

УДК 602-53.55

## ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТОЙ

С. А. Браништов<sup>а</sup>, канд. техн. наук

Д. А. Тумченко<sup>а</sup>, инженер-программист, аспирант

А. М. Ширванян<sup>а</sup>, инженер-программист, аспирант

<sup>а</sup>Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, РФ

**Постановка проблемы:** на примерах известных систем управления движением поездов на крупной железнодорожной станции показано, что функции оперативного персонала на уровне станции автоматизированы слабо. Целью работы является разработка алгоритмов для автоматизации ряда задач оперативного управления. **Методы:** исследованы задачи планирования маневровых работ, формирования суточного плана-графика станции, выбора и приготовления маршрутов движения. **Результаты:** разработаны и описаны алгоритмические решения для автоматизации процесса формирования суточного плана-графика работы станции, что позволило сделать удобным и простым этот процесс, а также гибким и эффективным — принятие решения по обработке поездов в сложных и нестандартных ситуациях. **Практическая значимость:** результаты исследований и алгоритмические решения использованы при разработке программ для автоматизированного рабочего места дежурного и технолога станции. Они позволяют упростить работу персонала, снизить долю его ошибок и повысить безопасность управления.

**Ключевые слова** — система поддержки принятия решения, суточный план-график работы станции, поездная и маневровая работа, местная работа.

### Введение

Управление движением и обеспечение безопасности — это всегда важные и сложные задачи на железной дороге. С каждым годом наблюдается рост заказов на перевозки, повышается интенсивность движения, а возможности инфраструктуры сохраняются прежние. Для повышения уровня обслуживания на железной дороге эффективное составление расписания и стратегия управления движением в режиме реального времени играют ключевую роль. Проблеме проектирования расписания уделяется много внимания. Формирование расписания — длительная процедура, включающая интенсивные переговоры между заинтересованными сторонами и опирающаяся на доступные производственные ресурсы. В то же время системам поддержки принятия решения при управлении движением в реальном времени внимание почти не уделяется. Между тем автоматизированные системы позволяют находить лучшие варианты решения и полнее использовать возможности железнодорожной инфраструктуры. Сложность создания таких систем заключается в реализации большого количества взаимозависимых операций в режиме реального времени при частом возникновении отклонений от расписания и ограниченных сроках времени для принятия решения. На станции регулярно регистрируются небезопасные ситуации. Например, внезапная остановка поезда по стоп-крану создаст аварийную ситуацию, а задержка поезда приведет к нарушению графика движения и повлияет на расписание последующих поездов. Организация движения

поездов на станции — сложный многосвязный процесс, результат которого зависит от надежности технических устройств, квалификации работников и даже от случайных событий внешней среды.

### Анализ систем автоматизации диспетчерского управления

Для организации движения поездов и местной работы разрабатывается суточный план-график работы станции, включающий время приема и отправления поездов, маршруты движения, маневровые, погрузо-разгрузочные, ремонтные работы и пр. Расписание предусматривает распределение во времени и пространстве всех движущихся через станцию поездов, а также резервирование путей для поездов, которые могут быть назначены дополнительно.

В настоящее время функции организации движения, ответственность за исполнение расписания и обеспечение безопасности возложены на дежурного по станции [1]. Он выполняет следующую работу:

— оценивает поездную обстановку и фактическое положение на станции, принимает оптимальные решения по организации движения поездов и маневровой работы с учетом сложившейся ситуации, осуществляет планирование движения по станции в пространстве и во времени на перспективу;

— выполняет операции по приготовлению маршрутов приема, отправления, пропуска поездов и маневровых передвижений с пульта управления устройствами электрической централиза-

ции стрелок или сигналов или дает распоряжения на приготовление маршрутов работникам исполнительных постов;

- осуществляет непрерывный контроль передвижения поездов, принимая оперативные меры в случае каких-либо отклонений от нормального движения, ведет переговоры с машинистами;

- заблаговременно информирует работников станции об опоздании пассажирских поездов, изменении времени их стоянки и путей приема;

- отмечает время прибытия, отправления и проследования поездов в журнале движения поездов, ведет другую поездную документацию.

В работе дежурного требуется точность самостоятельных управляющих действий и точность передачи распоряжений персоналу станции и машинистам, максимальная сосредоточенность и контроль всех процессов, глубокий анализ ситуации и способность прогнозировать ее развитие. В периоды высокой интенсивности движений требуется еще и скорость принятия решения. А в случае аварий технических средств управления, неисправности транспортных средств и нарушения графика движения объем и скорость работы возрастают.

На практике отмечается, что 80 % всех нарушений безопасности движения в перевозочном процессе так или иначе связаны с виной дежурных по станции. Замечены случаи, когда вместо требуемого управляющего действия выполнялось другое действие или оператор вообще не счел нужным совершать какое-либо действие. Наблюдались ошибки вследствие нарушения восприятия информации, усталости, забывчивости, рассеянности, неспособности выполнить требуемое действие по причине сильной растерянности, оцепенения, испуга; отмечались слишком быстрые или слишком медленные действия, несоблюдение требуемой последовательности действий [2].

В целях автоматизации и централизации диспетчерского управления перевозками получили широкое распространение различные компьютерные системы управления движением поездов, заменившие аппаратуру диспетчерской и станционной электрической централизации.

В США, Канаде, Японии, Италии и других странах созданы автоматизированные диспетчерские центры управления с индивидуальными автоматизированными рабочими местами (АРМ) для диспетчеров [3]. С помощью таких центров обеспечивается руководство эксплуатационной работой на крупных железнодорожных полигонах, а в Италии — на территории всей страны.

В США компанией Union Pacific Railways внедрена система автоматизации управления работой сортировочных станций и диспетчерской централизации. Управление движением поездов

в диспетчерском центре осуществляется автоматически. Система позволила повысить скорость и безопасность движения поездов, производительность труда обслуживающего персонала и обеспечила более эффективное использование энергоресурсов [4].

С 1991 г. в Канаде функционирует Центр управления перевозками. На большой экран выводится информация обо всех поездах, находящихся на участках между выделенными станциями. В зависимости от величины отклонения от графика движения поезда помечаются четырьмя различными цветами, поезда с опасными грузами отмечаются особо. Моделирование позволяет периодически корректировать график движения поездов. Используются автоматизированные системы планирования поездной работы (ТОРС) и составления графика оборота локомотивов и привязки их к поездам (MPS). Диспетчеры могут просматривать текущее поездное положение, оперативный архив за последние 24 ч и вперед на срок до 48 ч [5].

