

# Принципы автоматизации процессов управления движением на железных дорогах промышленных предприятий



**Д. В. Ефанов,**  
д. т. н., доцент, руководитель направления комплексных систем управления ООО «Локо-Тех-Сигнал», профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта

Автоматизация процессов управления движением поездов на железных дорогах промышленных предприятий на действующей инфраструктуре имеет определенные особенности. При этом у различных процессов управления уровни автоматизации не одинаковы. В качестве базового технического решения предлагается использовать систему точного (не дискретного в рамках целого участка контроля) позиционирования подвижных единиц, т. к. это позволяет организовывать развитые средства диспетчеризации процессов на железных дорогах промышленных предприятий.

**К**рупнейшие предприятия в таких областях, как, например, химическая, горнодобывающая и металлургическая промышленность, имеют свои развитые транспортные сети, в которых важнейшее положение занимает железнодорожный комплекс [1]. Доминантное влияние на работу данного комплекса

оказывает технология основной деятельности предприятия, а ключевым отличием от магистрального транспорта в плане принципов автоматизации является существенно меньшая допустимая скорость перемещений. Несмотря на это для автоматизации процессов регулирования движения поездов на промышленном транспорте используются те же системы управления, что и на магистральном транспорте. При этом они могут иметь некоторые модификации на уровне низовой автоматики и периферийных средств управления — напольного технологического оборудования. Например, зачастую вместо традиционных рельсовых цепей на промышленном транспорте используются так называемые логические цепи, функционирующие на основе принципа счета осей [2]. На процесс управления движением это никак не влияет — по-прежнему местоположение подвижных единиц фиксируется в пределах дискретного участка контроля, длина которого ограничивается счетными пунктами, и также используется световая сигнализация для указания направления движения (с отклонением по стрелочному переводу или без такового) и скоростных режимов проследования на участки контроля.

Современные системы управления движением поездов включают в себя комплексы стационарных средств автоматизации (системы электрической централизации стрелок и сигналов



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

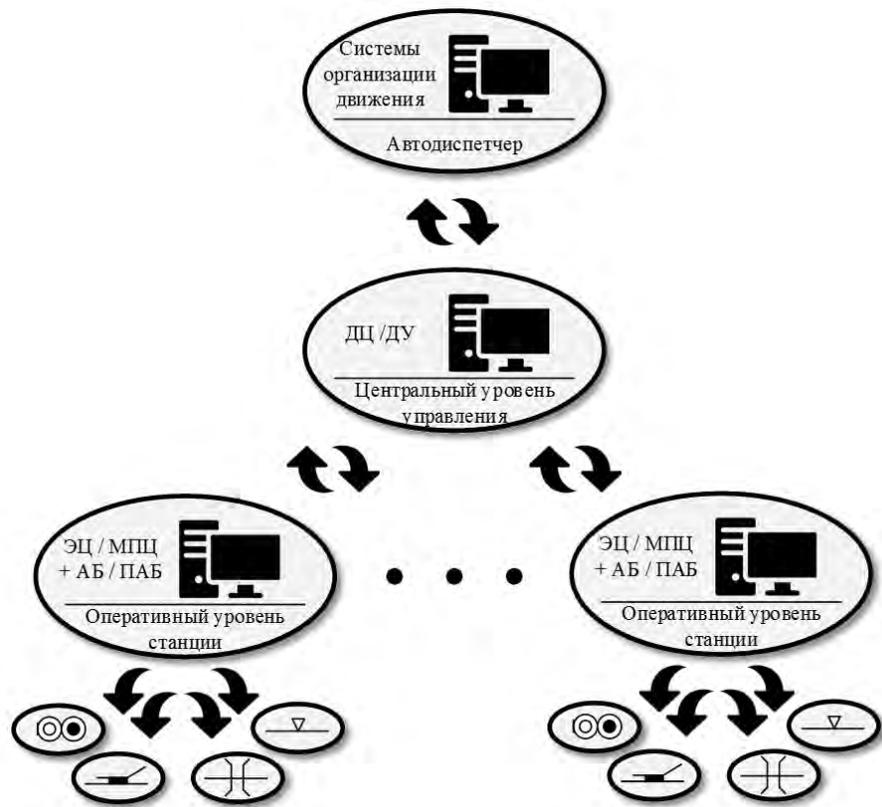


Рис. 1. Традиционная организационная структура систем управления: на рисунке ЭЦ – электрическая централизация; МПЦ – микропроцессорная централизация; АБ – автоматическая блокировка; ПАБ – полуавтоматическая блокировка; ДЦ – диспетчерская централизация; ДУ – диспетчерское управление

и интервального регулирования движения поездов [3]) и комплексы бортовых средств автоматизации (обеспечения безопасности движения непосредственно на тяговой единице [4]). Для оснащения отдельных станций системами обеспечения движения поездов используются средства электрической централизации, построенные как на релейной, так и на микроэлектронной и микропроцессорной основах (включая программируемую элементную базу) [5–7]. Кроме того, могут также использоваться средства диспетчерской централизации и диспетчерского контроля, диагностирования и мониторинга. Структура системы регулирования движения поездов, построенной таким образом, приведена на рис. 1. Верхним уровнем в такой системе является уровень диспетчеризации, в которой может быть реализована система поддержки принятия решений типа «автодиспетчер» (зачастую она либо отсутствует, либо является крайне неразвитой – пребывает в зачаточном состоянии).

