

УДК 338.47 DOI: 10.14451/1.241.168

Экономическая оценка внедрения технологий автоматизации на сортировочных станциях (на примере Комплексной системы автоматизированного управления сортировочным процессом на железнодорожной станции Кинель)

© 2024 Гулый Илья Михайлович

Кандидат экономических наук, доцент кафедры Экономика транспорта. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург.
E-mail: ilya.guliy@mail.ru

Ключевые слова: КСАУ СП, автоматизация сортировочных процессов, цифровая железнодорожная станция, мобильное рабочее место, МРМ, Кинель.

Цель: охарактеризовать внедряемые на пилотных железнодорожных станциях технологии автоматизации сортировочных процессов, раскрыть методику экономической оценки эффективности вложений в реализацию проекта КСАУ СП на сортировочной станции, провести оценку показателей эффективности автоматизированных решений для пилотной станции Кинель Куйбышевской железной дороги. Методы: технико-экономическая оценка инвестиционного проекта, дескриптивный анализ, поэлементный анализ технологической инновации, метод расходных ставок и нормативных коэффициентов, используемый при расчете отдельных видов экономических эффектов в перевозочной деятельности. Результаты: выполнена оценка инвестиций, совокупной величины годового экономического эффекта и периода окупаемости инвестиций при внедрении на станции Кинель Куйбышевской железной дороги Комплексной системы автоматизированного управления сортировочным процессом. Материалы исследования адресованы работникам железнодорожного транспорта, специалистам по проектированию и технико-экономическому обоснованию автоматизированных и цифровых решений, применяемых в перевозочных процессах различных видов транспорта.

Введение

Цифровизация интенсивно захватывает все сферы производственных процессов. На железнодорожном транспорте компанией «РЖД» несколь-

ко лет поэтапно внедряется комплексный проект «Цифровая железная дорога». В первую очередь, цифровизацией охвачены основные перевозочные процессы обеспечения грузового движе-

ния [3]. На сети российских железных дорог реализуется ряд пилотных проектов, один из которых – «Цифровая железнодорожная станция» («Цифровой железнодорожный узел»). Пилотными станциями для апробирования внедряемых цифровых решений являются крупные железнодорожные станции Кинель Куйбышевской железной дороги и Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги. На современных станциях управление осуществляется дистанционно с использованием автоматизированных центров централизованного управления, тем самым железнодорожная компания экономит время, ресурсы, рабочий персонал, повышает точность планирования, надежность и обеспечивает безопасность перевозок.

Результаты исследования

Характеристика процессов автоматизации и цифровизации на пилотной железнодорожной станции Кинель

Железнодорожная станция Кинель Куйбышевской железной дороги является сортировочной внеклассной станцией с показателем вагонооборота 13600 единиц в сутки. Главные пути расположены – внутри станции, что разделяет ее на нечетную (4 парка) и четную (5 парков) системы – сортировочные горки. По нечетной сортировочной горке, на которой внедрены средства автоматизированного управления, перерабатывающая способность составляет 4600 вагонов в сутки, а по четной горке, на которой пока не внедрена полноценная система автоматизации, перерабатывающая способность составляет 2400 вагонов в сутки [1].

Система автоматизированного управления сортировочным процессом внедрена на нечетной горке станции Кинель 12 лет назад. В первую очередь автоматизация затронула: процессы интервального регулирования и прицельного торможения отцепов (в автоматическом режиме регулируется скорость скатывания отцепов – установлены устройства управления прицельным торможением АРС УППТ, а также введены радиолокационные измерители скорости спуска на каждой тормозной позиции); процессы

определения местоположения отцепов на станционных путях сортировочных парков (внедрены устройства контроля заполнения путей подгорочного парка на импульсном зондировании КЗП-ИЗД); процессы управления стрелками (применяется автоматическая централизация микропроцессором с ведением накопления вагонов ГАЦ МН) [5]. В подсистему АРС УППТ дистанционно поступают данные о счете осей, силе и направлении ветра, давлении, температуре, атмосферных осадках.