В Японии до 1995 г. использовались системы COMTRAC (система автоматизированного управления движением) и SMIS (информационно-управляющая система) [6], однако они не справлялись с нагрузками в нештатных ситуациях. В 1995 г. компанией JR EAST была внедрена новая информационно-управляющая система COSMOS. Интегрированная система COSMOS состоит из семи подсистем, включая управление, техобслуживание и энергоконтроль. Подсистема управления движением поездов выполняет такие функции, как вывод на экран информации о местоположении поезда и опозданиях, управление маршрутами и поддержка при восстановлении нормального хода перевозочного процесса. Основываясь на данных исполненного графика, система COSMOS позволяет создать график-прогноз движения поездов, в котором рассчитаны времена прибытия и отправления [7].

В Италии автоматика центрального диспетчерского поста работает в двух режимах. Первый — режим жесткого программирования, который заключается в выборе маршрутов в строгом соответствии с графиком. Второй — режим консультирования, при котором диспетчеру предлагается несколько вариантов решения для каждой конкретной ситуации и предоставляется право выбора любого из них. Особенностью системы является представление на экранах графика движения поездов, рассчитанного с помощью ЭВМ. Модуль информации о движении поездов и состоянии инфраструктуры предоставляет в режиме реального времени следующие сведения: местоположение, скорость и опоздание поездов; маршруты, установленные для прохода поездов через станции; состояние

переездов. Существуют также средства прогнозов по движению поездов, поддержки принятия решений, статистического анализа. Система контроля и управления движением поездов предоставляет диспетчеру инструменты анализа графиков движения и подготовки суточных отчетов по поездной работе [8].

В России в начале 80-х гг. прошлого века были развернуты работы по совершенствованию, организационно-функциональной перестройке и автоматизации диспетчерского управления перевозочным процессом на железных дорогах бывшего СССР по нескольким направлениям. Одним из направлений является создание и внедрение современных компьютерных систем диспетчерской централизации, диспетчерского контроля и АРМ поездных и узловых диспетчеров, АРМ дорожных диспетчеров и дежурных по станциям на базе автоматического съема информации с устройств сигнализации, централизации, блокировки и связи с автоматизированной системой оперативного управления перевозками. Примером такой системы является Ebilock-950 компании «Бомбардье Транспортейшн», которая предназначена для автоматизации задания маршрутов, управления и контроля объектами на станции. Ebilock-950 обладает рядом преимуществ по сравнению с централизацией релейного типа [9]. Она более надежна, функциональна, информативна, проста в эксплуатации и более рентабельна.

Развитие информационных систем на железных дорогах России направлено на автоматизацию следующих производственных и технологических процессов:

- прогнозирование, планирование, контроль, учет и анализ процесса перевозок;
- оперативное управление движением поездов и местной работой;
- обеспечение поездов локомотивами, бригадами и вагонными парками;
- планирование работ по ремонту и содержанию технических средств.

Установлен курс на переход от информационных систем к информационно-управляющим интегрированным системам на базе аналитических и прогнозных моделей. Тем не менее на текущий момент большинство автоматизированных систем (ГИД «УралВНИИЖТ» [10], «ДИСПАРК», «ДИСКОН» и др.) на российских железных дорогах являются информационными, т. е. они предоставляют всеобъемлющую информацию по положению поездов и состоянию объектов инфраструктуры, но не предлагают интеллектуальных алгоритмов автоматизированного управления — принятие решения и выдача управляющих воздействий в прежнем объеме сохраняются за человеком.

## Функции программного обеспечения АРМ дежурного по станции

Проблема выбора маршрута в том, что необходимо учитывать пункты следования и маршруты движения последующих в расписании поездов. Выбираемый маршрут должен занимать горловину станции так, чтобы не блокировать движение других поездов. В периоды высокой интенсивности движения контролировать это непросто, могут возникать ситуации, когда использование путевого развития таково, что нет больше возможности найти свободные пути для движения поезда. В таком случае должны применяться и другие меры по управлению поездами, например: допустимое манипулирование временем движения поездов по станции, планирование маневровых перемещений, смена платформы приема, использование сложных маршрутов со сменой направления движения и др. [11].

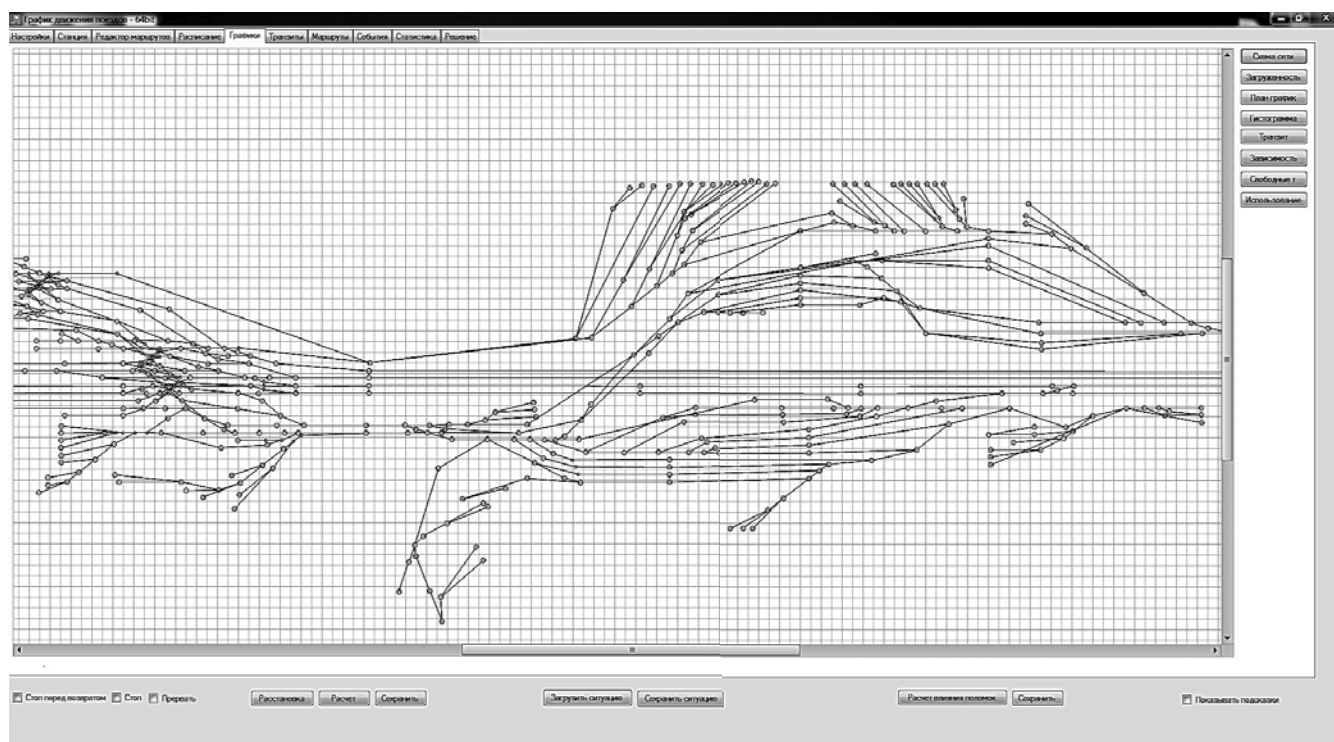
Для выбора маршрутов необходимо одновременно решать следующие задачи: прогнозировать занятость путей во времени; проверять на соответствие тип поезда и специализацию пути приема; учитывать зависимости стрелок и сигналов, ограничение скорости движения на участках и стрелках и направления движения на перегонах; обеспечивать интервалы безопасности между поездами.