Технические решения, используемые на промышленном транспорте, являются, как правило, типовыми, а сами системы управления отвечают наивысшему уровню полноты безопасности УПБ 4 (SIL 4). Для достижения такого уровня безопас-

ности, например, в микропроцессорных реализациях требуются аппаратное и программное резервирование и диверситет [8, 9], что прежде всего влияет на стоимость разработки системы. Если на магистральном транспорте это оправдано, то на промышленном, по всей видимости, возможны и более простые реализации систем управления движением поездов (например отвечающих уровням полноты безопасности УПБ 2 (SIL 2) и УПБ 3 (SIL 3)). Требования к системам управления определяются заинтересованным предприятием.

Основным недостатком стационарных систем управления движением является вовсе не сложность и стоимость, а недостаточность функционала для решения задач организации, планирования, контроля и коррекции транспортных технологических процессов. Технические решения не являются комплексными, они ограничены только функциями передачи команд на объекты напольной автоматизации, не включают в себя высокоуровневых систем построения планового и исполненного графиков движения поездов, графиков выполненной грузовой работы, разрешения конфликтных ситуаций, выдачи подсказывающих информационных сообщений диспетчерам и эксплуатирующему

персоналу и т. д. А ведь на промышленном предприятии (как и на магистральном транспорте, но в гораздо более ограниченных масштабах) важным является обеспечение перевозок между несколькими пунктами в рамках технологического процесса. На первый план выходит не передача команд на управление, а комплексная задача точного контроля и учета местоположения подвижных единиц, выполняемых с ними процессов, контроль соответствия выполняемых операций технологическому процессу предприятия, возможность оптимизации процессов по критерию минимума затрат при соблюдении надежности и безопасности всех протекающих процессов. Поэтому понятно, что несмотря на сложившуюся политику в области железнодорожных решений для промышленных предприятий система централизации управления не является базовым решением, так как позволяет лишь удаленно управлять средствами напольной автоматизации, но не решать обозначенные выше задачи. Она является только средством регулирования направлений движения и скоростей перемещения подвижных объектов и должна снабжаться дополнительными средствами, позволяющими «оживлять» работу транспортного комплекса предприятия в программном обеспечении системы верхнего уровня организации и управления, чтобы давать оператору полную картину работы. Такая инновационная система должна строиться по структуре, изображенной на рис. 2.

### Комплексные решения по реализации технологических процессов

В современных железнодорожных транспортных системах на предприятиях промышленности реализуются технические решения, позволяющие выполнять только частные функции, а не комплексное управление объектами. Например, управлять железнодорожными стрелками и светофорами без привязки к системе диспетчеризации и оперативного управления, взвешивать вагоны и заносить эту информацию в базу данных, но не учитывать при организации и оптимизации движения. Таких примеров можно привести много. Учет работы всех устройств автоматизации в комплексе позволит добиться существенного эффекта в организации транспортных процессов, снизить простои составов (как с порожними вагонами, так и находящимися под загрузкой), определить оптимальные трассы просле-