Исключению использования ручного труда при проверке стрелочных переводов, повышению достоверности информации, передаваемой на пульт управления, способствуют внедренные на нечетной горке станции мобильные рабочие места (МРМы).

В рамках реализации мероприятий «цифровой железнодорожной станции» 5 лет назад на станции Кинель внедрены цифровое планирование и контроль исполнения технологических операций сортировки вагонов. Электронное планирование посредством программного алгоритма позволяет синхронизировать (увязать) локомотивы, машинистов локомотивов с нормативными графиками. Цифровой контроль исполнения предусматривает использование функционального навигатора и программ для МРМов, благодаря которым осуществляется формирование цепочек технологических операций и контроль соблюдения нормативов работ на станции, реализуется постоянный цифровой контроль для предотвращения нарушений технологических режимов и операций работниками станции [9]. На МРМах транслируются наряды и осуществляется обратная связь по их выполнению. Контроль исполнения в узловом центре управления станции также предусматривает открытое для всеобщего ознакомления регулярное отображение информации на цифровом мониторе. Отметим важнейший результат оцифровки процессов управления на станции Кинель: на 20 минут сокращена средняя продолжительность простоя транзитного вагона; на 10 минут снижена средняя продолжительность простоя транзитного

вагона без переработки [7].

На станции также постепенно внедряются нейросетевые технологии с последующим внедрением искусственного интеллекта и технологий обработки и аналитики больших данных. В частности, нейросети формируются для оптимизации и повышения эффективности осуществления контроля закрепления вагонов при помощи установки тормозных башмаков.

Постепенно внедряются и технологии роботизации: появляются автоматизированные ограждающие устройства, внедряется интерактивный пульт комплексной системы управления (на нечетной сортировочной горке) [10].

Оценка эффективности мероприятий по автоматизации сортировочных процессов на железнодорожной станции

Обоснуем источники возникновения экономического эффекта за счет мероприятий по автоматизации сортировочных процессов. Важным источником экономического эффекта является результат более быстрой обработки информации – большего объема данных (информация передается с датчиков на центры управления данными). За счет цифровых систем заранее принимаются управляющие воздействия, предотвращающие сбои. Технологии автоматизированной обработки данных упрощают и улучшают планирование, повышают его качество. При повышении скорости реагирования значительно улучшается процесс принятия управленческих решений на железнодорожной станции. В конечном итоге с повышением точности и скорости выполнения операций минимизируются и исключаются случаи отказов технических средств на инфраструктуре, сокращаются временные потери на непроизводительный простой подвижного состава, как следствие, повышается перерабатывающая способность станции, увеличивается ее вагонооборот, растут показатели грузооборота и пассажирооборота всей сети железных дорог. Механизация и автоматизация станционных процессов позволяют без значительных вложений в расширение инфраструктуры и ввод дополни-

тельных путей существенно нарастить провозную и пропускную способность сортировочных станций [2].

Потребность в финансировании на реализацию проекта автоматизации управления сортировочным процессом станции включает единовременные расходы на подготовку проектной документации; СМРы; закупку и установку соответствующего оборудования; работы по пусконаладке [4].

Последовательность экономической оценки внедрения технологий автоматизации на сортировочных станциях