## Выбор и приготовление маршрутов приема/отправления поезда и маневровых перемещений

Для крупных железнодорожных станций характерна разветвленная схема путей и, как правило, существует несколько возможных маршрутов движения между двумя точками станции. Имеющаяся система сигнализации, централизации, блокировки предлагает дежурному основной маршрут движения. Она помогает проверить маршрут на скрещении с уже занятыми и зависимыми путями и приготовить его — установить в нужное положение стрелки и сигналы светофора. Если требуется альтернативный маршрут, то дежурный вручную переключает стрелки так, чтобы сформировать иной маршрут.

При назначении маршрута дежурный осуществляет выбор самостоятельно на основании текущей ситуации и личного опыта. Для автоматизации этого процесса авторами был разработан и реализован в программном обеспечении алгоритм выбора маршрута. Пример окна со схемой станции показан на рис. 1.

В реальном времени при эксплуатации на этой схеме могут отображаться установленные маршруты движения и варианты для вновь организуемых маршрутов. Чтобы избежать полного перебора возможных вариантов в алгоритме, принято



■ **Рис. 1.** Схема путевого развития станции

использовать следующий критерий выбора лучшего маршрута. Во-первых, маршрут следует выбирать такой, который не является враждебным уже выбранным ранее маршрутам. Во-вторых, для каждого поезда находится такой маршрут, который перекрывается меньше всего раз по общим участкам пути с вероятными маршрутами других поездов в течение времени его движения. Так найденный маршрут будет иметь наименьшую вероятность скрещения с последующими поездами.

Алгоритм реализован следующим образом. Вначале находится множество вариантов маршрутов для рассматриваемого поезда и вычисляется время движения поезда по каждому из них с учетом профиля скорости вдоль маршрута ( $\Delta t_{dr}$ ). Чтобы учесть влияние этого поезда на максимально возможное число последующих поездов, берется наибольшее время.

Определим время движения. Пусть  $t$  — момент начала движения (маршрута) поезда по станции. Для поездов, отправляющихся со станции, этот момент соответствует указанному в расписании  $t_{dep}$ , а для прибывающих поездов — это момент времени входа в горловину станции, он должен быть рассчитан так, чтобы поезд прибыл на платформу не позднее указанного в расписании момента времени  $t_{arr}$ . Таким образом, максимальное время движения по станции

$$[t, t + \Delta t_{dr}],$$

где  $t = t_{dep}$  — для отправляющихся поездов,  $t = (t_{arr} - \Delta t_{dr})$  — для прибывающих.

На втором этапе отбрасываются те варианты маршрутов, которые пересекаются с уже подготовленными маршрутами других поездов по общим элементам сети. Оставшимся вариантам движения рассматриваемого поезда раздаются веса в соответствии с влиянием на последующие поезда. Вес вычисляется как сумма числа использования элементов маршрута всеми поездами в рассматриваемом интервале времени. Выбирается тот маршрут, чей вес наименьший. На исследуемой пассажирской станции обнаруживались такие моменты времени, когда в движении находилось одновременно 7 поездов. Пример такой ситуации представлен на рис. 2. Эти поезда выделены рамками.

Шкала времени и моменты движения поездов показаны на рис. 3. Для поезда № 7116 на отрезке времени [07:45; 07:53] задан маршрут № 252, и этот поезд находится в движении (см. рис. 2). У рассматриваемого поезда № 6207 имеется 23 варианта маршрута, и необходимо выбрать один из них. Максимальное время его движения 7 мин (с 07:46 до 07:53), в этот период начнут свое движение поезда 6809, 6610, 5552, 6703, 6611. Выбираемый маршрут должен менее остальных влиять на движение этих поездов и не пересекаться с поездом 7116. После выбора маршрута для каждого последующего поезда должен быть хотя бы один незаблокированный маршрут.

График движения поездов - 64bit

Настройки | Станция | Редактор маршрутов | Расписание | График | Транзиты | Маршруты | События | Статистика | Решение

РАСПИСАНИЕ | Расчет

Имя: Тест 5 Описание: пллп

Номер поезда прибытия	Номер главного пути	Время прибытия поезда	Номер пути	Станция отправления	Оборот составов	Номер поезда отправления	Номер главного пути	Время отправления	Номер пути	Станция назначения
					от 6403	6004		07-34	11	Пушкино
6607	I	07-37	13	Монино						
6205	III	07-38	11		под 6308					
					от 6007	6504	II	07-42	10	Болшево
7201	III	07-43								
6009		07-43	12		под 6006					
					от 7109	7116	IV	07-45		
					от 6203	6610	II	07-48	14	Монино
7111	III	07-48			под 7118					
					от 7107	5552	IV	07-49	4	
6609	I	07-49	15							
6207	III	07-53	8	Сергиев Посад	под 6210					
6809	I	07-55	14		под 6818					
					от 6009	6006	II	07-58	12	
6703	III	07-58	10		под 6706					
					от 7111	7118	IV	08-00		
6611	I	08-00	13							
7113	III	08-03			под 7120					
					от 6807	6208	IV	08-05	7	Сергиев Посад
6011	I	08-06	12		под 6008					
					от 6205	6308	II	08-06	11	

