

Центр управления станциями как первый этап железных дорог будущего



В. В. Дмитриев,
начальник
Куйбышевской
железной дороги —
филиала ОАО «РЖД»

Одним из противоречий развития транспортной отрасли России является высокая неоднородность технико-технологического развития. Внедрение инновационных технологий на одних направлениях сопровождается сохранением ручного труда в рутинных, легко автоматизируемых процессах на других. Устранить данное противоречие можно комплексными системными решениями, включающими разработку и внедрение инноваций.

Председатель правительства М. В. Мишустин в рамках форума «Транспортная неделя» отметил ключевые задачи, требующие первоочередного решения [1]: наращивание провозной способности основных транспортно-логистических коридоров, повышение возможностей для мобильности населения, обеспечение технологического суверенитета при разработке и внедрении новых технологий и др. Реализация поставленных задач возможна за счет разработки технико-технологических решений на основе интеграции новых технологий, позволяющих обеспечить повышение показателей эффективности работы, сокращение рисков и снижение издержек. На Куйбышевской железной дороге имеется опыт разработки таких решений на базе региональной инновационной экосистемы, включающей инновационную площадку, вузы, проектные организации, субъекты предпринимательства.

Несмотря на бурное развитие новых технологий шестого технологического уклада, большая доля технологических операций в транспортной отрасли остается консервативной, в том числе система управления процессами перевозок.

В рамках настоящего исследования предпринята попытка повышения эффективности управления железнодорожными станциями. Задача представляет собой локальную интеграцию функций контроля и управления и строится на основе известных технико-технологических разработок. Ее решение представляется как этап построения цифровой железной дороги, в которой максимальное количество функций и операций будет автоматизировано.

В целом процесс построения такой железной дороги будущего можно представить в виде нескольких этапов: интеграция функций контроля и управления, автоматизация процессов, внедрение в систему управления решений на основе искусственного интеллекта.

Целью настоящего исследования является разработка модели и технологических решений для удаленного управления железнодорожными станциями. Для ее достижения поставлены и решены следующие задачи: определены основные факторы развития систем управления станциями, и предложена модель удаленного управления ими; разработана усовершенствованная технология организации перевозочного процесса на основе удаленного управления станциями; реализован пилотный проект «Центр управления станциями».

Методологической основой исследования являются математическое моделирование, теория автоматического управления, факторный анализ и синтез. При проведении исследования изучены публикации, посвященные вопросам цифровизации транспортной отрасли [2–9]. Автор также опирался на результаты научных исследований, посвященных разработке и внедрению интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте [10–14], и опыт исследователей, специализирующихся на системах управления железнодорожными станциями [15–31].

Анализ факторов развития систем управления

К началу XXI в. системы управления работой железнодорожного транспорта прошли значительный путь эволюции от

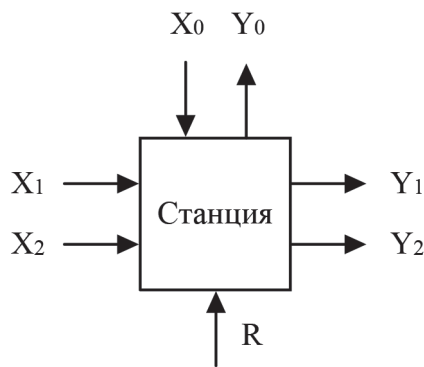


Рис. 1. Модель работы станции

ручных способов сигнализации и управления до автоматизированных и автоматических систем. При этом невозможно не отметить процесс цифровизации всей транспортной отрасли РФ. В его рамках сквозные цифровые технологии (преимущественно искусственный интеллект и большие данные), хорошо зарекомендовавшие себя в других сферах, находят свое применение и на транспорте.

В то же время большинство систем управления работой железнодорожного транспорта использует технологии второй половины XX в. Скорость цифровизации неодинакова в разных видах деятельности. Наибольший прогресс наблюдается в IT-блоке, области взаимодействия с пользователями транспортных услуг, логистике и системах диагностики инфраструктуры. Рассмотрим основные факторы развития систем управления железнодорожными станциями.

Фактор цифровизации. Цифровизация (процесс внедрения цифровых технологий) позволяет обеспечить сокращение прямых и косвенных затрат в цепочке создания транспортной услуги. Она позволяет получить новые эффекты, например, прогноз развития процессов и предиктивную аналитику. Системы управления процессами перевозок генерируют во время работы значительное количество информации, которую можно использовать в алгоритмах управления.