1. Годовой экономический эффект от внедрения КСАУ СП

Годовой экономический эффект от внедрения автоматизированных систем управления на сортировочной станции складывается из следующих элементов (составляющих эффекта): $\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}^{c/\pi} + \Delta \mathcal{E}^{b/\pi} + \Delta \mathcal{E}_{\text{ман}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{доп}} + \Delta K_{\text{в}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{рем}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{эл}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{фзп}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{лок}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{п}}$, где $\Delta \mathcal{E}^{c/\pi}$ – уменьшение расходов за счет сокращения времени занятия станционных путей (при организации транзита вагонов с переработкой); $\Delta \mathcal{E}^{b/\pi}$ – уменьшение расходов за счет сокращения времени занятия станционных путей (транзит вагонов без переработки); $\Delta \mathcal{E}_{\text{ман}}$ – снижение эксплуатационных расходов на проведение маневровых работ; $\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}}$ – уменьшение затрат за счет применения высвобожденного вагонного парка для дополнительного объема грузовых перевозок; $\Delta K_{\text{в}}$ – экономия капиталовложений в приобретение вагонов (для операторов подвижного состава); $\Delta \mathcal{E}_{\text{рем}}$ – предотвращение потерь от боев и сходов вагонов; $\Delta \mathcal{E}_{\text{эл}}$ – экономия затрат на электрическую энергию для обеспечения работы компрессорной станции; $\Delta \mathcal{E}_{\text{фзп}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{соц}}$ – экономия затрат труда (с отчислениями в социальные фонды) при сокращении численности дежурных стрелочных постов и численности регулировщиков скорости движения вагонов; $\Delta \mathcal{E}_{\text{лок}}$ – экономия затрат на эксплуатацию горючего локомотива; $\Delta \mathcal{E}_{\text{п}}$ – уменьшение эксплуатационных расходов при консервации пути

в парке приема [6].

Уменьшение расходов за счет сокращения времени занятия станционных путей (при организации транзита вагонов с переработкой): $\Delta \mathcal{E}^{c/\pi} = \frac{14 \cdot \Delta t_{\text{ГП}} \cdot n^{c/\pi}}{1000} \cdot e_{\text{КМТ}} \cdot 365$, где $\Delta t_{\text{ГП}}$ – величина уменьшения времени занятия путей станции под расформированием и в процессе его ожидания, часов; $n^{c/\pi}$ – число транзитных вагонов с переработкой, проходящих через станцию в течение суток (в среднем), единиц; $e_{\text{КМТ}}$ – значение расходной ставки в расчете на один час простоев вагонов на путях станции, рублей; 14 – длина единицы подвижного состава (вагона), м; сокращение времени на роспуск вагонов за счет роста скорости, исключения остановок при внедрении горочного локомотива составляет 0,033 часа.

Уменьшение расходов за счет сокращения времени занятия станционных путей (транзит вагонов без переработки): $\Delta \mathcal{E}^{б/\pi} = \frac{14 \cdot \Delta t_{\text{ПТО}} \cdot n^{б/\pi}}{1000} \cdot e_{\text{КМТ}} \cdot 365$, где $\Delta t_{\text{ПТО}}$ – величина сокращения продолжительности простоя вагонов на путях станции при вводе бригады ПТО (17 минут); $n^{б/\pi}$ – число транзитных вагонов без переработки, проходящих через станцию (в среднем в сутки), единиц; $e_{\text{КМТ}}$ – значение расходной ставки в расчете на один час простоев вагонов на путях станции, рублей.

Снижение эксплуатационных расходов на проведение маневровых работ: $\Delta \mathcal{E}_{\text{ман}} = \Delta t_{\text{ЛМ}} \cdot M_{\text{СОСТ}} \cdot e_{\text{МТ}} \cdot 365$, где $\Delta t_{\text{ЛМ}}$ – уменьшение продолжительности выполнения маневровых работ, в том числе уменьшение затрат времени на роспуск подвижного состава (в расчете на один состав) ($\Delta t_{\text{ЛМ}} = 0,033$); $M_{\text{СОСТ}}$ – среднее количество поездов, перерабатываемых по станции в сутки, единиц; $e_{\text{МТ}}$ – значение расходной ставки в расчете на один локомотиво-час маневровой работы, рублей.

Высвобождение вагонного парка для дополнительного объема грузовых перевозок (транзит с переработкой): $\Delta n_{\text{ТР}}^{c/\pi} = \frac{n^{c/\pi}(t_1 - t_2)}{24}$, где $n^{c/\pi}$ – среднее в течение суток число перерабатываемых на станции транзитных вагонов, единиц; t_1, t_2 – временная продолжительность простоя

одного вагона (транзит по станции с переработкой) соответственно до и после внедрения автоматизированной системы, часов/вагон; $n^{c/\pi}$ округляется до целых значений.

