

УДК 656.223

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД КАК КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТОЙ

Котенко Алексей Геннадьевич, руководитель центра ИИ ИНО, ФГБОУ ВО ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, Email: kotenko@pgups.ru

Котенко Оксана Владимировна, доцент кафедры УЭР, ФГБОУ ВО ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, Email: kotenko2106@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В работе на основе исследования вопросов комплексной оптимизации параметров работы локомотивного парка показана целесообразность включения в состав критериев качества управления поездной работой показателей производительности труда локомотивных бригад (ЛБ). Предложена формулировка критериев оптимальности производительности труда ЛБ в контексте управления работой локомотивного парка на полигоне. Показано, что решение проблемы оптимизации производительности труда ЛБ находится в тесной связи с задачей поиска оптимальных способов тягового обслуживания участков полигона в рамках принятой модели эксплуатации локомотивов. Особое внимание обращено на связь величины часовой выработки ЛБ и степенью развития функционала системы вождения поездов в режиме автопилота. Обозначен подход к определению рационального соотношения между производительной силой труда и его интенсивностью, и выделена его связь с оценкой пропорциональности использования режимов ручного и беспилотного вождения поездов.

Ключевые слова: организация движения, локомотивный парк, локомотивная бригада, производительность труда, поездная работа.

LABOR PRODUCTIVITY OF LOCOMOTIVE CREWS AS A CRITERION FOR THE QUALITY OF TRAIN OPERATION MANAGEMENT

Alexey G. Kotenko, Head of the Center for AI INO, FSBI VO PGUPS, St. Petersburg, Russia,
E-mail: kotenko@pgups.ru

Oksana V. Kotenko, Associate Professor of the UER Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, St. Petersburg, Russia, E-mail: kotenko2106@yandex.ru

ANNOTATION

Based on the study of the issues of complex optimization of the parameters of the locomotive fleet, the expediency of including indicators of labor productivity of locomotive crews (LB) in the criteria for the quality of train operation management is shown. The formulation of criteria for optimal LB labor productivity in the context of managing the operation of the locomotive fleet at the landfill is proposed. It is shown that the solution to the problem of optimizing LB labor productivity is closely related to the task of finding optimal ways of traction maintenance of landfill sites within the framework of the accepted model of locomotive operation. Special attention is paid to the relationship between the hourly output of LB and the degree of development of the functionality of the train driving system in autopilot mode. An approach to determining the rational relationship between the productive power of labor and its intensity is outlined, and its relationship to the assessment of the proportionality of the use of manual and unmanned train driving modes is highlighted.

Keywords: traffic management, locomotive fleet, locomotive crew, labor productivity, train work.

Введение

С конца 2016 года параллельно внедрению центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) осуществляется переход от региональных принципов управления эксплуатационной деятельностью к планированию и организации движения поездов на полигонах железнодорожной сети¹. Это связано с образованием протяженных направлений с электрической тягой, на которых участки обращения локомотивов расположены в пределах нескольких железных дорог; ростом грузопотоков со средней дальностью перевозки более четырех тысяч км и, как следствие, «с формированием значительного числа поездов, следящих без переработки на большие расстояния; повышением массы грузовых поездов; увеличением числа отправительских и технических маршрутов, следящих по согласованным между несколькими железными дорогами ниткам графика; выполнением ремонтных работ на протяженных линиях по принципу предоставления «окон» в створе» [1]. По сути, это переход на экстерриториальную схему управления перевозками в рамках укрупнённых полигонов, которая требует увеличения межремонтных пробегов подвижного состава, централизации контроля и формирования сквозных технологий организации перевозочного процесса. Модели, лежащие в основе таких технологий, должны включать в себя гибкие механизмы увязки целевых показателей и границ технологической ответственности участников перевозок [2]. На первом этапе эти механизмы формируются в ходе решения задачи по отысканию оптимальных параметров управления поездной работой, где в качестве критериев оптимальности выступают показатели среднесуточной производительности локомотивов. Вместе с тем постановка такой задачи, как указывалось ранее, «существенно ужесточает требования к четкости выражения и упорядоченности вычислительных процессов, формальному определению целей, пространственно-временных, технических, технологических и стоимостных ограничений. Для преодоления этих трудностей целесообразно использовать полимодельное логико-динамическое описание предметной области, направленное на реализацию возможности одновременного решения задачи синтеза технологии управления локомотивным парком и задачи планирования операций, потоков и ресурсов» [3]. Применить такое описание можно только на основе использования средств интеллектуального анализа данных [4]. С учетом этого, границы критериев оптимальности управления поездной работой могут быть расширены за счет показателей производительности труда локомотивных бригад (ЛБ). Основой для введения этих показателей в число критериев оптимальности является действующая система организации движения поездов, реализуемая на базе комплексного подхода к оптимизации параметров работы локомотивного парка.