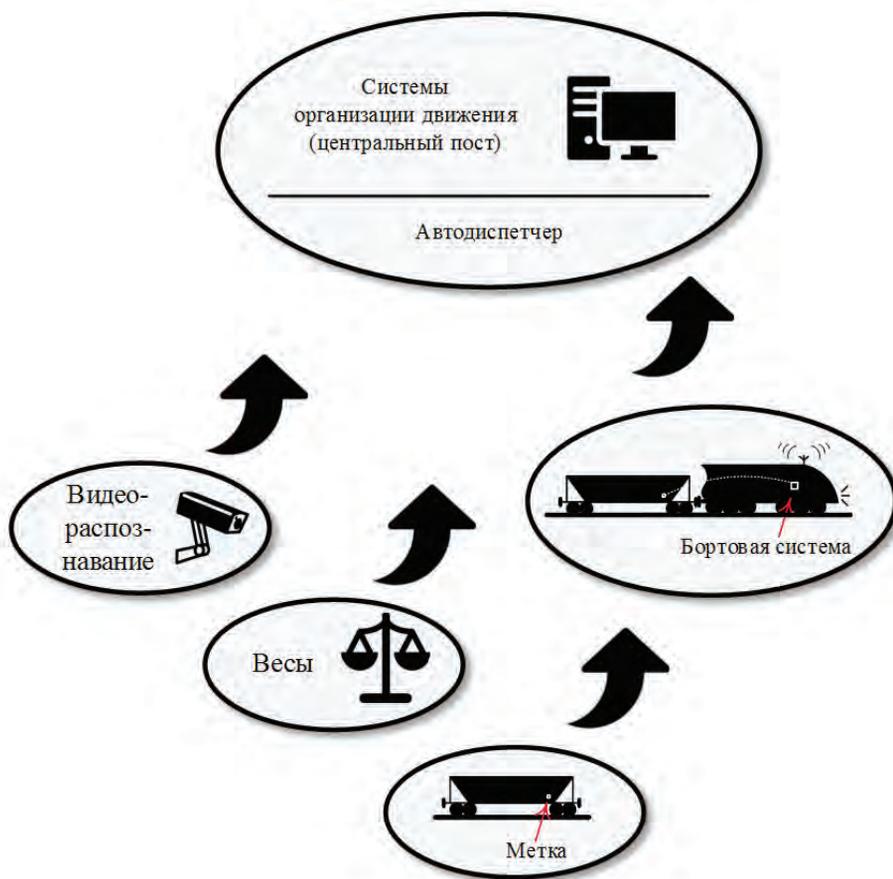


Рис. 2. Инновационная организационная структура систем управления

дования поездов по железнодорожным путям, установить причины задержек при процессах погрузки–выгрузки и т. д.

Обратим внимание читателя на принципы комплексной автоматизации транспортных технологических процессов, реализация которых на практике позволяет добиваться снижения затрат, относимых на содержание и эксплуатацию железнодорожной транспортной системы за счет оптимизации процессов управления движением, погрузки–выгрузки, контроля расхода топлива и электроэнергии, учета и планирования перевозок и др.

Фактически комплексная система должна являться модульным и легко расширяемым решением, подразумевающим развитие функций и процессов их реализации от ручного управления до управления с заданным уровнем полноты безопасности (в зависимости от приоритета предприятия по степени автоматизации транспортной системы). Основными подсистемами являются:

- подсистема точного контроля местоположения тяговых и нетяговых подвижных единиц, а также их состояния;
- подсистема передачи команд на управление транспортными процессами;

- подсистема контроля и учета выполнения погрузочно-разгрузочных работ;
- подсистема весового контроля;
- подсистема видеоконтроля протекающих процессов;
- подсистема организации работы, планирования и диспетчеризации.

Подсистема точного контроля местоположения тяговых и нетяговых единиц, а также их состояния является базовым техническим решением, без которого невозможна автоматизация транспортных

процессов в широком смысле. В настоящее время на большинстве предприятий регулирование перевозочного процесса осуществляется посредством электрической централизации стрелок и сигналов (на станциях), а также системами интервального регулирования движения поездов на перегонах (это может быть как полуавтоматическая блокировка, так и полностью автоматическая). Хорошо известно [2, 3], что указанные системы строятся на основе контроля положения подвижных единиц в пределах некоторого участка, длина которого варьируется от нескольких десятков метров до нескольких километров. Исключение составляют средства радиоблокировки, внедряемые, как правило, на магистральном транспорте [10]. Такая особенность современных систем централизации стрелок и сигналов, а также систем интервального регулирования движения связана с простой организации контроля свободы/занятости именно дискретного участка контроля, а также с историческим развитием методов контроля местоположения подвижных единиц. Дискретный контроль может осуществляться с помощью рельсовых цепей, пунктов счета осей, евробаллиз. В настоящее время представляется интересной возможность непрерывного контроля с помощью оптоволоконных технологий [11, 12], спутниковой навигации [13], а также интегрированных в рельсы распределенных датчиков [14]. Это, конечно, взгляд в будущее, так как в современной сфере автоматизации управления на железнодорожном транспорте для большинства из них не существует методов доказательства достоверности и безопасности функционирования обозначенных средств. Тем не менее для предприятий промышленности подобные решения представляются весьма



Рис. 3. Организационная структура системы управления

перспективными, так как требования, как было отмечено выше, определяются самим предприятием (реализация систем с максимальным уровнем полноты безопасности не является догмой).