Выбрать расписание | Импорт из файла Excel | Добавить | Удалить | Номер

Стоп перед возвратом  Стоп  Прервать | Расстановка | Расчет | Сохранить | Загрузить ситуацию | Сохранить ситуацию

Рис. 2. Фрагмент окна с расписанием

При таком подходе, когда выбирается маршрут с наименьшим влиянием на движение других поездов, можно гарантировать нахождение

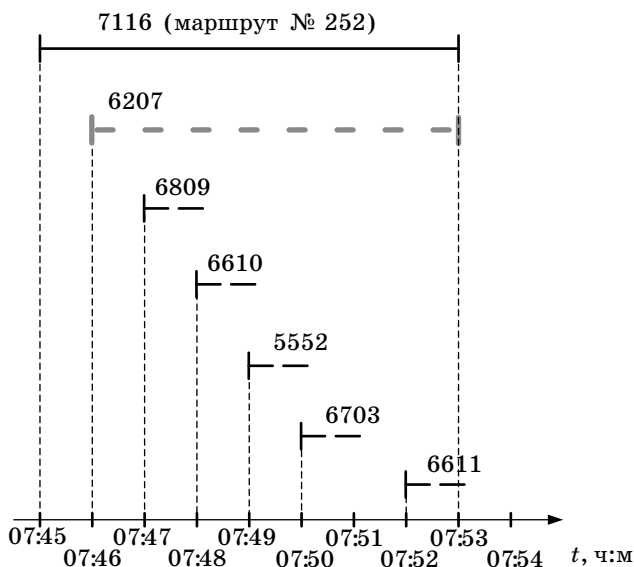


Рис. 3. Диаграмма движения поездов

реализуемого маршрута в условиях высокой загрузки станции.

**Контроль исполнения расписания движения**

График движения поездов является основным нормативно-технологическим документом, регламентирующим работу всех подразделений железнодорожного транспорта по организации движения поездов. Он определяет технологию эксплуатационной деятельности всей сети железных дорог, объединяет и организует работу всех линейных подразделений, участков и направлений дорог в единую транспортную систему [12].

Следование графику — одно из приоритетных требований к работе дежурного по станции, которое бывает довольно сложно выполнить, особенно при возникновении нештатных и аварийных ситуаций, например при технических неисправностях путей. В эти моменты доступные маршруты движения могут быть резко ограничены. Однако если допустить небольшое смещение времени движения по станции какого-либо поезда, то это позволит существенно упростить задачу поиска свободных маршрутов движения и разрешить сложную ситуацию.

В соответствии с технологическим процессом [13] задержка поезда по прибытию/отправлению до 5 мин не является грубым нарушением графика движения. Это допущение может быть использовано в алгоритме организации движения так, как описано ниже.

В первую очередь следует рассмотреть все варианты маршрутов движения. Затем, если не удастся найти свободный маршрут, проверяется возможность манипулировать временем движения одного или нескольких поездов. А именно, вычисляется величина сдвига времени движения поезда по горловине станции с допуском возможной задержки не более 5 мин (этот допустимый предел определяется экспертно). В случае если эта величина превышает допустимый предел, производится коррекция времени следования нескольких близких по расписанию поездов. На окончательный выбор решения влияет общая величина коррекции, число поездов, подвергшихся изменению.

Если для разрешения сложившейся ситуации не достаточно смещения времени движения одного поезда и ближайших поездов или коррекция вызывает значительные изменения расписания движения, то применяются другие методы поиска свободного маршрута, например, смена платформы приема поезда.

В каждом подобном случае предлагается несколько вариантов решения, среди которых выбирается лучший на взгляд ответственного лица, принимающего решение.

#### Планирование событий для маневровых работ

В целях предупреждения затруднительных и аварийных ситуаций дежурный обязан планировать заранее как поездную, так и маневровую работу. В большинстве случаев удается запланировать работу на сутки вперед по каждому событию и зафиксировать в суточном плане-графике работы станции. Но бывают периоды большой загрузки станции по поездной и маневровой работе, в которые приходится принимать новые решения в оперативном порядке. Дежурный должен изыскивать все доступные ресурсы времени, инфраструктуры и подвижного состава, чтобы выдерживать график движения.

Например, поезд  $N$  по расписанию отправляется со станции в момент времени  $t_{dep}$ . В соответствии с технологическим процессом для посадки пассажиров состав должен быть подан на платформу заблаговременно — за  $t_m$  мин (для поездов дальнего следования — за 40 мин, для пригородных поездов — за 25 мин). Таким образом, интервал времени, в течение которого может выполняться маневровая работа:  $[t_{rel}; t_{dep} - t_m]$ , где  $t_{rel}$  — время освобождения платформы предыдущим поездом.

Для отправляющихся поездов в парк или депо доступный интервал выглядит следующим образом:  $[t_{arr} + t_n; t_{next}]$ , где  $t_{arr}$  — время прибытия поезда на платформу;  $t_n$  — время, необходимое для выгрузки пассажиров, санитарной обработки вагонов и пр.;  $t_{next}$  — время прибытия следующего поезда на эту же платформу.

Сложность принятия решения здесь возникает, когда требуется расставить приоритеты и определить порядок выполнения работ. Некоторые маневровые работы должны быть выполнены в ближайшее время, другие могут быть отсрочены и перенесены в свободные временные окна в будущем. Но при этом необходимо учесть, как эти маневры повлияют на выполнение других работ в те моменты времени, в которые переносятся. Кроме этого, алгоритмы автоматического планирования поездной и маневровой работы должны учитывать следующие параметры:

- возможные окна выполнения поездной работы;
- приоритет (чем меньше остается доступный интервал для выполнения поездной или маневровой работы, тем выше приоритет; в отдельных случаях приоритет маневрового события может быть выше приоритета прибывающего/отправляющегося поезда);
- эффективность использования ресурсов;
- текущую ситуацию на станции (при одинаковом приоритете время для маневровой работы преимущественно выбирается в периоды наименьшей плотности движения по станции).