Социальный фактор. Относится к ESG-принципам, обуславливает необходимость учета последствий вытеснения низкоквалифицированных профессий в процессе автоматизации трудовых действий работников. Встречный процесс появления новых высокотехнологичных должностей, как правило, не может компенсировать сокращение рабочих мест, поэтому следует заранее определять объем вытесняемых должностей и купировать риски для социально незащищенных работников.

Фактор безопасности. Железнодорожный транспорт относится к объектам повышенной опасности и, как следствие, все новые технические и технологические решения должны рассматриваться с позиции безопасности.

Системный фактор. Системы управления железнодорожным транспортом относятся к сложным системам, все части которых находятся во взаимодействии друг с другом. Новые технические и технологические решения должны рассматриваться с позиции того, как они влияют на другие, в том числе смежные, системы. Например, процесс автоматизации системы управления станциями невозможно реализовывать без технического перевооружения подпроцессов: связи между машинистами маневрового подвижного состава и диспетчерами, технического перевооружения рабочего места диспетчера и т. д.

Экономический фактор. Любые инновации должны рассматриваться с позиции экономической эффективности и влияния на бизнес-процессы. Сами эффекты при этом могут быть различными: экономическими, социальными, техническими, технологическими, репутационными и др.

Экологический фактор. Фактор также относится к ESG-принципам и обуславливает необходимость учета последствий принимаемых решений от внедрения новых технологий в части воздействия

на человека и окружающую среду. Следует подчеркнуть, что железнодорожный транспорт сам по себе является экологичным: преобладающее количество грузовых перевозок осуществляется на электрической тяге, электромагнитное воздействие систем энергообеспечения перевозочного процесса на человека минимальное.

Учет описанных факторов в процессе разработки и внедрения инноваций в системы управления железнодорожным транспортом позволит обеспечить их эффективность и купировать риск снижения технико-технологических, экономических и эксплуатационных показателей работы.

Модель удаленного управления группой станций

Опишем модель удаленного управления группой последовательно-расположенных станций. Работа дежурного по станции может быть представлена как система управления объектом, где X — входные потоки данных, Y — выходные, R — ресурсы. Входные и выходные потоки в общем виде могут быть разбиты на четное и нечетное направление, а также на выгрузку и погрузку на самой станции, обозначаются «2», «1» и «0» соответственно. С учетом этого, математическая модель управления одной станцией представлена на рис. 1 и описана функционалами:

$$y = f(x, R, t), \tag{1}$$

$$y_1 + y_2 + y_0 = f(x_1 + x_2 + x_0, R, t), \tag{2}$$

Эффективность работы дежурного по станции будет определяться по критерию минимума ресурсов R и времени выполнения технологических операций t . Группа станций описывается аналогично. При этом можно составить систему уравнений, где первая система будет описывать работу станций, вторая — примыкающие перегоны.

Понятно, что выходные потоки для одной станции будут равны входным для другой (последующей) со сдвигом по вре-