Многие предприятия как раз оборудуются традиционными средствами железнодорожной автоматики и используют традиционные принципы управления с помощью светофорной сигнализации. Такие системы могут быть централизованы на уровне всего предприятия, однако они никак не увязываются с системой организации перевозок, планирования и диспетчеризации. Более того, в данных системах полностью отсутствует автоматическая идентификация конкретной подвижной единицы на конкретном участке. Это, а также большой объем команд, выполняемых вручную, приводит зачастую к так называемым «потерям вагонов» на предприятии — когда какой-либо из вагонов оказывается оставленным на каком-либо пути (возможно и с группой других вагонов), но никак не идентифицирован. Для поиска вагонов требуется ручной труд эксплуатирующего персонала, который осуществляет поиск по номеру вагона, что зачастую трудоемко. Существуют некоторые несовершенные способы автоматизации контроля местоположения вагонов, которые связаны с ручным вводом данных о составах и постоянной их коррекцией [15]. Кроме того, известна и технология контроля местоположения составов беспроводным способом, не связанная с системой диспетчеризации [16, 17].

Для контроля местоположения подвижных единиц могут использоваться следующие принципы, которые представляются более эффективными в сравнении, например, с используемыми средствами радиочастотной идентификации [18, 19].

Перспективно использование технологии беспроводного контроля местоположения подвижных единиц (как тяговых, так и нетяговых) с привязкой к действующей географической карте местности. Как вариант — привязка к OpenStreetMap с открытой лицензией (<https://www.openstreetmap.org>). Информация от системы мониторинга местоположения подвижных единиц дополняется данными от стационарных систем, а также вводимыми командами операторов (диспетчера, машиниста и др.).

Для контроля местоположения подвижных единиц используются два типа устройств на основе так называемых активно-пассивных вагонных меток и ак-

тивных локомотивных меток (рис. 3), а также увязка на уровне центрального поста со стационарными системами управления движением поездов. Такое комплексирование данных позволяет точно указывать положение конкретной подвижной единицы на конкретном пути.

Активно-пассивные вагонные метки представляют собой устройства, фиксируемые на подвижных единицах за счет простого крепления (например, на хомуты или скобы) и являются полностью автономными. Для их энергоснабжения используются аккумуляторные батареи повышенной мощности, а передача данных осуществляется на основе технологии промышленного интернета вещей (IIoT) [20]. Вагонные метки работают «под нагрузкой» не всегда: «пробуждаются» при воздействии на них активной локомотивной метки с подтверждением привязки вагонов или группы вагонов, а затем вновь «засыпают». При этом в работе учитывается и специфика предприятия. К примеру, в горнодобывающей промышленности зачастую вагоны-самосвалы (думпкары) соединяются в так называемые вагонные «вертушки», включающие десятки вагонов, и расцепляются крайне редко, как правило, при наличии их дефектов. В таком случае возможно уменьшение числа вагонных меток и оборудование ими только тех вагонов, которые находятся в непосредственной близости к тяговой единице, т. е. крайних вагонов. Данным меткам вручную в технологических окнах автоматизированных рабочих мест (АРМ) грузовой работы присваиваются номера входящих в «вертушку» вагонов в строгой последовательности их положения относительно друг друга. Если выявляются нарушения в работе с вагонами, то оператором в АРМ грузовой работы производится корректировка номеров согласно реальной обстановке.

Для определения местоположения подвижных единиц территория предприятия «покрывается» базовыми станциями, с которыми связываются приемопередающие устройства локомотивов. Для повышения точности позиционирования подвижных единиц осуществляется увязка с действующими стационарными системами управления движением поездов, а при новом строительстве возможно оснащение железнодорожных путей датчиками контроля положения подвижных единиц (например, датчиками счета осей, в том числе полностью автономными). Данные от действующих систем автоматизации получают путем стыковки по спе-

циализированному протоколу, что требует установки дополнительной платы вывода данных в аппаратные средства микропроцессорных централизаций, а при релейных централизациях — контроллеров получения дискретных данных с пультового и управляющих устройств. В качестве таких контроллеров могут быть использованы известные контроллеры промышленной автоматизации [21, 22]. Альтернативным вариантом может служить модификация действующих систем релейного типа в системы релейно-процессорного типа, где фактически аппарат управления и часть схемных решений по передаче команд на исполнительный уровень реализуются с использованием компьютерных технологий. Использование чисто микропроцессорной централизации представляется избыточным, так как ресурс работы релейных систем гораздо (фактически на порядок) выше.

Активная метка локомотива является составляющим объектом бортовой системы управления. При выполнении операции стыкования с конкретным вагоном или группой вагонов активная метка вырабатывает сигнал пробуждения активно-пассивных меток вагонов, которые передают свои идентификаторы и вновь уходят в спящий режим. Бортовая система запоминает данную группу вагонов (или конкретные вагоны), передавая их в вагонную и составную модели, идентифицируя их, в свою очередь, как группу вагонов, «принадлежащих» активной бортовой метке. При выполнении операции расцепки активная метка также пробуждает активно-пассивные метки, фиксируя операции в вагонной и составной моделях. Таким образом, наличие меток вагонов и локомотивов позволяет «оживлять» так называемые вагонные, составные и локомотивные модели в программном обеспечении системы организации управления, планирования и диспетчеризации. Все это реализуется с привязкой к электронным картам. Кроме того, возможно автоматическое ведение графика исполненного движения без установки отдельных технических решений по типу решений на магистральных железных дорогах, а также автоматическое сравнение планового и исполненного графиков с возможной автоматической подсказкой диспетчеру вариантов коррекции процессов движения.