#### Прогноз положения поезда на станции и времени использования путей.

##### Обеспечение безопасности

При расчете суточного плана-графика работы станции для каждого поезда прогнозируется время начала движения по горловине станции, маршрут следования, скорость движения с учетом разрешенной скорости и ограничений. Маршруты выбираются так, чтобы они не скрещивались в одно время с другими маршрутами. Особое внимание уделено зависимостям стрелок. Так, положение одной стрелки в замкнутом маршруте определяет состояние других стрелок в охранном положении. При расчете маршрута движения между поездами в большинстве случаев предусматривается свободная секция и обеспечиваются интервалы безопасности следования поездов. Возможно приготовление как полного маршрута, от начала до точки назначения (стояночный путь парка, платформы или выход со станции), так и частичных маршрутов — коротких участков до промежуточной точки (маршрутный, маневровый светофор), что позволяет полнее использовать ресурсы путевого развития для организации свободных маршрутов.

**Изменение времени стоянки поездов**

Для станций сквозного и комбинированного типов предусмотрена функция, позволяющая сократить время стоянки поезда в случае его опоздания. При коррекции времени стоянки учитываются последовательность и тип поездов, движущихся по перегону до следующей станции. Необходимость учета типа поезда обусловлена разными скоростями движения по перегонам и приоритетом поездов. Сокращение времени стоянки пассажирских поездов на промежуточных станциях применяется для компенсации отставания от графика. Ограничить стоянку менее величины опоздания нельзя, так как недопустимо отправлять поезд раньше его времени отправления.

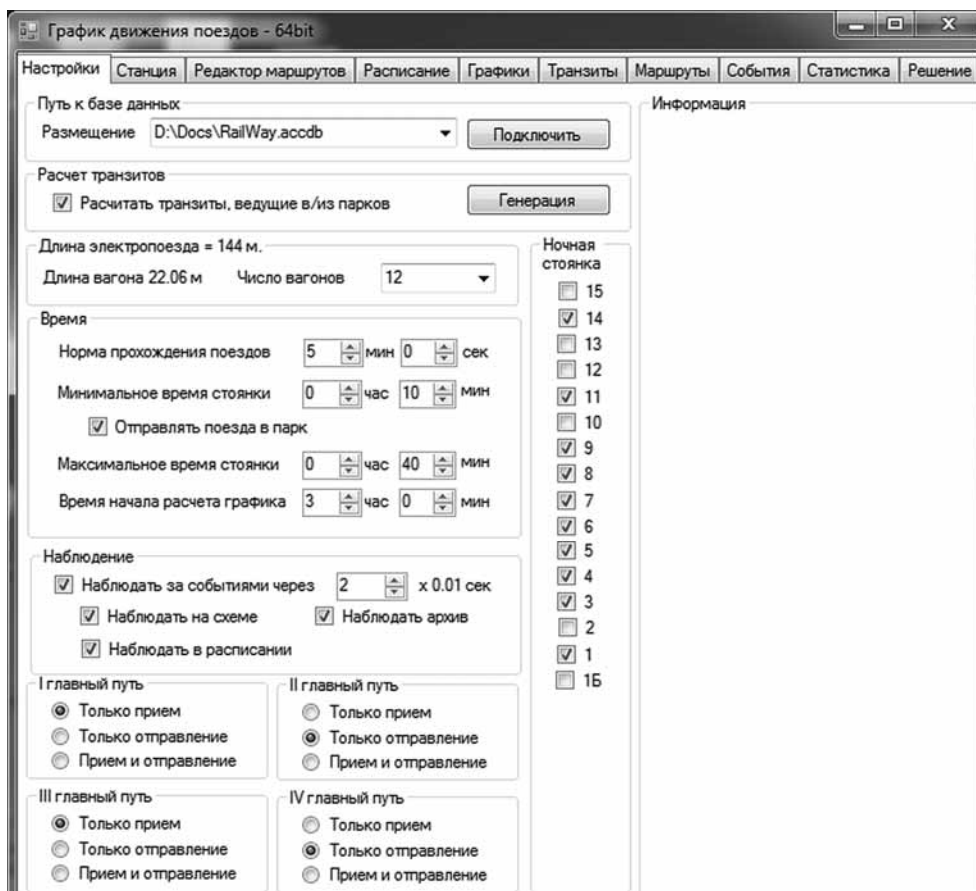
Для некоторых поездов, наоборот, может быть добавлено время стоянки, например, для пропуска скоростных поездов или сокращения общего отставания от графика.

**Выбор пути приема для прибывающего поезда**

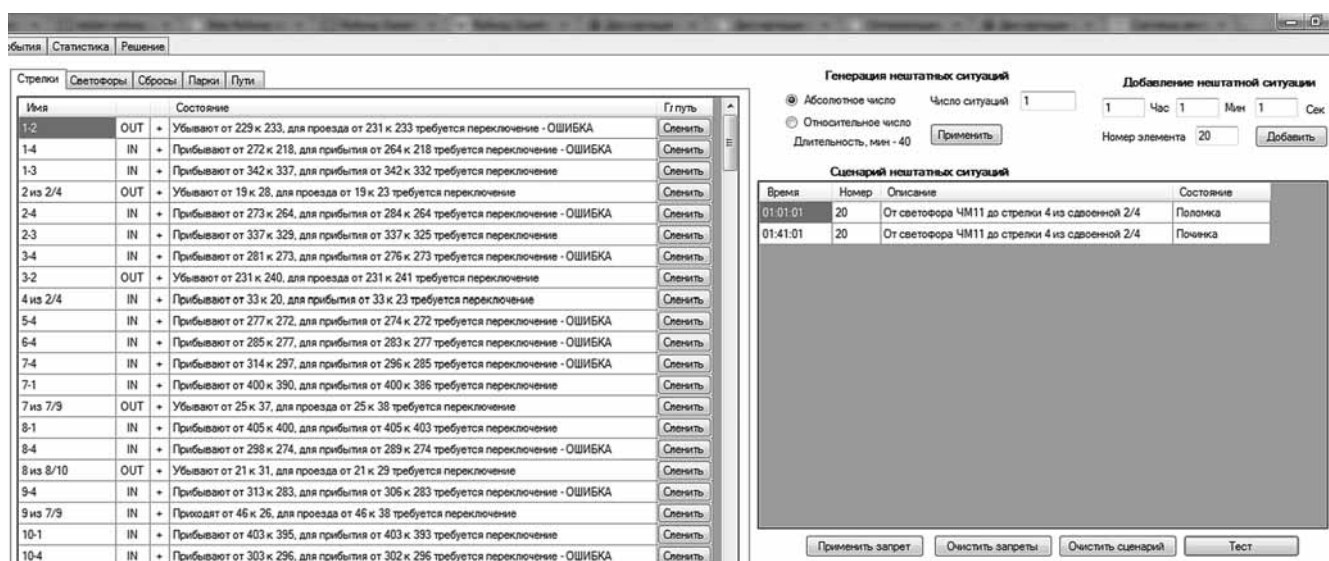
График движения поездов сейчас является основным технологическим документом по организации перевозочного процесса. На железных дорогах России и стран СНГ действуют два