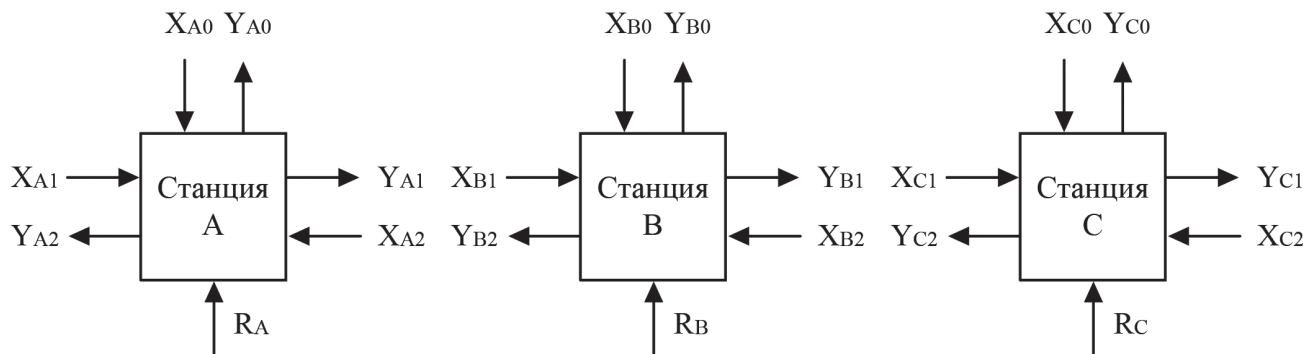


Рис. 2. Модель работы группы станций

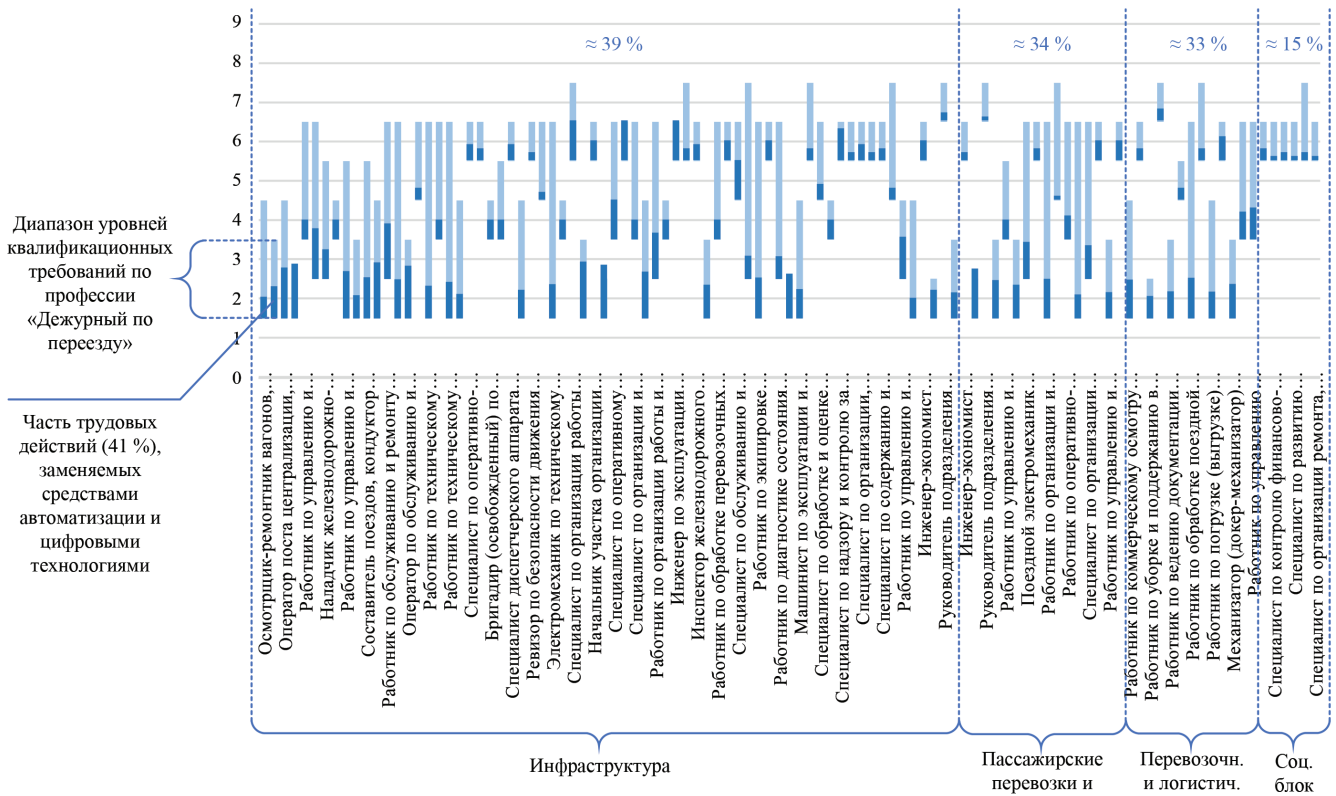


Рис. 3. Замещение трудовых функций работников железнодорожного транспорта за счет автоматизации и внедрения новых технологий