На различных предприятиях локомотивы могут быть арендованными и собственными, поэтому бортовой комплекс

автоматизации должен являться модульным и съемным и устанавливаться в кабину конкретного локомотива на время эксплуатации. На это время такой модуль выносным не является и полностью идентифицируется с локомотивом, на котором он установлен. Модули включают в себя и базовые станции. Для стабильной работы используется также локомотивная антенна, обеспечивающая качественный сигнал между стационарным оборудованием и метками.

Таким образом, метки локомотива должны настраиваться на работу с конкретной базовой станцией, расположенной на нем. Для проверки координат отцепленных вагонов (или целых «вертушек») метки должны иметь режим выхода на связь каждый определенный период (например, каждые 10 минут). Базовая станция локомотива должна иметь возможность работы как со стационарными базовыми станциями, так и с локальными метками, расположенными на вагонах.

Указанный комплекс решений позволяет увязать на уровне центрального поста все три модели подвижных единиц — локомотивную, вагонную и составную. Информация о них является базовой для решения остальных задач.

Следует отметить возможность увязки представленной системы контроля местоположения подвижных единиц со средствами видеораспознавания номеров вагонов в зонах формирования составов для автоматического считывания номеров вагонов [23], а также в зонах весового контроля (рис. 4).

В зонах весового контроля и видеонаблюдения за проведением технологических операций по погрузке-выгрузке информация в моделях дополняется данными от обозначенных систем и поступает в соответствующие АРМ на центральном посту (рис. 4). Машинист и оператор могут вносить изменения в модели с учетом реальной технологической обстановки в зоне погрузки-выгрузки.

Локомотивная, вагонная и составная модели доступны и в средствах бортовой автоматизации, и на посту централизации. Именно на основании реальных данных от стационарных систем автоматизации и бортовых систем строится график исполненного движения, а также осуществляется процедура прогнозирования изменений и выработка управляющих решений для подсказки диспетчеру.

Таким образом, рассматриваемая система имеет архитектуру с центральным постом, на котором производятся опера-