Высвобождение вагонного парка для дополнительного объема грузовых перевозок (транзит без переработки): $\Delta n_{\text{ТР}}^{б/\pi} = \frac{n^{б/\pi}(t_1 - t_2)}{24}$, где $n^{б/\pi}$ – число вагонов, проходящих через станцию без переработки в среднем в сутки, единиц; t_1, t_2 – величины времени простоя вагона на станции (транзит без переработки) соответственно до и после внедрения автоматизированной системы, часов / вагон; в расчетах значение $n^{б/\pi}$ округляется до целых вагонов.

$$\Delta n = \Delta n_{\text{ТР}}^{c/\pi} + \Delta n_{\text{ТР}}^{б/\pi}.$$

Уменьшение затрат за счет применения высвобожденного вагонного парка для дополнительного объема грузовых перевозок: $\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}} = \frac{0,7 \cdot \Delta n \cdot P_{\text{раб}} \cdot S_{\text{в}} \cdot C_{\text{УП}} \cdot 365}{10} \cdot 0,5$, где $C_{\text{УП}}$ – средняя величина условно-постоянных расходов в расчете на единицу грузооборота (каждые 10 тонно-км), рублей; $P_{\text{раб}}$ – среднее значение динамической нагрузки вагона, тонн; $S_{\text{в}}$ – среднесуточный пробег рабочего парка вагонов, километров; 0,7 – среднее значение коэффициента использования грузовых вагонов, доли единицы.

Экономия капиталовложений в приобретение вагонов (для операторов подвижного состава): $\Delta K_{\text{в}} = \Delta n \cdot \Pi_{\text{в}} \cdot 0,1$, где Δn – высвобожденное число вагонов, единиц; $\Pi_{\text{в}}$ – цена приобретения вагона (в среднем по данным Росстата, условно принимается по типу «полувагоны»), рублей.

Предотвращение потерь от боев и сходов вагонов: $\Delta \mathcal{E}_{\text{рем}} = 5 \cdot \Pi_{\text{б}}$, где $\Pi_{\text{б}}$ – средняя величина потерь в случае боя единицы вагона при сортировке на станции, руб.; 5 – среднее за год число случаев боя вагонов при сортировке (в среднем по сортировочным станциям сети ОАО «РЖД»).

Величина экономии затрат на электрическую энергию для обеспечения работы компрессорной станции: $\Delta \mathcal{E}_{\text{эл}} = (\Delta P_{\text{ЭК}} - \Delta P_{\text{доп}}) \cdot e_{\text{эл.эн}}$,

где $\Delta P_{\text{эк}}$ – годовая величина снижения расхода электрической энергии при переходе к автоматизированному процессу управления замедлителями вагонов, кВт-часов (принимается экспертно – в размере 30% от средних затрат энергии по станции на производство сжатого воздуха); $\Delta P_{\text{доп}}$ – приращение годового расхода электрической энергии при вводе в эксплуатацию автоматизированной системы, кВт-часов; $e_{\text{эл.эн}}$ – расходная ставка оплаты потребленной по станции электрической энергии, рублей за 1 кВт-час.

Экономия затрат труда (с отчислениями в социальные фонды) при сокращении численности дежурных стрелочных постов и численности регулировщиков скорости движения вагонов оценивается с учетом средних значений месячной заработной платы регулировщиков и дежурных стрелочных постов ($ЗП_{\text{рег}}$ и $ЗП_{\text{деж}}$).

Экономия затрат труда (с отчислениями в социальные фонды) при высвобождении численности регулировщиков скорости движения вагонов оценивается как: $\Delta \mathcal{E}_{\text{фзп.рег}} = \Delta \mathcal{C}_{\text{рег}} \cdot 12 \cdot ЗП_{\text{рег}} \cdot 1,304$, где $\Delta \mathcal{C}_{\text{рег}}$ – значение высвобожденных штатных единиц регулировщиков скорости движения вагонов при торможении (принимаем $\Delta \mathcal{C}_{\text{рег}} = 24$ шт. ед.); 1,304 – нормативный коэффициент отчислений в социальные фонды от заработной платы.