мени. С учетом этого, математическая модель управления группой из трех станций представлена на рис. 2 и описана выражениями:

$$\begin{cases} y_{A1} + y_{A2} + y_{A0} = f(x_{A1} + x_{A2} + x_{A0}, R_A, t) \\ y_{B1} + y_{B2} + y_{B0} = f(x_{B1} + x_{B2} + x_{B0}, R_B, t); R = R_A + R_B + R_C; R, t \rightarrow (3) \\ y_{C1} + y_{C2} + y_{C0} = f(x_{C1} + x_{C2} + x_{C0}, R_C, t), \\ \min \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{B1} = f(y_{A1}, t) \\ x_{C1} = f(y_{B1}, t) \\ x_{A2} = f(y_{B2}, t) \\ x_{B2} = f(y_{C2}, t) \end{cases} \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) содержат функцию времени и могут быть представлены в интегральном виде. Замена ресурсного обеспечения как единого потока в системе функционалов (3) и (4) коэффициентом K_R позволит перейти к аналитическим выражениям в интегральной форме:

$$\begin{cases} \int_{t_1}^{t_2} Y_A dt = \int_{t_1}^{t_2} X_A K_R dt \\ \int_{t_1}^{t_2} Y_B dt = \int_{t_1}^{t_2} X_B K_R dt. \\ \int_{t_1}^{t_2} Y_C dt = \int_{t_1}^{t_2} X_C K_R dt \end{cases} \quad (5)$$

Тогда для центра удаленного управления группой станций выражение (5) примет вид:

$$\int_{t_1}^{t_2} Y dt = \int_{t_1}^{t_2} X K_R dt. \quad (6)$$

Представленные выражения являются основой модели удаленного управления работой группы станций. Построение интеллектуальной системы, позволяющей автоматизировать трудовые действия дежурного, представляет собой задачу оптимизации по критерию при допустимых уровнях риска и других критериальных показателях. Одним из базовых критериев является безусловная безопасность перевозочного процесса.

В текущей парадигме управления станциями основой является фактическое нахождение дежурного по станции на объекте управления в непосредственной близости к инфраструктуре.

Удаленно поездным диспетчером выполняются только базовые действия, связанные с пропуском транзитного вагонопотока.

Новизна предлагаемого подхода состоит в передаче всех функций, связанных с организацией работы станции, в удаленный центр управления, в том числе и в большинстве «нестандартных» ситуаций, ранее требовавших вызов дежурного работника на объект. Итогом исследования является набор функциональных выражений, позволяющих сформировать техническое задание для алгоритма автоматической организации перевозочного процесса — прообраз центра интеллектуального управления железнодорожными станциями. Так, выражение (3) содержит критерий оптимизации модели управления. Это минимум издержек при сокращении времени обработки поездов.

Выводом из проведенного исследования является независимость сложности модели от размеров моделируемого участка. Выражения (1)–(6) подтверждают наличие возможности практически неограниченного масштабирования модели на группу участков. Естественным ограничением является лишь производительность вычислительной машины и размеры экрана для отображения текущей ситуации.

Совершенствование технологии организации перевозочного процесса на основе удаленного управления станциями

Совершенствование технологии организации перевозочного процесса реализуется посредством интеграции трудовых действий группы работников — дежурных малодеятельных станций. Функциональные обязанности работников делятся на четыре категории: рутинные ручные, рутинные когнитивные, нерутинные ручные, нерутинные когнитивные. Первые две категории могут быть автоматизированы, причем скорость этого процесса зависит от регламентации труда. Чем качественнее и подробнее описаны трудовые действия,