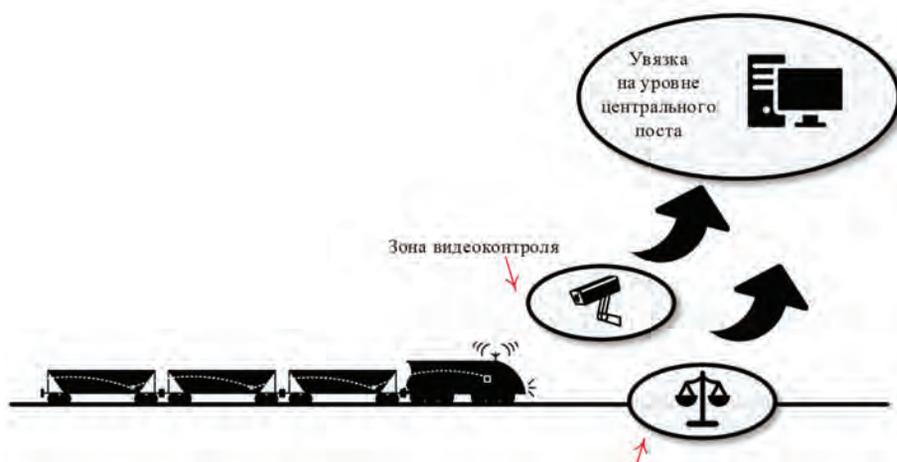


Рис. 4. Увязка с системами видео- и весового контроля

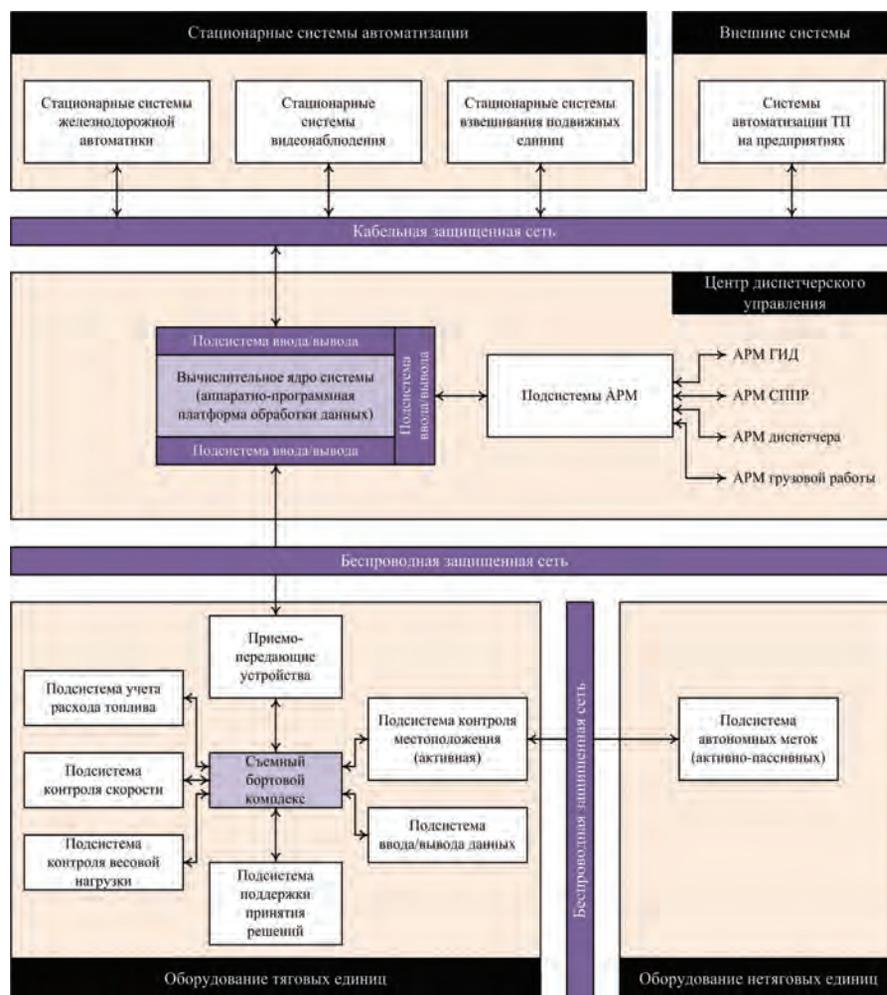


Рис. 5. Структура инновационной системы управления

ции по обработке полученных данных (рис. 5). Информация в систему поступает как от стационарных систем автоматизации, так и от систем мониторинга подвижных единиц. На основании полученных данных от различных подсистем строятся все типы моделей (локомотивная, вагонная и составная), осуществляется расчет параметров и прогнозирование изменений. При этом все автоматизированные рабочие места реализуются

на единой платформе и представляют собой комплексное программное обеспечение для выполнения работ по организации транспортного управления. Здесь может быть использовано web-решение с контролем доступа клиентов различного уровня (это возможно еще и в связи с тем, что к системе мониторинга не предъявляются повышенные требования по безопасности функционирования).