1. Комплексная оптимизация параметров работы локомотивного парка

В задачах организации движения вопросам оптимального управления работой локомотивов и контингента ЛБ уделяется большое внимание.

Так технологический процесс составления графика движения поездов и разработка его нормативной базы² на стадии формирования основных нормативов включает не только разработку схем размещения локомотивного парка и участков работы локомотивов и локомотивных бригад, но и рассмотрение предложений по их изменению, сокращению числа технических стоянок и концентрации технических операций, а также по снижению времени на смену локомотивов и бригад. На стадии разработки графика предусматривается корректировка автоматизированной нормативной базы данных по перегонным временам хода, стоянкам поездов и пр. Проведение заключительных операций перед вводом в действие нового графика включает внесение изменений по тормозам, массе тары, длине подвижного состава.

¹Типовой технологический процесс работы полигона: утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 26.12.2016 № 2700р.

²Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД»: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 28.12.2023 № 3362/р.

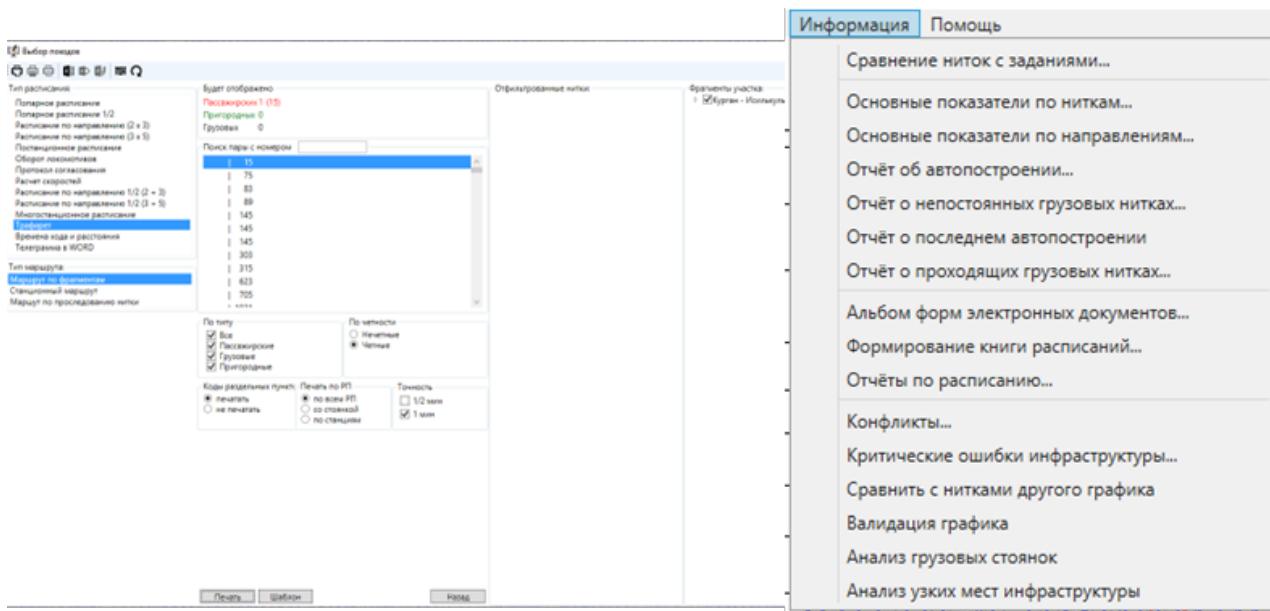


Рис. 1 – Автоматическая генерация отчетов по расписаниям, обороту локомотивов и других выходных форм при построении графика движения