Экономия затрат труда (с отчислениями в социальные фонды) при высвобождении численности дежурных стрелочных постов оценивается по формуле: $\Delta \mathcal{E}_{\text{фзп.деж}} = \Delta \mathcal{C}_{\text{деж}} \cdot 12 \cdot ЗП_{\text{деж}} \cdot 1,304$, где $\Delta \mathcal{C}_{\text{деж}}$ – величина высвобожденных штатных единиц дежурных стрелочных постов (принимается $\Delta \mathcal{C}_{\text{деж}} = 8$ шт. ед.).

Итоговая экономия затрат труда (с отчислениями в социальные фонды) составит: $\Delta \mathcal{E}_{\text{фзп}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{фзп.рег}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{фзп.деж}}$.

Экономия затрат на эксплуатацию горочного локомотива: $\Delta \mathcal{E}_{\text{лок}} = Q_{\text{гор}} \cdot e_{\text{Мт}} \cdot (t_1 - t_2) \cdot 365$, где $Q_{\text{гор}}$ – выведенные из эксплуатации горочные локомотивы, единиц подвижного состава (как правило $M_{\text{гор}} = 1$); $e_{\text{Мт}}$ – значение расходной

ставки в расчете на один локомотиво-час маневровой работы, рублей; t_1 и t_2 – соответственно временные затраты на выполнение маневровых работ до и после вывода из эксплуатации горочного локомотива, в среднем в сутки, часов.

Уменьшение эксплуатационных расходов при консервации пути в парке приема: $\Delta \mathcal{E}_{\text{п}} = T_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ – годовая величина расходов на содержание 1 километра станционных путей, рублей; $L_{\text{п}}$ – общая длина станционных путей, км.

2. Прирост эксплуатационных расходов в год при внедрении автоматизированной системы ($\mathcal{E}_{\text{доп}}$)

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = \mathcal{Z}_{\text{тек}} + \mathcal{Z}_{\text{пто}} + A,$$

где $\mathcal{Z}_{\text{тек}}$ – величина годовых затрат на содержание автоматизированной системы, рублей; $\mathcal{Z}_{\text{пто}}$ – величина годовых затрат по фонду заработной платы с отчислениями на выплаты рабочим – дополнительной численности бригад ПТО (вводится для уменьшения простоев вагонов и разгрузки уже имеющихся бригад ПТО на станции); A – величина годовой амортизации автоматизированной системы. Величина годовых затрат на содержание автоматизированной системы оценивается по формуле: $\mathcal{Z}_{\text{тек}} = K \cdot 0,01$, где 0,01 – однопроцентный норматив расходов на годовое содержание автоматизированной системы управления сортировочным процессом, K – величина капиталовложений – единовременных затрат на внедрение системы.

Величина годовых затрат по фонду заработной платы с отчислениями на выплаты рабочим – дополнительной численности бригад ПТО, оценивается по формуле: $\mathcal{Z}_{\text{пто}} = \mathcal{C}_{\text{пто}} \cdot ЗП_{\text{пто}} \cdot 12 \cdot 1,304$, где $\mathcal{C}_{\text{пто}}$ – дополнительная численность осмотрщиков-ремонтников бригады ПТО, человек; $ЗП_{\text{пто}}$ – величина средней заработной платы одного рабочего осмотрщика-ремонтника, рублей в месяц, 1,304 – норматив отчислений во внебюджетные фонды (страховые взносы).

Величина годовой амортизации автоматизированной системы рассчитывается как: $A = K \cdot a/100$, где a – годовая норма амортизационных отчислений, процентов; технические сред-

ства и аппаратно-программный комплекс по управлению сортировочным процессом в целом (консолидировано по всем элементам системы) относится к седьмой амортизационной группе, которой соответствует срок полезного использования объектов основных средств 15 лет (норма амортизации 6,67%).