типа графиков — нормативный и исполненный. Нормативный график составляется на длительный срок инженерами-графистами, как правило, с использованием компьютерных программ. Тем не менее имеет место расхождение между нормативным и исполненным графиком. Оно возникает вследствие того, что составленный на длительный срок нормативный график не может учесть реальную эксплуатационную обстановку, соответствующую текущей работе. Дежурному приходится в оперативном режиме подстраивать работу станции под исполняемый график [14]. В сложных ситуациях не всегда возможно принять поезд на запланированный в расписании путь (платформу), тогда необходимо выбрать другой путь, найти и приготовить свободный маршрут.

В разработанном алгоритме для дежурного предусмотрена функция динамического расчета обработки поездов на ближайшее время с указанием преимущественных путей приема. Эта функция также позволяет технологу автоматизированно формировать расписание станции на сутки и более, рассматривая условия и удобство приема на различные пути. Алгоритм анализирует график движения и оборот локомотивов, назначает необходимые маневровые работы по



■ Рис. 4. Панель настроек



■ Рис. 5. Пример моделирования нештатной ситуации

станции, при этом вычисляет наиболее целесообразные места размещения поездов на станции с учетом специализации путей, их длины, последующей работы, длин и типов поездов и других параметров (рис. 4).

### Принятие решения в нештатных и аварийных ситуациях

Интерфейс АРМ дежурного предоставляет информацию обо всех поездах на конкретном участке, состоянии всех сигналов и стрелок и контролирует движение поездов в соответствии с графиком движения. В штатном режиме работы заблаговременно для каждого поезда автоматически выполняются поиск и приготовление маршрута движения. Как только оптимальный маршрут для этого поезда найден, он предлагается для подтверждения дежурному по станции, и если дежурный согласен с выбором, то выдаются управляющие команды на аппаратуру сигнализации, централизации, блокировки. В другом случае дежурный имеет возможность вручную задать необходимый маршрут движения поезда. Таким образом, при ежедневном исполнении повторяющегося графика движения установка маршрута выполняется автоматически, что снижает нагрузку на дежурного. При возникновении нештатной ситуации может потребоваться изменение плана обработки поездов. В этом случае программное обеспечение позволяет рассчитать моменты приема и обработки поездов, маршруты движения, пути приема и прочее до момента восстановления графика движения. В процессе перерасчета суточного плана-графика учитываются приоритеты обработки и категории поездов, выбираются оптимальные маршруты движения

с учетом развития ситуации и прогнозов движения по критерию наискорейшего восстановления штатного режима работы станции.

Были промоделированы следующие нештатные ситуации:

- неисправность стрелочного перевода;
- остановка состава в горловине станции на 10, 30, 60 мин;
- обрыв контактного провода;
- опоздание поезда дальнего следования по прибытию на 20, 40, 90 мин в разное время суток;
- опоздание пригородного поезда на 10, 20 мин в час пик.

Интерфейс имитации нештатной ситуации — поломки пути длительностью 40 мин — представлен на рис. 5.

Здесь показан пример процесса работы алгоритма, в котором оцениваются варианты маршрутов для каждого поезда. Отклоненные варианты отмечены словом «Ошибка». Номерами обозначены элементы путевого развития: стрелки, светофоры, стояночные пути и др. Кнопкой «Сменить» можно задать маршрут вручную.

При имитации нештатных ситуаций обнаружено, что в большинстве случаев локальных непродолжительных нарушений расписания достаточно назначить иной маршрут или пути приема, чтобы реализовать план-график движения. Перерасчет расписания для разрешения моделируемых ситуаций всегда выполнялся за приемлемое время и не превышал 55 с.

### Ведение журналов и регистрация действий дежурного

Помимо вышеописанных обязанностей дежурный по станции ведет различную документа-



цию: журнал движения поездов, журнал диспетчерских распоряжений, журнал поездных телефонограмм, журналы осмотра и т. п.

Журнал движения поездов и локомотивов — основной документ для регистрации прибытия, отправления и проследования поездов по станции. Записи в журнал на всех станциях делает дежурный по станции или оператор под непосредственным наблюдением дежурного по станции, опираясь на «Инструкцию по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах РФ» [11]. В журнал записываются все без исключения прибывающие, отправляющиеся и проходящие станцию безостановочно поезда, одиночно следующие локомотивы, толкачи и другие подвижные единицы несъемного типа. Запись в журнале — это основание для передачи соседним станциям и поездному диспетчеру сведений о прибытии (возвращении), отправлении и проследовании поездов, при этом только своевременная информация об отправляемых и прибывающих поездах обеспечивает их прием без задержек у входного сигнала и на пути, предусмотренные для этих операций техническо-распорядительным актом станции [15].

Для упрощения работы дежурного и повышения эффективности работы введена функция, которая ведет журнал движения поездов в соответствии с инструкцией. Заполненный журнал можно экспортировать в документы Excel или Word для последующего редактирования или печати.

Для контроля качества работы дежурного предусмотрен журнал регистрации его действий. Например, если дежурный не подтверждает предлагаемое автоматизированной системой решение, то он с ее помощью формирует альтернативный маршрут, и его решение будет зафиксировано в журнале.

## Заключение

В статье предложено развитие управляющих функций автоматизированной системы для уровня местного управления поездной и грузовой работой. Автоматизированная система помощи дежурному по станции для решения задачи выбора

и приготовления маршрута в штатных и аварийных ситуациях позволит значительно снизить нагрузку на дежурного и повысить безопасность управления. Например, можно автоматизировать анализ путевого развития станции для выбора возможных альтернативных маршрутов движения при неисправности объектов инфраструктуры; автоматизировать процедуру приготовления маршрута; проводить оперативный контроль соблюдения расписания; в случае нарушения графика движения — выполнить перепланирование поездной и маневровой работы для предстоящих событий с целью минимизировать опоздания и пр.