В ходе этой работы генерируется множество, отчетов, ведомостей и других аналитических форм, необходимых для выработки оптимальных параметров (рис. 1). Например, в рамках прогноза показателей работы локомотивов и локомотивных бригад исследуются варианты усложненных схем оборота локомотивных бригад, включающих несколько пунктов оборота на участках их работы, наличие узловых станций в пунктах приписки или пунктах оборота. Выбираются пункты смены бригад с учетом рациональных режимов времени труда и отдыха. Формируются перечни удлиненных плеч и перечни технических станций, исключающих стоянки для смены бригад на определенных маршрутах. Составляются графики оборота локомотивов и локомотивных бригад. Осуществляется расчет эффективного количества локомотивов и явочного штата бригад.

Для поддержания информации о графике движения в актуальном состоянии на каждые календарные сутки утвержденные ранее расписания корректируются: какие-то нитки могут сниматься, какие-то разрабатываются дополнительно, а какие-то корректируются с учетом необходимости предоставления «окон».

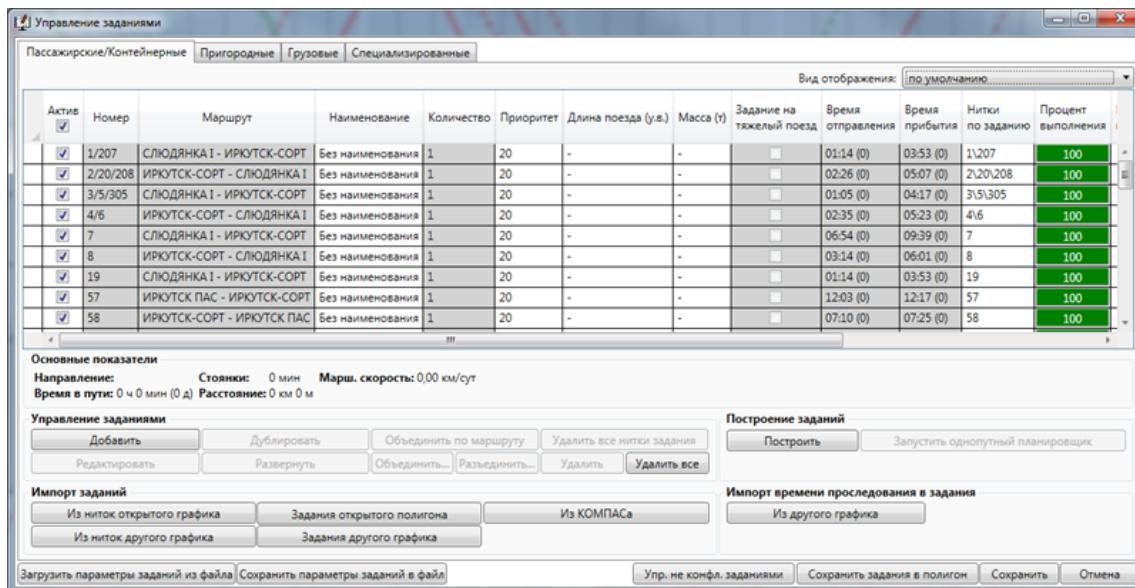


Рис. 2 – Задания на нитки в окне управления заданиями графика движения

В основе этой работы, как и при первоначальной разработке графика, лежат соответствующие задания (рис. 2), детализированные по времени отправления/прибытия в ключевых пунктах маршрутов, приоритету, нормам работы локомотивных бригад, длинам составов и массам поездов, технологиям работы на участках с большим уклоном (необходимости использования дополнительных локомотивов и бригад и пр.) и ряду других параметров.