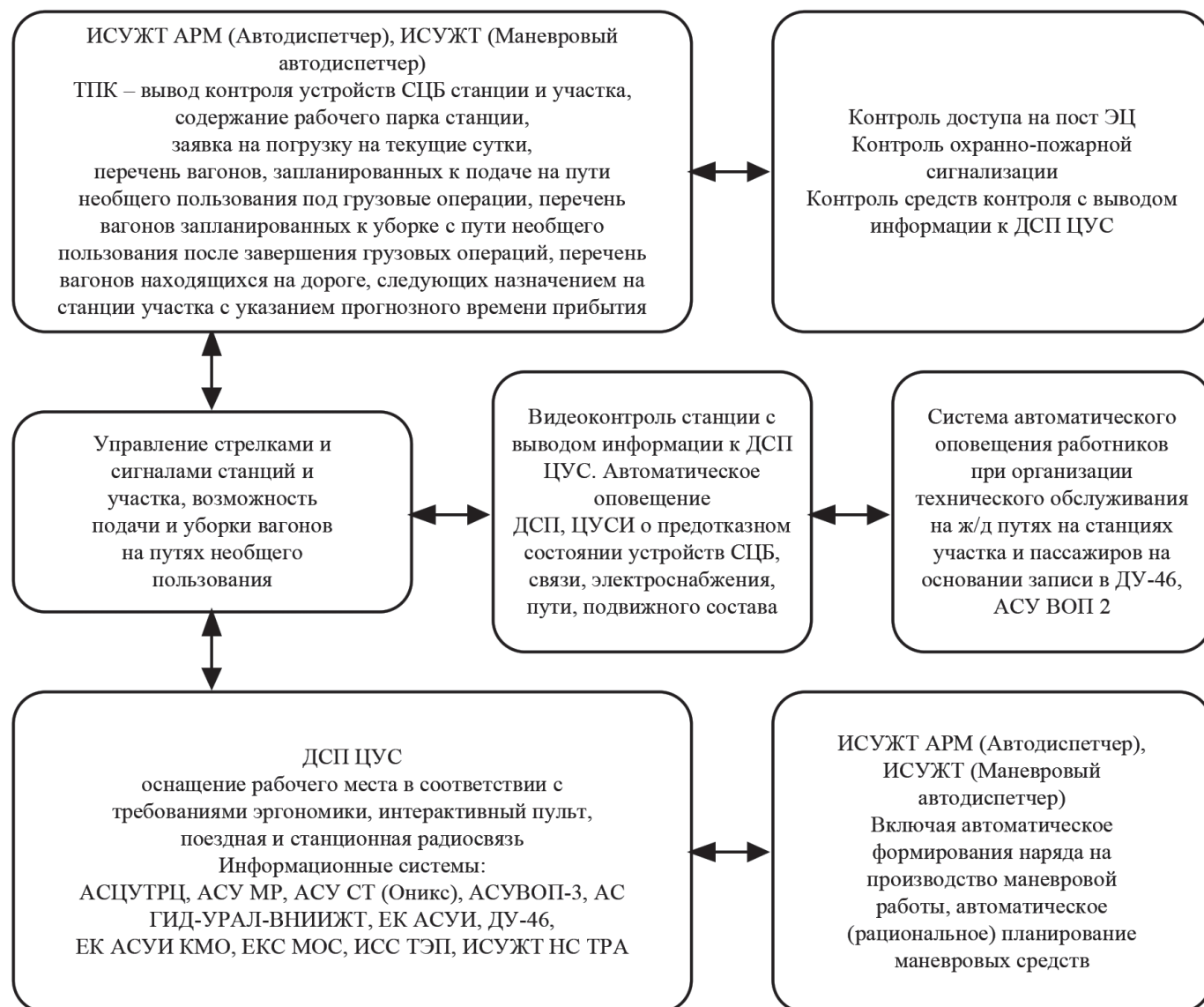


Рис. 4. Промежуточная целевая модель проекта «Центр управления станциями»

ИСУЖТ АРМ (автодиспетчер) – единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте, модули автоматического планирования поездной работы и автоматической установки маршрутов; ИСУЖТ (маневровый автодиспетчер) – единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте, перспективный планируемый модуль автоматизированного планирования маневровой работы и установки маневровых маршрутов; ТПК – табло коллективного пользования; ДСП ЦУС – дежурный по станции, осуществляющий удаленное управление группой станций на удаленном участке; ЦУСИ – центр управления содержанием инфраструктуры; АСУ ВОП-3 – автоматизированная система выдачи и отмены предупреждений; АС ЦУТР – автоматизированная система Центра управления тяговыми ресурсами; АСУ МР – автоматизированная система управления местной работой (после импортозамещения выводится из эксплуатации с миграцией функционала в подсистему управления эксплуатационной работой на базе Единой модели перевозочного процесса (ЕМД ПП УЭР); АСУ СТ – автоматизированная система управления станциями, в том числе АСУ СТ (ЦТТ); АС ЭТРАН – автоматизированная система централизованной подготовки и оформления перевозочных документов; ГИД «Урал-ВНИИЖТ» – автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения; ЕК АСУИ – единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой ОАО «РЖД»; ЕК АСУИ ДУ-46 – подсистема формирования электронного журнала осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦБ, связи и контактной сети; ИСС ТЭП – информационно-справочная система «Табло эксплуатационных показателей»; ИСУЖТ НС ТРА – автоматизированная подсистема ИСУЖТ, в которой производится ведение, согласование и утверждение ТРА станции и формализованных приложений к нему; ЕКС МОС – единая корпоративная система мгновенного обмена сообщениями

алгоритмы и сценарии поведения, тем легче процесс автоматизации.

