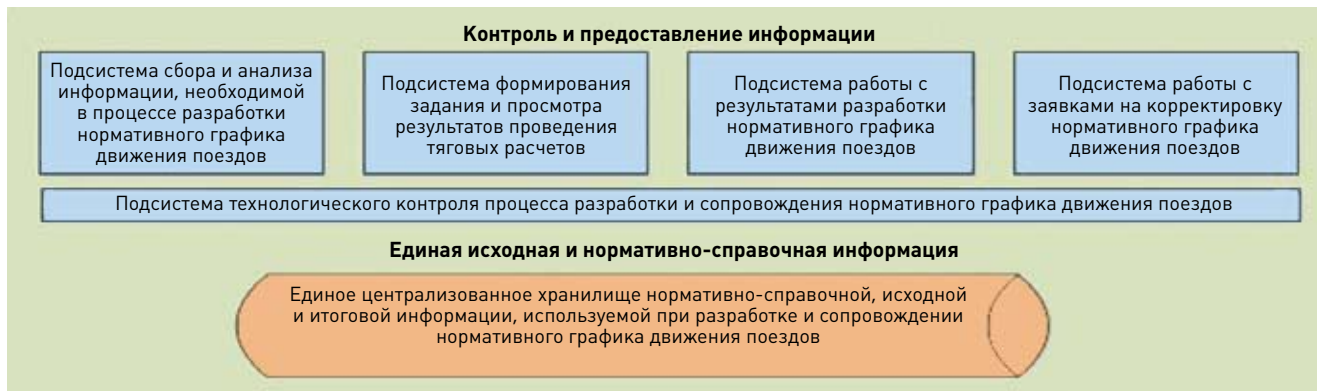


Рис. 2. Основные подсистемы КАС РНГДП

ализации нормативного графика движения поездов (КАС РНГДП) на основе единой исходной и нормативно-справочной информации и современных архитектурных решений в области проектирования и разработки автоматизированных систем. Главным исполнителем было назначено ПКТБ ЦКИ

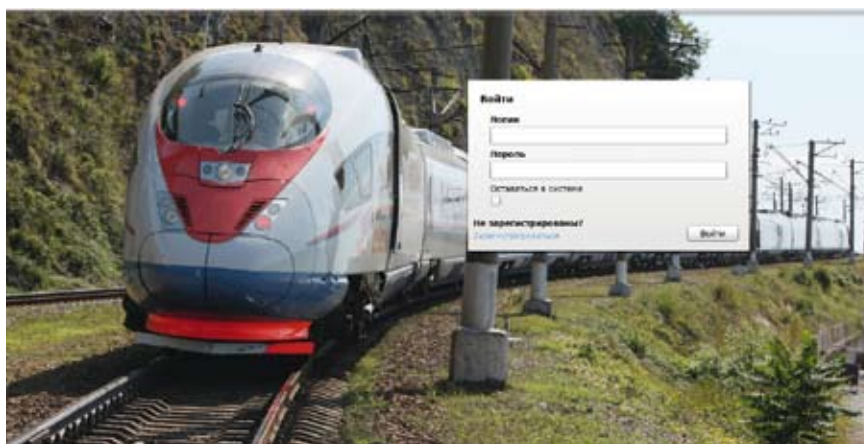
В 2010 г. ОАО «НИИАС» было разработано техническое задание на КАС РНГДП, а ЗАО «Диджитал Дизайн» создало программное обеспечение, позволяющее проводить схематическую прокладку «ниток» пассажирских поездов. Данное программное обеспечение было принято к постоянной эксплуатации в Центральной Дирекции управления движением ОАО «РЖД». На рис. 2 представлен перечень подсистем, составляющих ядро КАС РНГДП.

На состоявшейся в сентябре 2011 г. сетевой школе передового опыта «Соблюдение корпоративных принципов разработки нормативного графика движения поездов в условиях функционирования различных перевозчиков грузов и пассажиров» было принято решение о продолжении работ по созданию КАС РНГДП. С первого квартала 2012 г. в опытном режиме функционирует подсистема сбора и анализа информации, необходимой в процессе разработки нормативного графика движения поездов (ПСАИ КАС РНГДП).

Она автоматизирует процесс сбора и анализа исходной информации, необходимой для определения основных нормативов по пассажирскому и грузовому движению в составе длин составов и весовых норм поездов, серий локомотивов, участков обращения локомотивов и локомотивных бригад, участков подталкивания и двойной тяги, допускаемых скоростей движения по главным путям перегонов и станций, допускаемых скоростей движения на отдельных пунктах, постоянных и длительных предупреждений об ограничении скорости движения. Помимо этого ПСАИ КАС РНГДП обеспечивает контроль прохождения этапов разработки нормативного ГДП в соответствии с утвержденным технологическим процессом (рис. 3).