Расчеты ведутся с проверкой соответствия заданных условий корректировки формируемым в графике. Активно используются инструменты анализа узких мест инфраструктуры – для выявления технических станций и участков полигонов, где наблюдается нехватка пропускной способности. А также инструменты увязки ниток, проложенных на соседних участках, и анализа грузовых стоянок. Ограничениями выступают данные о путевом развитии, обеспечении средствами сигнализации и связи станций и участков железнодорожной сети. Каждый разрабатываемый вариант нацелен на максимизацию качественных и количественных показателей графика в конкретные сутки (участковой, технической и маршрутной скоростей, размеров движения) с учетом всех существующих ограничений, включая «окна» и предупреждения об ограничении скоростей, и обеспечивает выполнение требований, касающихся: организаций безопасности движения; рационального использования локомотивов, вагонов, пропускной способности линий и перерабатывающей способности станций; соблюдения норм работы локомотивных бригад; достижения минимальной продолжительности перевозок грузов и пассажиров; формирования наиболее благоприятных условий проезда пассажиров; экономичности перевозок.

При этом производительность локомотивов рассматривается в числе целевых показателей поездной работы, а оптимизация параметров управления работой локомотивного парка производится в разрезе его суточной производительности и, как показывает приведенный выше материал, в тесной увязке с другими аспектами решения задач оптимизации перевозочного процесса, в том числе, вопросами организации труда и отдыха ЛБ.

2. Критерии оптимальности производительности труда локомотивных бригад

Производительность труда ЛБ показывает степень эффективности трудового процесса, и может быть выражена через активность, оперативность и результативность работы персонала за конкретный промежуток времени. В этом смысле производительность труда ЛБ является продуктом деятельности и демонстрирует соотношение результатов и затрат как коллективного, так и индивидуального труда [5-6, 8].

Применительно к рассматриваемым вопросам удобно оперировать двумя показателями производительности труда ЛБ: индивидуальной производительностью отдельных бригад и коллективной производительностью их контингента.

Коллективная производительность труда контингента бригад на полигоне (P_c) определяется количеством тонно-километров брутто, отнесённым на численность контингента бригад:

$$P_c = f\left(\sum q l_p, SB_c\right) \quad (1),$$

где $\sum q l_p$ – выполненная перевозочная работа, т-км брутто; SB_c – численность контингента ЛБ [7].

Коллективная производительность труда ЛБ может быть легко увязана с критериями оптимальности суточной производительности локомотивов через показатель $\sum q l_p$, поскольку тесно связана с решением задачи отыскания оптимальных параметров управления работой локомотивного парка.

Такую задачу удобно представить в виде задачи о назначениях – фундаментальной задачи комбинаторной оптимизации, которую можно выразить кортежем

$$\langle Z, D, P, K, C, B \rangle \quad (2).$$

Решение этой задачи (постановка задачи подробно описана в [4]), которое направлено на выбор оптимальных способов тягового обслуживания участков полигона ($z_i \in Z$) в рамках принятой модели эксплуатации локомотивов D (как эталонной модели D_0 ($D_0 \in D$), определяемой графиком движения поездов и технологическим процессом работы полигона, так и множеством условий D_y для поддержания актуальности D_0), целесообразно производить методами линейного программирования B .

В качестве системы предпочтений P можно принять максимум производительности локомотивов при минимуме затрат на их эксплуатацию (включая перецепку, смену, резервные пробеги локомотивов и пр.). Такая система соответствует целям управления локомотивами на полигоне C , направленным на выполнение тонно-километровой работы минимальным парком путем повышения среднесуточных пробегов локомотивов и коэффициента использования их тяговой силы, снижения резервных пробегов [7].

Поиск оптимальных способов тягового обслуживания подчиняется ограничениям, устанавливаемым в процессе планирования работы парка на полигоне, касающимся размеров движения, числа локомотивов эксплуатируемого парка, продолжительности непрерывной работы локомотивов и величины их эксплуатационного резерва (Таблица 1), что предопределяет выбор целевых параметров качества K .