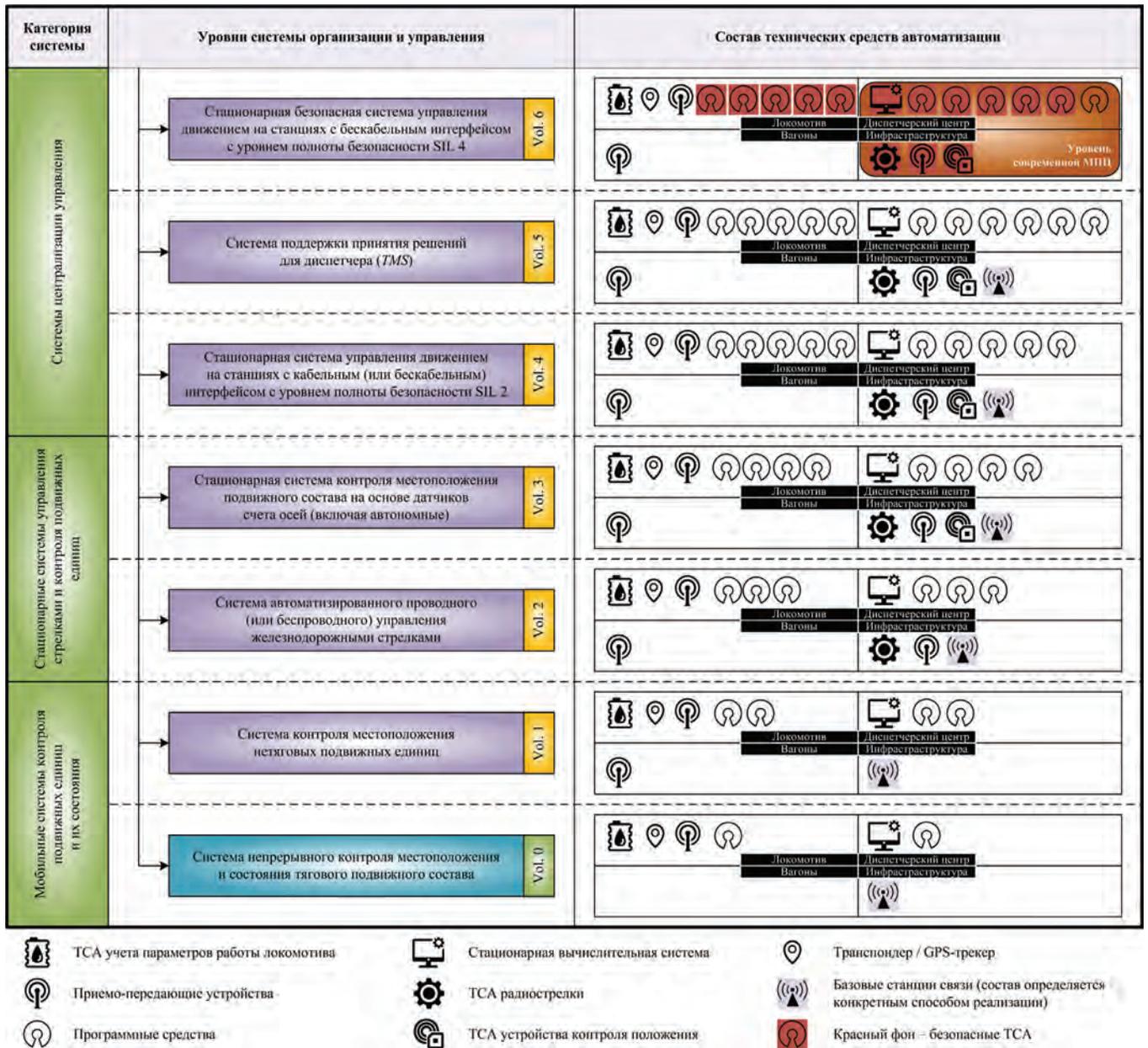


Рис. 6. Организационная структура системы управления, разбитая на уровни автоматизации

Представленный выше подход позволяет автоматизировать ключевые процессы работы предприятия промышленности:

1. Вести учет расположения подвижных единиц в режиме реального времени, контролировать, учитывать, оценивать и оптимизировать работу каждой из них.
2. Решать задачу построения автоматического графика исполненного движения.
3. Помогать техническому персоналу в принятии решений как по управлению объектами, так и по их обслуживанию.

Все эти задачи могут решаться без систем железнодорожной автоматики и телемеханики, а только с использованием инновационной системы

управления с выполнением операций по движению поездов при контроле человеком-оператором (см. рис. 2). Это не является приоритетным, но показывает, что базовым техническим решением будет именно система позиционирования подвижных единиц в пределах предприятия.

На рис. 6 показана организационная схема системы, разбитая на уровни автоматизации процессов: от нижнего уровня, которому соответствует базовое решение с минимальным числом технических средств автоматизации (TCA), до верхнего уровня с максимальным их числом. Количество объектов на рисунке показывает условный объем технических средств автоматизации, необходимых для реализации того или иного уровня. Красным фоном отмечены те средства,

которые соответствуют максимальному уровню безопасности. Следует также отметить, что для стационарных средств автоматизации на схеме отмечено использование бескабельного интерфейса, т. е. расположение источников энергопитания в непосредственной близости к объектам автоматизации или автономность самих объектов. В настоящее время существуют подобные автономные технические решения. Однако на текущем этапе развития средств автоматизации может использоваться и кабельное решение по энергопитанию и управлению объектами.

Традиционные средства железнодорожной автоматики и телемеханики, включающие в себя средства электрической централизации и интервального регулирования движения поездов, для транспорт-

ных сетей промышленных предприятий в настоящее время являются некоторой основой автоматизации перевозочного процесса [18, 19]. Однако благодаря колоссальному скачку в развитии компьютерных технологий и микроэлектронной техники для предприятий промышленности известные методы организации, планирования и управления могут быть пересмотрены. Для выбора технологии автоматизации работы железных дорог промышленных предприятий необходимо проводить их первоначальное обследование с выявлением особенностей функционирования и реальных потребностей (в том числе с определением этапов развития транспортной системы).

Автоматизация транспортных технологических процессов на железных дорогах предприятий промышленности может включать в себя несколько ступеней с различными уровнями полноты безопасности (что определяется требованиями предприятия). Наивысший уровень автоматизации — это создание системы, осуществляющей автоматическое планирование перевозочных процессов и их регулирование в реальном масштабе времени с учетом основной деятельности предприятия (фактические задания на перевозку прогнозируются и формируются исходя из реальной потребности в перевозках). Система автоматизации транспортных процессов должна увязываться с системой автоматизации технологических процессов предприятия для получения максимального эффекта.