3. Расчет показателя экономической эффективности мероприятия – периода окупаемости вложений в КСАУ СП

Рациональность внедрения и эксплуатации КСАУ СП целесообразно оценивать по показателю срока окупаемости: $T_{ок} = \frac{K}{\Delta - \Delta_{доп}}$, где K – капитальные вложения на внедрение КСАУ СП (единовременные затраты – инвестиции); $\Delta_{доп}$ – прирост эксплуатационных расходов в год при внедрении системы; Δ – годовой экономический эффект от внедрения системы.

Расчетное значение $T_{ок}$ сравнивается с нормативным (целевым). Для автоматизированных систем управления целевым значением $T_{ок}$ считает значение до 5 лет, приемлемым (допустимым) – не превышающим 10 лет [8].

Расчеты по данным станции Кинель (оценка параметров: $K = 750$ млн рублей, $\Delta = 220$ млн рублей, $\Delta_{доп} = 40$ млн рублей) позволили автору получить расчетное значение $T_{ок} = 4,3$ года, что

соответствует целевому критерию.

Заключение

Проведенное исследование позволило сформулировать основные выводы.

Механизация и автоматизация станционных процессов позволяют без значительных вложений в расширение инфраструктуры и ввод дополнительных путей существенно нарастить провозную и пропускную способность сортировочных станций. Экономический эффект автоматизации сортировочного процесса на станции обеспечивается более быстрой обработкой большего объема данных; высвобождением затрат ручного труда; предиктивным характером принятия управляющих воздействий для своевременного предотвращения сбоев, упрощением и улучшением планирования, повышением точности и скорости выполнения операций, сокращением временных потерь на непроизводительный простой подвижного состава. Предложенный в статье алгоритм экономической оценки внедрения технологий автоматизации на сортировочных станциях обеспечивает обоснованность принятия решений по внедрению и эксплуатации аналогичных систем на других объектах, дополняет методологические положения по проведению экономической оценки проектов автоматизации и цифровизации на железнодорожном транспорте.

Библиографический список

1. Бобылев Д. Е., Варламов А. В. Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшекласников // . – 2018. – С. 14–15.
2. Журавлева Н. А. Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 89–102.
3. Журавлева Н. А. Цифровая трансформация глобальных транспортных систем // Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы: монография / А. А. Алетдинова [и др.]. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – С. 113–132. – ISBN 978-5-7422-5881-0. – DOI: [10.18720/IEP/2017.4/6](https://doi.org/10.18720/IEP/2017.4/6).
4. Журавлева Н. А., Панычев А. Ю. Финансирование проектов развития железнодорожной инфраструктуры: актуальные решения для России // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2015. – № 2. – С. 122–141.
5. Одиладзе В. Р. Развитие КСАУ СП в рамках проекта «Цифровая сортировочная станция» // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 30–31.
6. Рачек С. В., Пятышина Л. В., Суханова А. В. Экономическое обоснование технических и технологических решений в выпускных квалификационных работах: методические рекомендации / под ред. С. В. Рачек. – Екатеринбург: УрГУПС, 2018. – 130 с.
7. Сачко В. И., Рогов С. А. Состояние и перспективы развития СППР КСАУ СП // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018): Труды седьмой

- научно-технической конференции. – 2018. – С. 163–166.
8. *Чеченова Л. М.* Повышение инвестиционной привлекательности транспортных организаций, осуществляющих интермодальные контейнерные перевозки в период пандемического кризиса // *Транспортные системы и технологии.* – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 98–112.
 9. *Чеченова Л. М.* Цифровая трансформация транспортной отрасли как основа устойчивого развития железнодорожной инфраструктуры // *Вопросы новой экономики.* – 2021. – 4 (60). – С. 25–29.
 10. *Шилин А. О.* Внедрение КСАУ СП в рамках концепции цифровой железнодорожной станции // *Вопросы науки.* – 2022. – № 3. – С. 73–77.