Таблица 1

Ограничения задачи поиска оптимальных параметров эксплуатации локомотивов

Ограничения	Формулировка
$N_r^{plan} \leq N_r^{graf}$	Число пар поездов, следующих по r -участкам N_r^{plan} , не должно превышать числа, предусмотренного графиком движения N_r^{graf}
$M_{max} = \{N_r^{plan}, k_{nr}\} \leq M_{ij}^{inv}$, k_{nr} – коэффициент потребности локомотивов на пару поездов на участке	Максимальная потребность локомотивов эксплуатируемого парка M_{max} не должна превышать количество локомотивов инвентарного парка j -х серий по i -м депо приписки M_{ij}^{inv}
$(L_{d-f}, v_m^{d-f}) \leq T_{ms}$, L_{d-f}, v_m^{d-f} – расстояние и маршрутная скорость поездов между станциями их формирования и расформирования	Время проследования локомотивов во главе поездов между станциями их формирования и расформирования не должно превышать нормативов времени на пробег локомотивов без технического обслуживания T_{ms}
$M^{res} \leq \{M_{ij}^{res}\}$	Количество локомотивов резерва M^{res} определяется числом резервных локомотивов j -х серий по i -м депо приписки

Для полигона в целом таким целевым параметром ($k \in K$) можно считать максимум среднесуточной производительности локомотива эксплуатируемого парка (W_l):

$$k = W_l = f \left(\sum q l_p, M_{ex} \right) \rightarrow \max \quad (3),$$

где $\sum q l_p$ – работа локомотивов т-км брутто на полигоне (по сути – выполненная перевозочная работа в пределах полигона); M_{ex} – эксплуатируемый парк локомотивов на полигоне.

Обозначенный контекст решения задачи выбора оптимальных параметров управления работой локомотивного парка на полигоне позволяет определить связь между критериями оптимальности суточной производительности локомотивов и коллективной производительности труда ЛБ.

Ранее отмечалось, что «на уровне управления особое внимание привлекают вопросы индивидуальной производительности труда бригад, выраженной через величину часовой выработки тонно-километров брутто:

$$P_c^{tkm} = f(Q_{br}, \sum NL, \sum t_c) \quad (4),$$

где Q_{br} – средний за данный период работы бригады вес поезда брутто, т; $\sum NL$ – выполненные бригадой за данный период поездо-километры, поездо-км; $\sum t_c$ – суммарное рабочее время бригады, час.» [7].

Характеризуя P_c^{tkm} следует отметить, что индивидуальная производительность труда ЛБ имеет двойственную природу, проявляя себя с одной стороны как «интенсивность» труда, с другой – как его «производительная сила». Первая характеризуется физиологическими затратами бригад, то есть уровнем напряжённости труда, вторая – уровнем применения техники и организации производственного процесса.

На начальном этапе анализа принято отождествлять P_c^{tkm} с производительной силой. При этом, среди специалистов «технико-технологические факторы, влияющие на величину производительной силы труда ЛБ широко известны:

- простой и сверхурочные работы, следование ЛБ пассажирами, ожидание работы;
- система явки бригад;
- использование смешанного обслуживания грузовых и пассажирских поездов;
- работа по принципу накладных плеч;
- масса поездов;
- совмещение технического обслуживания и экипировки локомотивов;
- квалификация работников ЛБ и др.» [7].

На этапах дальнейшего анализа индивидуальную производительность труда ЛБ необходимо рассматривать с учетом его интенсивности. Опыт показывает, что «с позиций интенсивности производительность труда бригады можно представить величиной часовой выработки в поездо-километрах:

$$P_c^{km} = f \left(\sum NL, \sum t_c \right) \quad (5),$$

а основными факторами, определяющими ее величину, согласно принятому подходу считать:

- техническую скорость движения поездов;
- долю вспомогательного времени $\sum t_{aux}$ в общем рабочем времени бригады $\sum t_c$;
- коэффициент полезной работы бригады $\rho_c = f \left(\sum t_c, \sum t_{aux} \right)$, для сохранения которого при росте скорости движения наряду с сокращением $\sum t_{aux}$ требуется удлинять участки работы бригад» [7].