Следует отметить, что как таковые традиционные средства автоматизации на промышленных предприятиях могут в будущем утратить свою актуальность, так как данные о скоростных режимах и направлениях проследования могут передаваться другими (беспроводными) способами непосредственно на бортовые средства автоматизации. Для автоматизации управления необходимо сохранить только стрелочные электроприводы, однако можно реализовать их радиоуправляемыми с контролем зависимостей в так называемой виртуальной централизации с автоматическим управлением как диспетчером, так и бортовым программным комплексом локомотива [24]. Такой подход, как представляется автору, будет востребован в будущем. ■

#### Литература

1. Шмулевич В. И. Транспортная инфраструктура нефтегазовой отрасли России // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 6. С. 36–44.
2. Pointner F. Системы обнаружения поездов: краткий обзор // UltimateRail. — 2018. Iss. 1. Pp. 7–13.
3. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 2nd Edition. — Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018. — 458 p.
4. Ефремов А. Приблизить будущее. Концепция ускоренного развертывания систем ETCS и цифровых МПЦ в Германии // Железные дороги мира. 2019. № 11. С. 68–71.
5. Комплексные решения для Заполярья // Промышленный транспорт Урала. 2010. № 4. С. 18–19.
6. Коняхин В. Н. Новые методы управления железнодорожными станциями промышленных предприятий // Горная промышленность. — 2014. — № 2. — С. 38–40.
7. Чувилин И. В. Современная централизация для промышленного транспорта. Выбор оптимальных решений // Промышленный транспорт XXI век. 2013. № 2. С. 36–37.
8. Smith D. J., Simpson K. G. L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC61508 and Related Standards. — Butterworth-Heinemann: 1st edition. — 208 p.
9. Скляр В. В. Обеспечение безопасности АСУТП в соответствии с современными стандартами. — М.: Инфра-Инженерия, 2018. — 384 с.
10. Попов П. А., Королев И. Н., Мыльников П. Д. Основные принципы контроля корректности бортовой системы позиционирования средствами железнодорожной автоматики // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 4. С. 355–366.
11. Exner J., Pohl P. The Potential and the Development Focus for Distributed Fibre Optic Sensing in the Rail Sector // Signal + Draht, 2019 (111). No. 1+2. Pp. 27–30.
12. Бухарин М. А., Прокопенко С. В., Гуртовой К. В., Скубченко С. А., Трещиков В. Н. Позиционирование подвижного состава с использованием нейронных сетей // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 9. С. 8–10.
13. Долгий И. Д., Розенберг И. Н., Баяндурова А. А. Синтез тесно интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы локомотива на основе аналитической модели его движения // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 4. С. 506–525.
14. Ефанов Д. В. Интеллектуальный транспорт: естественный отбор // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 2. С. 38–40.
15. Короткевич И. В. Практический опыт R&D и внедрения цифровых решений по управлению внешней и внутренней логистикой ООО «Уралхим-Транс». — Презентация на 13-й ежегодной конференции «Логистика химического рынка» ChemoLogic'2019, 19 апреля 2019. — 16 с.
16. Barankova I., Mikhailova U., Lukianov G. Automated control system of a factory railway transport based on ZigBee // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 19–20 May 2016, Chelyabinsk, Russia, DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910923.
17. Barankova I. I., Lukianov G. I., Mikhailova U. V. Company railway transport control automation // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 16–19 May 2017, St. Petersburg, Russia, DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076138.
18. Шмулевич В. И. Интегрированная система управления транспортным комплексом промышленного предприятия // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 2. С. 40–42.
19. Шмулевич В. И. Интегрированная система управления транспортным комплексом промышленного предприятия (окончание) // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 3. С. 44–45.
20. Hahanov V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. — New York, Springer International Publishing AG, 2018. — 279 p.
21. iologik E1200 Series. — URL: [www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/controllers-and-ios/universal-controllers-and-i-os/iologik-e1200-series](http://www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/controllers-and-ios/universal-controllers-and-i-os/iologik-e1200-series) (дата обращения: 12.12.2019).
22. iologik E1200W Series. — URL: [www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/controllers-and-ios/rugged-controllers-and-i-os/iologik-e1200w-series#specifications](http://www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/controllers-and-ios/rugged-controllers-and-i-os/iologik-e1200w-series#specifications) (дата обращения: 12.12.2019).
23. Веснин Е., Царев В., Михайлов А. Распознавание номеров вагонов: принципы решения и приложение в промышленности // Control Engineering Россия. 2014. № 1. С. 60–66.
24. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. «Зеленые» технологии на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 12. С. 13–16. DOI: 10.34649/AT.2019.12.12.003.