Создано программное обеспечение для АРМ дежурного по станции, которое включает следующие функции:

- интерфейс разработки схемы путевого развития станции. Он позволяет создавать схему станции из библиотеки созданных интерактивных элементов: участки пути, стояночные пути (приема-отправления, парковые, тупики), маневровые и маршрутные светофоры, стрелки и др.;

- расчет суточного плана-графика работы станции (исполняемого расписания) на основании схемы станции и расписания движения поездов. По информации о времени движения поездов и пункте следования автоматически строятся маршруты движения так, чтобы выполнялись требования безопасности (нескрещение маршрутов, интервалы следования, скорость) и точность исполнения расписания;

- динамическое перестроение суточного плана-графика работы станции — выполняется по указанию дежурного в любой момент времени в случае нарушения расписания или для разрешения сложной или аварийной ситуации. При этом алгоритм расчета расписания позволяет выполнять анализ эффективности расписания и использования инфраструктуры станции.

Программное обеспечение АРМ дежурного обладает свойством универсальности и может быть использовано для различных станций.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-13207.

## Литература

1. Положение о железнодорожной станции от 29.12.2006. <http://www.referent.ru/1/120253> (дата обращения: 06.12.2013).
2. Котик М. А., Емельянов А. М. Природа ошибок человека-оператора: на примере управления транспортными средствами. — М.: Транспорт, 1993. — 251 с.
3. Гапанович В. А., Грачев А. А. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах: учебник для вузов железнодорожного транспорта. — М.: Маршрут, 2006. — 544 с.
4. Коган Ю. Л. Ввод в действие крупнейшего в мире центра управления эксплуатационным процессом железнодорожной компании Берлингтон Нортен (США) // Железнодорожный транспорт. Сер. Желез-

нодородный транспорт за рубежом: ЭИ/ЦНИИТЭИ. 1995. № 5. С. 7–11.

5. **Автоматизация** планирования и управления перевозочным процессом на Канадских национальных железных дорогах // Железнодорожный транспорт. Сер. Железнодорожный транспорт за рубежом: ЭИ/ЦНИИТЭИ. 1993. № 3. С. 13–23.
6. **Автоматизация** управления эксплуатационным процессом на высокоскоростной сети «СИНКАН-СЭН» (Япония) // Железнодорожный транспорт. Сер. Железнодорожный транспорт за рубежом: ЭИ/ЦНИИТЭИ. 1992. № 11. С. 16–18.
7. **Йошида Т.** Автоматизированная система управления движением поездов в Японии // Железные дороги мира. 1996. № 12. С. 42–47.
8. **Централизация** управления поездной работой // Железные дороги мира. 1998. № 10. С. 55–58. <http://scbist.com/zhurnal-zheleznye-dorogimira/18793-zhdm-10-1998-centralizaciya-upravleniya-poezdnoi-rabotoi.html> (дата обращения: 06.12.2013).
9. **Фурсов С. И.** МПЦ Ebilog 950 – эволюция системы // Автоматика, связь, информатика. 2011. № 5. С. 4–7.
10. **Автоматизированная** система ведения и анализа графика исполненного движения ГИД «Урал-

**ВНИИЖТ»: руководство по эксплуатации/** ОАО «РЖД». – Екатеринбург, 2004. – 307 с.

11. **Инструкция** по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации от 02.10.1993 № ЦД-206. <http://www.dzd-ussr.ru/doc/norm/idp.html> (дата обращения: 06.12.2013).
12. **Инструкция** по учету выполнения графика движения пассажирских, пригородных и грузовых поездов от 20.05.1996. № ЦЧУ-377. <http://lawru.info/base84/part3/d84ru3341.html> (дата обращения: 06.12.2013).
- О выполнении** расписания движения пригородных поездов по пунктам посадки (высадки) пассажиров: Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.01.2013. № 152р. <http://scbist.com/2013-god/22904-152r-ot-25-yanvarya-2013-g-o-vypolnenii-raspisaniya-dvizheniya-prigorodnyh-poezdov-po-punktam-posadki-vysadki-passazhirov.html> (дата обращения: 06.12.2013).
13. **Орлюк А. А., Былинский Ю. В.** Система составления графика движения и способ ее работы // Автоматика, связь, информатика. 2004. № 5. С. 41–43.
14. **Основные формы** поездной и технической документации. <http://scbist.com/zh-d-stati/2012-statya-osnovnye-formy-poezdnoi-i-tehnicheskoi-dokumentacii.html> (дата обращения: 05.08.2013).

UDC 602-53.55

### Automation Issues of Train Control

Branishtov S. A.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Acting Head of Labs, [branishtov@mail.ru](mailto:branishtov@mail.ru)

Tumchenok D. A.<sup>a</sup>, Programmer Engineer, Post-Graduate Student, [dmitriy\\_tumchenok@mail.ru](mailto:dmitriy_tumchenok@mail.ru)

Shirvanyan A. M.<sup>a</sup>, Programmer Engineer, Post-Graduate Student, [artshirvanyan@mail.ru](mailto:artshirvanyan@mail.ru)

<sup>a</sup>V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, 65, Profsoiuznaia St., 117342, Moscow, Russian Federation

**Purpose:** The paper deals with the problem of operational control of trains at a large railway junction. Examples of the existing train control systems show that station level of control is poorly automated. The goal of this paper is to develop algorithms to automate a number of tasks of operational control at a station. **Methods:** The problem of planning shunting works, design of daily process schedule of a station, selection and assembling routes have been studied. **Results:** Algorithmic solutions for design of daily process schedule of a station have been developed and described, that makes the process user friendly and easy as well as fosters flexibility and efficiency of decision making on handling trains in complex and contingency situations. **Practical relevance:** Algorithmic solutions and research results have been implemented in developing software for the workstations of a duty officer and a process engineer. They facilitate staff duties, reduce error level and enhance control safety.