Однако, поскольку повышение интенсивности P_c^{tkm} связано с ростом напряжённости труда: увеличением времени нахождения бригады в движении, усилением внимания к обеспечению безопасности движения поездов при больших скоростях, и ограничивается физиологическим пределом расхода человеческой энергии – приемлемость величины производительности труда будет определяться рациональным соотношением между производительной силой и интенсивностью труда ЛБ при условии, что $P_c^{tkm} = optimum$.

Добиться рационального соотношения между P_c^{tkm} и P_c^{tkm} на практике оказывается не просто. Например, одним из факторов роста производительной силы является повышение массы грузовых поездов за счёт развития тяжеловесного движения, а технология вождения

поездов повышенной массы требует высокой квалификации работников бригад. При этом использование современных локомотивов приводит к тому, что бригады осваивают новые приёмы и способы вождения поездов [9-12]. Всё это позволяет улучшить качество труда работников бригад, повышая его производительную силу. В то же время, при увеличении гарантийных плеч безопасного следования вагонов с улучшенными характеристиками появляется возможность удлинять участки работы бригад до физиологически допустимой протяженности с увеличением времени их непрерывной работы. Кроме того, особые условия обслуживания тяжеловесного движения приводят к росту концентрации внимания и затрат физиологических усилий ЛБ, что также существенно повышает интенсивность труда [13].

Таким образом, критерии оптимальности производительности труда ЛБ должны формироваться на основе анализа индивидуальной производительности и могут быть выражены в виде

$$\begin{cases} P_c^{km} \leq P_c^{km, norm} \\ P_c^{tkm} \rightarrow \max \end{cases} \quad (5),$$

где $P_c^{km, norm}$ – величина часовой выработки в поездо-километрах, установленная пределами физиологических норм.

Интересно, что в случае беспилотного вождения поездов величина $P_c^{km, norm}$ в (6) теряет смысл и содержание критериев оптимальности индивидуальной производительности труда существенно упрощается: и P_c^{tkm} , и P_c^{km} можно увеличивать настолько, насколько позволяют технические параметры.

Анализ факторов формирования этих критериев в разрезе функционала систем автоворедения в вождении поездов может выявить наличие скрытых резервов управления поездной работой. Во-первых, это касается технической скорости движения поездов. Например, исследование кривых скоростей движения поездов, полученных в результате выполнения тяговых расчетов с соблюдением установленных времен хода и требований энергоэффективности, показывает, что добиться максимальных показателей индивидуальной производительности труда ЛБ удается далеко не всегда (рис. 3).

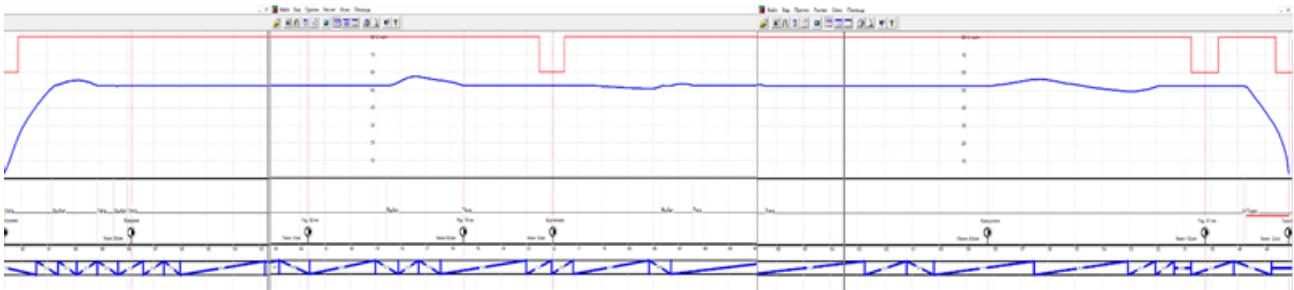


Рис. 3 – Фрагмент режимной карты ведения поезда, где синяя кривая – установленная расчетная скорость движения (52 км/ч), красная прямая – допустимая скорость (80 км/ч с двумя ограничениями 60 км/ч по ходу движения)