При этом различные должности на железнодорожном транспорте имеют разное отношение трудовых действий, которые могут быть автоматизированы, к общему объему. В качестве примера на рис. 3 приведена диаграмма, показывающая возможности по автоматизации

и цифровизации трудовых действий в рамках различных должностей. Высота столбцов и их расположение для каждой профессии показывает квалификационные требования.

Чем выше квалификация требуется от работника, тем выше максимальное значение столбца. Чем шире спектр трудовых действий работника, тем больше

высота столбца. Часть трудовых действий, которая может быть автоматизирована, имеет темную окраску. Как видно из рисунка, спектр возможностей по автоматизации трудовых действий большой и в среднем по бизнес-блокам железной дороги составляет: инфраструктура – 39 %, пассажирские перевозки и сервис – 34 %, перевозочный

и логистический бизнес — 33 %, социальный блок — 15 %.

Трудовые действия дежурного по станции описаны профессиональным стандартом «17.026 Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению железнодорожными перевозками». Доля трудовых функций, которые могут быть автоматизированы и оцифрованы при текущем уровне развития технологий и их доступности, составляет 40 %.

В рамках исследования разработана технология организации перевозочного процесса, реализуемая на базе центра управления станциями на участке железной дороги. Удаленное управление обеспечивается при помощи систем управления станциями, оборудованными системой микропроцессорной централизации на базе автоматизированного рабочего места (АРМ). АРМ позволяет осуществлять местную работу станций участка при обработке вывозных и передаточных поездов, пригородных поездов, а также обслуживание инфраструктуры с удаленного рабочего места. Предусмотрено ручное и автоматическое ведение документации с соблюдением требований инструкционно-технологических карт, инструкций, требований по установленным формам и других нормативных документов.

Разработанная технология включает: технологию работы с пассажирскими поездами в соответствии с нормативным графиком движения поездов, технологию работы с грузовыми поездами, порядок работы с вагонной и поездной моделью, контроль устранения выявленных замечаний, плановое обслуживание инфраструктуры, организацию внеплановых работ, порядок действий при аварийных и нестандартных ситуациях, порядок выдачи предупреждений.

Пилотный проект «Центр управления станциями» и его технико-экономические показатели

В рамках исследования реализован проект управления железнодорожными станциями на базе единого удаленного от участка центра (рис. 4). Он сокращает рутинную работу дежурного по станции, превращая его в поездного диспетчера. Работник видит всю картину протекающих процессов и может прогнозировать развитие ситуации. Проект позволяет сконцентрировать управлен-

ческие функции и исключить потребность в дополнительных структурах при осуществлении команд. Предложенное технико-технологическое решение оптимизирует работу инфраструктуры в комплексе, обеспечив при этом прозрачность и цифровизацию всех процессов на основе современных технологий.

Работа Центра управления станциями осуществляется следующим образом. ЦУС входит в состав Диспетчерского центра управления перевозками. Телеуправление станциями обеспечивается при помощи системы микропроцессорной централизации (АРМ ДСП ЦУС). АРМ ДСП ЦУС позволяет осуществлять прием, отправку и пропуск поездов, производство маневровой работы на станциях диспетчерского участка, а также обслуживание и ремонт инфраструктуры с удаленного рабочего места, которое находится в здании Диспетчерского центра управления перевозками.

Поездной диспетчер (ДНЦ) совместно с персоналом станций, ДСП ЦУС и сменным работником центрального поста ДЦ обеспечивают контроль исправности и работоспособности средств диспетчерской централизации, АРМ ДСП ЦУС, организует немедленное устранение обнаруженных неисправностей. ЦУС включает в себя два рабочих места, оборудованных АРМ ДСП ЦУС, и место диспетчера поездного диспетчерского участка Инза — Ульяновск — Нурлат, оборудованного системой АРМ ДНЦ.