Одной из следующих задач является разработка и интеграция в КАС РНГДП нового, либо использования имеющего прикладного программного обеспечения, позволяющего оперативно формировать и обосновывать экономически эффективные проекты дорожных приказов на период действия предстоящего графика движения поездов об установлении допускаемых скоростей движения поездов на дороге по состоянию пути и установлении веса (норм массы) и длины пассажирских и грузовых поездов на дороге. Оба проекта приказов суть интегральное выражение технического состояния пути, сооружений и устройств направлений и станций дороги, обращающегося подвижного состава, объектов и систем

Рис. 3. Вход в КАС РНГДП



тягового обслуживания участков на определенный период времени. Эти проекты решающим образом определяют нормативы и элементы графика движения поездов и, в конечном счете, эффективность перевозок.

В настоящее время подготовка и обоснование допускаемых скоростей движения поездов для разработки графика движения осуществляется по техническим критериям, экономика учитывается экспертно. При этом в региональных дирекциях управления движением используется программное обеспечение ИСКРА-Путь. Нормы массы и длины грузовых поездов по участкам и направлениям железнодорожной сети устанавливаются на основе вариантных тяговых расчетов по системе ИСКРА-ПТР и унифицируются по направлениям с помощью системы ТЭКВес (технико-экономическое обоснование весовых норм грузовых поездов и отправительских маршрутов). Эта работа, выполняемая на стадии подготовки нормативов и элементов графика движения поездов, может и должна быть выведена на более высокий уровень автоматизации и экономического обоснования соответствующих решений.

Целесообразность такого подхода основана на следующих положениях. Рациональная норма массы грузовых поездов на конкретный год работы участка (линии, направления) в конкретном техническом состоянии может быть установлена технико-экономическим сравнением вариантов массы поездов в диапазоне, охватывающем максимально возможные перегонные массы грузовых поездов. При сравнении вариантов массы по суммарным приведенным годовым затратам может оказаться, что экономически эффективной является меньшая норма массы грузовых поездов по сравнению с максимально возможной в данном

состоянии. Это положение обосновано в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых и инженеров. При этом, как правило, подразумевается, что допускаемая скорость движения поездов для любого варианта массы принимается предельно возможной по условиям плана, профиля и мощности тяги при безусловном обеспечении безопасности, плавности и бесперебойности движения поездов.

В современных условиях назначение норм массы и допускаемых скоростей движения поездов, а также ликвидация ограничений скорости должны обосновываться по критерию минимизации издержек транспортного процесса в части, зависящей от скорости, но при безусловном обеспечении безопасности движения и освоении потребных объемов перевозок. В связи с этим возникает вопрос о рациональном сочетании норм массы и допускаемых скоростей движения поездов, которые должны быть приняты для разработки графика движения поездов.

Созданные теоретические основы и методы совместной оптимизации норм массы и допускаемых скоростей движения поездов с разработкой соответствующих проектов дорожных приказов формализованы с учетом возможностей современных математических методов и реализованы в программных комплексах ИСКРА-Путь, ИСКРА-ПТР и ЭРА. Это позволяет уже на стадии разработки нормативов и элементов графика движения поездов устанавливать рациональное сочетание весовых норм и допускаемых скоростей движения поездов на определенный период работы линии с учетом структуры и динамики планируемых и прогнозируемых перевозок. Однако уровень автоматизации решения указанной задачи пока ограничен использованием имеющихся локальных баз данных. В связи с

этим трудоемкость решения задачи может быть неприемлемой.

Переход на более емкую и содержательную централизованную базу КАС РНГДП открывает принципиально новую возможность — экономическое обоснование норм массы и допускаемых скоростей движения поездов для разработки графика движения при существенном повышении уровня автоматизации и значительном упрощении технологии подготовки проектов указанных приказов. В итоге срок решения задачи станет приемлемым. Для этого потребуются соответствующее расширение, модификация и интеграция в КАС РНГДП комплекса ИСКРА либо ЭРА. Также будет необходима их переработка в связи с предстоящим утверждением новых правил тяговых расчетов для поездной работы и утверждением новой инструкции по определению интервалов движения поездов.

В связи с внедрением нового подвижного состава, применением современных типов верхнего строения пути и вводом новых правил тяговых расчетов потребуются расширение и модификация существующих баз нормативно-справочной информации в отношении подвижного состава, норм допускаемых скоростей, нормативов тяговых и эксплуатационных расходов.

Подразумевается и дальнейшее расширение КАС РНГДП — не только для высокотехнологичной автоматизации подготовки нормативов и элементов графика движения поездов, включая проведение тягового-экономических расчетов, но и в целях интеграции в единый производственно-технический комплекс всех автоматизированных систем, задействованных в процессе разработки, корректировки и анализа графика движения поездов.

МОСКВА – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ –  
ХАБАРОВСК