В этой связи, можно было бы исследовать разницу производительности на основе изменения кривых скорости на одних и тех же участках железнодорожных линий в ручном и беспилотном режимах вождения поездов. Ведь критерии оптимальной производительности систем автоворедения в этом случае будут определяться исключительно величиной тоннокилометровой работы:

$$\begin{cases} P_c = f(\sum ql_p, SB_c) \rightarrow \max \\ P_c^{tkm} = f(Q_{br}, \sum NL, \sum t_c) \rightarrow \max \end{cases} \quad (7).$$

Это, однако, требует решения вопросов оценки влияния ручного и беспилотного режимов вождения поездов на расчет траекторий движения. А это, в свою очередь, затрагивает вопросы идеологии вождения, где движение по перегонам подчинено зачастую исключительно

требованиям экономии ресурсов.

Критичным же при достижении результата здесь станет время от момента запуска режима автопилота до момента перехода на ручное управление.

Продолжительность этого времени (по аналогии с производственным конвейером) можно было бы регулировать путем выбора рациональной величины такта τ работы автопилота: $\tau = f(t_o, Q_{br}, \Sigma NL)$, где искомая длительность его работы (t_o), определяется показателями его производительности, выраженными через тонно-километровую работу (7).

Последнее дает возможность управлять характеристиками индивидуальной производительности труда ЛБ не только с учетом факторов, определяющих производительную силу и интенсивность труда, но и через время такта работы систем автоворедения.

Идея более глубоко исследовать аспекты оценки производительности труда поездных ЛБ и производительности систем автоворедения, опираясь на средства искусственного интеллекта и, прежде всего, средства интеллектуального анализа данных, для целей управления, является плохо изученной.

В то же время это направление лежит в одной плоскости с такими современными направлениями применения искусственного интеллекта в транспорте и логистике, как например, оптимизация управления характеристиками транспортных потоков в узких местах и точках стыков.

Множество работ посвящено формированию интеллектуального инструментария для решения проблемы «оптимизации операций по сбору и распределению контейнеров при перевозке морским и железнодорожным транспортом применительно к различным схемам портов, где решение связано с поиском путей оптимизации расписаний движения поездов и планов перевалки контейнеров для улучшения временной и пространственной координации между поездами и морскими судами, а целью является максимизация коэффициента прямой перевалки импортных/экспортных контейнеров и минимизация общего времени нахождения поездов в операционной зоне причалов» [14, 15] (В качестве одного из решений в этой области можно назвать систему Huawei's OptVerse AI Solver).

Не менее популярна идея оптимизации кросс-докинга, как «многоцелевой задачи планирования грузоперевозок» в крупных перегрузочных узлах с неопределенным временем прибытия транспортных средств, в том числе, в контексте концепции физического интернета [16].

Много усилий затрачивается на создание алгоритмов машинного обучения для решения проблем преодоления последствий сложных и чрезвычайных ситуаций. В части, например, «составления временных расписаний движения поездов после крупномасштабных стихийных бедствий, максимально приближенных к нормативным расписаниям на момент их пересмотра» [17].

Однако, практическое применение систем искусственного интеллекта, определяющих поездную работу, изначально подразумевает решение задачи определения рационального соотношения составляющих производительности труда ЛБ в различных режимах вождения поездов, направленное на минимизацию человеческого фактора при поиске оптимальных способов тягового обслуживания в рамках комплексной оптимизации параметров работы локомотивного парка.

Заключение

Производительность труда ЛБ «является необходимым условием повышения качества эксплуатационной работы, формирования уровня себестоимости перевозок, оценки показателей использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов, и выступает в качестве основного источника экономического роста и повышения эффективности работы железных дорог» [7]. Результаты исследования показывают, что проблема повышения производительности труда ЛБ на укрупненных полигонах может быть решена путем включения в состав базовых критериев качества управления поездной работой двух ключевых характеристик производительности: показателя тонно-километровой работы брутто, отнесённой на численность котингента бригад, и показателя часовой выработки бригады в поездо-километрах. Первая характеристика может использоваться как критерий оптимизации коллективной производительности котингента бригад на полигоне, вторая – индивидуальной

производительности отдельной бригады за единицу времени. В итоге рост коллективной производительности труда ЛБ будет определяться решением задачи отыскания оптимальных параметров управления работой локомотивного парка, а одним из основных путей повышения индивидуальной производительности труда ЛБ станет развитие систем автоворедения и расширение функций беспилотного вождения поездов.