ДСП ЦУС-1 управляет стрелками и светофорами на участке от станции Дубенки до станции Студенческая (Дубенки, Юловка, Готовка, Шарлово, Вешкайма, Чуфарово, Майна, Разъезд 844 км, Выры, Охотничья, Анненково).

ДСП ЦУС-2 управляет стрелками и светофорами на участке от станции Заволжский до станции Розовка (Заволжский, Верхняя Терраса, Совхозный, Чердаклы, Уренбаш, Путевой, Бряндино, Рассвет, Обамза, Малыкла, Якушка, Амировка, Кармала, Погрузная, Розовка).

Общее руководство движением поездов и работой диспетчерского участка Инза — Ульяновск — Нурлат осуществляет поездный диспетчер.

Реализация проекта позволяет устранить ряд барьерных функций и обеспечить:

- возможность передачи управления одной или несколькими станциями диспетчерского участка;

- организацию маневровой (станционной) радиосвязи и двусторонней парковой связи станций участка с рабочим местом единого центра;

- блокировку установки маршрутов с учетом установленных дежурным ограничивающих пометок и специализации путей приема;

- выдачу предупреждений при установке маршрута приема, если длина поезда превышает длину приема;

- возможность отправления со станций на закрытые для движения перегоны.

В рамках реализации пилотного проекта на участке сокращено 20 % дежурных по станции, обеспечено повышение технологической эффективности управления движением поездов за счет снижения эксплуатационных расходов. Дополнительные эффекты от внедрения проекта: снижение непроизводительных потерь рабочего времени и поездо-часов в результате автоматизации документооборота, повышение безопасности движения поездов и промышленной безопасности.

Разработка и внедрение в практическую деятельность проекта «Центр управления станциями», позволили в краткосрочной перспективе оптимизировать текущие затраты в размере более 10 млн руб./год.

Дальнейшее развитие проекта связано с внедрением информационной системы управления железнодорожным транспортом, что позволит еще повысить степень автоматизации выполнения операций по управлению перевозками.

Источники

1. Транспортная неделя 2023. Ключевое событие Форума «Транспорт России» было посвящено новой экономике транспорта. URL: <https://2023.transweek.digital/ru> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Левин Б. А., Цветков В. Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 3(76). С. 50–61. EDN: XYVKXJ.
3. Меренков А. О. Индустрия 4.0: немецкий опыт развития цифрового транспорта и логистики // Управление. 2017. Т. 5. № 4. С. 17–21. EDN: YOSSVV.
4. Машкина Н. А., Велиев А. Е. Влияние цифровой экономики на развитие транспортной отрасли в мире // ЦИТИСЭ. 2020. № 1(23). С. 290–299. DOI: 10.15350/24097616.2020.1.27. EDN: ADZWXS.