**Keywords** — Train Control, Decision-Making Support System, Daily Schedule, Routing, Shunting Work.

### References

1. *Polozhenie o zheleznodorozhnoi stantsii ot 29.12.2006* [The Position of the Railway Station]. Available at: <http://www.referent.ru/1/120253> (accessed 06 December 2013).
2. Kotik M. A., Emel'janov A. M. *Priroda oshibok cheloveka-operatora: na primere upravleniia transportnymi sredstvami* [The Nature of the Human Operator Errors: on the Example of Control Transportation]. Moscow, Transport Publ., 1993. 251 p. (In Russian).
3. Gapanovich V. A., Grachev A. A. *Sistemy avtomatizatsii i informatsionnye tekhnologii upravleniia pervozami na zheleznykh dorogakh: uchebnik dlia vuzov zheleznodorozhnogo transporta* [Automation Systems and Information Technology of Transportation Control on Railways]. Moscow, Marshrut Publ., 2006. 544 p. (In Russian).
4. Kogan U. L. Commissioning of the World's Largest Management Center of Operational Process by the Railway Company Burlington North (USA). *Zheleznodorozhnyi*

*transport. Ser. Zheleznodorozhnyi transport za rubezhom.* JeI. CNIITJeI Publ., 1995, no. 5, pp. 7–11 (In Russian).

5. Automation of Planning and Control Traffic of Transportation on Canadian National Railways. *Zheleznodorozhnyi transport. Ser. Zheleznodorozhnyi transport za rubezhom.* JeI. CNIITJeI Publ., 1993, no. 3, pp. 13–23 (In Russian).
6. Automating of Control of the Operational Process in High-Speed Network “Sinkasen” (Japan). *Zheleznodorozhnyi transport. Ser. Zheleznodorozhnyi transport za rubezhom.* JeI. CNIITJeI Publ., 1992, no. 11, pp. 16–18 (In Russian).
7. Yoshida T. Automatic Train Control System in Japan. *Zheleznye dorogi mira*, 1996, no. 12, pp. 42–47 (In Russian).
8. Centralization of Train Operation. *Zheleznye dorogi mira*, 1998, no. 10, pp. 55–58 (In Russian).
9. Fursov S. I. MPC Ebilog 950 – Evolution of the System. *Avtomatika, svjaz', informatika*, 2011, no. 5, pp. 4–7 (In Russian).

10. *Avtomatizirovannaiia sistema vedeniia i analiza grafika ispolnennogo dvizheniia GID "Ural-VNIIZhT"* [Automatic System of Analysis and Graphics of Done of Movement GID "Ural-VNIIZhT"]. Ekaterinburg, JSC "Russian Railways" Publ., 2004. 307 p. (In Russian).
11. *Instruktsiia po dvizheniiu poezdov i manevrovoi rabote na zheleznykh dorogakh RF ot 02.10.1993 N CD-206* [Instruction on the Movement of Trains and Shunting Work on Railways in Russian Federation]. Available at: <http://www.dzd-ussr.ru/doc/norm/idp.html> (accessed 06 December 2013).
12. *Instruktsiia po uchetu vypolneniia grafika dvizheniia passazhirskikh, prigorodnykh i gruzovykh poezdov ot 20.05.1996 N TsChU-377* [Instruction of Account of the Schedule of the Passenger, Commuter and Freight Trains N CCU-377]. Available at: <http://lawru.info/base84/part3/d84ru3341.html> (accessed 06 December 2013).
13. *O vypolnenii raspisaniia dvizheniia prigorodnykh poezdov po punktam posadki (vysadki) passazhirov: Raspisaniie OAO "RZhD" ot 25.01.2013 N 152r* [On the Implementation Schedule of Commuter Trains on the Point of Landing Passengers]. Available at: <http://scbist.com/2013-god/22904-152r-ot-25-yanvarya-2013-g-o-vypolnenii-raspisaniya-dvizheniya-prigorodnykh-poezdov-po-punktam-posadki-vysadki-passazhirov.html> (accessed 06 December 2013).
14. Orlyuk A. A., Bylinskij Ju. V. The Scheduling System and the Way it Works. *Avtomatika, sviaz', informatika*, 2004, no. 5, pp. 41–43 (In Russian).
15. *Osnovnye formy poezdnoi i tekhnicheskoi dokumentatsii* [The Main Forms of Train and Technical Documentation]. Available at: <http://scbist.com/zh-d-stati/2012-statya-osnovnye-formy-poezdnoi-i-tehnicheskoi-dokumentatsii.html> (accessed 05 August 2013).

## Уважаемые авторы!

**При подготовке рукописей статей необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.**

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов. Название статьи должно быть кратким, но информативным. В названии недопустимо использование сокращений, кроме самых общепринятых (РАН, РФ, САПР и т. п.).

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее двух сантиметров.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание (при отсутствии — должность), полное название организации, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках, электронные адреса авторов, которые по требованию ВАК должны быть опубликованы на страницах журнала. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылки на источники в списке литературы.

Статьи авторов, не имеющих ученой степени, рекомендуется публиковать в соавторстве с научным руководителем, наличие подписи научного руководителя на рукописи обязательно; в случае самостоятельной публикации обязательно предоставляйте заверенную по месту работы рекомендацию научного руководителя с указанием его фамилии, имени, отчества, места работы, должности, ученого звания, ученой степени — эта информация будет опубликована в ссылке на первой странице.

**Формулы** набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте заводские установки редактора, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = -.

Для набора формул в Word никогда не используйте Конструктор (на верхней панели: «Работа с формулами» — «Конструктор»), т. к. этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

**Иллюстрации** в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, подающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных файлов, подающихся редактированию, используя векторные программы: Visio 4, 5, 2002-2003 (\*.vsd); Coreldraw (\*.cdr); Excel (\*.xls); Word (\*.doc); AdobeIllustrator (\*.ai); AutoCad (\*.dxf); Matlab (\*.ps, \*.pdf или экспорт в формат \*.ai);

— если редактор, в котором Вы изготавливаете рисунок, не позволяет сохранить в векторном формате, используйте функцию экспорта (только по отношению к исходному рисунку), например, в формат \*.ai, \*.esp, \*.wmf, \*.emf, \*.svg;

— фото и растровые — в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подрисовочных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

**В редакцию предоставляются:**

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

**Список литературы** составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Список литературы предоставляйте в двух вариантах: первый на языках оригиналов и второй — перевод (не транслитерация, а перевод) списка на английский язык.

Более подробно правила подготовки текста с образцами изложены на нашем сайте в разделе «Оформление статей».

### Контакты

Куда: 190000, Санкт-Петербург,  
Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Кому: Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»

Тел.: (812) 494-70-02

Эл. почта: [ius.spb@gmail.com](mailto:ius.spb@gmail.com)

Сайт: [www.i-us.ru](http://www.i-us.ru)