Список использованной литературы

1. Власенский А. А., Филипченко А. С. Логистика эксплуатационной работы железных дорог на основе полигонной технологии управления тяговыми ресурсами // *Логистика – евразийский мост: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф.*, Красноярск, 27–30 апр. 2022 г.: в 2 ч. – Ч. 1. – Красноярск: Краснояр. ГАУ, 2022. – С. 54–61.
2. Власенский А. А., Сотников Е. А. Повышение эффективности полигонных технологий управления тяговыми ресурсами // *Железнодорожный транспорт*. – 2015. – № 8. – С. 4–7. – ISSN 0044-4448.
3. Котенко А. Г., Котенко О. В. Динамические модели управления работой станций в рамках концепции киберфизических систем // *Автоматика на транспорте*. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 165–183.
4. Котенко О. В. Постановка задачи оптимизации параметров управления работой локомотивного парка на полигоне // *Проблемы безопасности на транспорте: материалы X Междунар. науч.-практ. конф.*, Гомель, 26–27 нояб. 2020 г.: в 5 ч. – Ч. 3. – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 134–138.
5. Лапидус Б. М. Проблемы и задачи повышения производительности труда в ОАО «РЖД» // *Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД»*. – 2016. – № 3. – С. 1–16.
6. Романцов А. Н. Экономическая сущность производительности труда в решении проблем её и повышения // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. – 2016. – № 4 (20). – С. 44–58.
7. Котенко О. В. Роль производительности труда локомотивных бригад в технологической регламентации перевозочного процесса // *Бетанкуровский международный инженерный форум: сб. тр. III форума*, Санкт-Петербург, 2–3 дек. 2021 г.: в 2 т. – Т. 1. – СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2021. – С. 216–218.
8. Радостаева М. В. К вопросу о производительности труда // *Научные ведомости. Сер. Экономика. Информатика*. – 2018. – Т. 45, № 2. – С. 268–272.
9. Некрашевич В. И., Игнатов А. И. Методика расчета потребности в локомотивах при их оперативном секционировании и кратной тяге // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2008. – № 2. – С. 24–30.
10. Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Н. Месячное планирование парка локомотивов грузового движения // *Вестник НИИАС*. – 2012. – № 5. – С. 24–31.
11. Агеева М. А., Лаханкин Е. А., Подорин А. А., Кибанов Г. В. Автоматизация расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад на график движения поездов с учетом индивидуальных особенностей полигона Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог в АСГОЛ-ГДС // *Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование: сб. тр. VII науч.-техн. конф. «ИСУЖТ-2018»*. – М.: НИИАС, 2018. – С. 47–51.
12. Лаханкин Е. А. Планирование потребности в тяговых ресурсах. Организация работы локомотивов и локомотивных бригад // *Бюллетень Ученого Совета АО «ИЭРТ»*. – 2016. – С. 43–48.
13. Некрашевич В. И. Использование поездных локомотивов в грузовом движении. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 270 с.
14. S. Ji et al., "Optimization of sea-rail intermodal container collection and distribution under novel port layout," *J. Rail Transp. Plan. Manag.*, vol. 33, p. 100503, 2025.
15. X. Wang and Z. Jin, "Collaborative optimization of multi-equipment scheduling and intersection point allocation for U-shaped automated sea-rail intermodal container terminals," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, 2024. (Early Access).
16. F. Essghaier et al., "Fuzzy multi-objective truck scheduling in multi-modal rail-road physical internet hubs," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 182, p. 109404, 2023.
17. S. Kat et al., "Rolling stock scheduling algorithm for temporary timetable after natural disaster," *Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst.*, vol. 65, no. 3, pp. 182–187, 2024.