5. Лapidус Б. М. О влиянии цифровизации и Индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. 2018. № 1. С. 1–8. EDN: YSLAKR.
6. Кузнецов, А. Л., Кириченко А. В., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Направления цифровизации транспортной отрасли // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 6. С. 1179–1190. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1179-1190. EDN: YYEUIX.
7. Волкова Е. М., Лякина М. А., Стривовская А. В. Проблемы оценки экономических эффектов от использования цифровых технологий в городских транспортных системах // Бюллетень результатов научных исследований. 2019. № 1. С. 59–68. DOI: 10.20295/2223-9987-2019-1-59-68. EDN: ZAPBZ.
8. Романчиков А. М., Гросс В. А., Ефанов Д. В., Васильев А. Ю. Цифровизация железнодорожного транспорта в России // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 6(79). С. 10–13. EDN: YSWXLN.
9. Иванова Н. Цифровизация транспортного комплекса как важнейшее условие формирования современной транспортной инфраструктуры // Транспортное дело России. 2020. № 1. С. 71–75. EDN: AQAJCS.
10. Цветков В. Я., Розенберг И. Н. Интеллектуальные транспортные системы. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012. 297 с. EDN: RRECPJ.
11. Левин Б. А., Цветков В. Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 2(75). С. 138–145. EDN: XSMVVB.
12. Левин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. 2017. Т. 1. № 3(3). С. 3–15. EDN: ZIBWKD.
13. Левин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. 2017. Т. 1. № 3(3). С. 3–15. EDN: ZIBWKD.
14. Ададунов С. Е., Гапанович В. А., Лябах Н. Н., Шабельников А. Н. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению. Ростов н/Д: Ростиздат, 2010. 322 с. EDN: NTOJOF.
15. Савицкий А. Г. Построение системы управления технологическим процессом станции // Железнодорожный транспорт. 2020. № 7. С. 14–19. EDN: SKYTHN.
16. Белых А. А., Широкова В. В. Интеллектуализация оперативного управления железнодорожной станцией с использованием нейронных сетей // Научные исследования XXI века. 2020. № 1(3). С. 32–36. EDN: YAEAXV.
17. Рахмангулов А. Н., Корнилов С. Н., Мишкоров П. Н., Александрин Д. В. Имитационное моделирование и оперативное управление работой железнодорожной станции // Современные достижения университетских научных школ: Сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 19–20 ноября 2020 г. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2020. С. 177–181. EDN: QRWAYZ.
18. Патент № 2738779 С1 Российская Федерация. Способ управления технологическим процессом железнодорожной станции / Б. Л. Бодров, Г. А. Зуев, А. В. Калинин, А. Г. Савицкий. Оpubл. 05.06.2020. EDN: NDJPUB.
19. Белых А. А., Широкова В. В. Оценка влияния искусственного интеллекта на оперативное управление участковой железнодорожной станции // Национальная Ассоциация Ученых. 2020. № 56–1(56). С. 36–41. DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.1.56.229. EDN: JBHBQZ.
20. Патент № 2760966 С1 Российская Федерация. Система управления движением железнодорожного транспорта на станции / П. В. Бармин, Ю. И. Кузнецов. Оpubл. 01.12.2021. EDN: ETNBBI.
21. Патент № 2761670 С1 Российская Федерация. Система управления движением железнодорожного транспорта на станции / П. В. Бармин, Ю. И. Кузнецов. Оpubл. 13.12.2021. EDN: OXGLDP.
22. Сапожников В. В., Сапожников В. В., Ефанов Д. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. М.: Наука, 2021. 229 с. EDN: KCHOWR.
23. Широкова В. В., Кузьмина Н. А. Использование нейронных сетей в оперативном управлении железнодорожной станцией // Открытые эволюционирующие системы: цифровая трансформация: Материалы шестой международной научно-практической конференции. Посвящается 85-летию образования ДВГУПС, 20-летию Международной научной конференции «Открытые эволюционирующие системы», Хабаровск, 8–9 июня 2022 г. Хабаровск: Изд-во Дальневосточного государственного университета путей сообщения, 2022. С. 36–42. EDN: XCDDEI.
24. Числов О. Н., Луганченко Н. М. Моделирование транспортных конфликтов в интеллектуальных системах управления технологическими процессами припортовых железнодорожных станций // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): материалы мультиконференции, 11–15 сентября 2023 г. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. Т. 4. С. 108–111. EDN: KERMHY.
25. Каликина Т. Н., Саутнер Е. И. Интеллектуальное управление работой сортировочной станции // Открытые эволюционирующие системы: цифровая трансформация: Материалы шестой международной научно-практической конференции. Посвящается 85-летию образования ДВГУПС, 20-летию Международной научной конференции «Открытые эволюционирующие системы», 8–9 июня 2022 г. Хабаровск: Изд-во Дальневосточного государственного университета путей сообщения, 2022. С. 87–92. EDN: JBNLLW.
26. Кушпиль И. В. Методы и алгоритмы централизации оперативного управления движением поездов на малодеятельных линиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2020. 168 с. EDN: CMMRGX.
27. Рогов С. А. Интеллектуализация методов и алгоритмов управления технологическими процессами на сортировочных горках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2019. 156 с. EDN: EJPCKP.
28. Хижняк М. А. Интеллектуализация управленческих функций дежурного по станции (ДСП): автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2021. 170 с. EDN: UJWZUM.
29. Нечай Т. А. Модели и алгоритмы специализированной информационно-вычислительной системы для планирования маневровой работы на промышленном транспорте: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2020. 150 с. EDN: YLTCCF.
30. Соляник В. В. Экспресс-анализ показателей сменно-суточной работы сортировочной станции на основе имитационного моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2021. 210 с. EDN: MFKNHS.
31. Ермакова А. В. Выбор технологически эффективных периодов маневрового обслуживания путей необщего пользования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2022. 229 с. EDN: YWREGF.