

Е.А. Бахтиярова¹, К.М. Сансызбай¹, Т.О. Чигамбаев²

¹Международный университет информационных технологий,
г. Алматы, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Аннотация. Проведен анализ состояния систем железнодорожной автоматики и телемеханики, определены пропускные способности при однопутном и двухпутном перегонах и участковая скорость при полуавтоматической и автоматической блокировке и диспетчерской централизации. Предлагается переход на микропроцессорную элементную базу при обновлении технических средств ЖАТ, что обеспечивает значительное снижение энергопотребления, минимизацию производственных площадей для размещения оборудования и сокращение трудозатрат на их последующее техническое обслуживание. Модернизация систем ЖАТ приведёт к увеличению пропускной способности и к уменьшению уровня износа устройств электрической и диспетчерской централизации и автоблокировки, а также позволит снизить количество отказов и среднее время восстановления системы. Рост участковой скорости также окажет экономический эффект в виде увеличения доходов от грузовых перевозок.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, электрическая централизация, диспетчерская централизация, автоблокировка, микропроцессорная централизация, пропускная способность, экономическая эффективность.

...

Түйіндеме. Мақалада темір жол автоматикасы мен телемеханика жүйелерінің жай-күйі талданып, бір жолды және екі жолды аралықтардың еткізу қабілеттілігі, жартылай және автоматты блоктау мен орталықтандырылған диспетчерленудің жергілікті жылдамдығы анықталған. Микропроцессорлық элементтер базасына көшу ТАТ техникалық жабдықтарын жаңарту кезінде ұсынылады. Бұл энергияны тұтынуды едәуір азайтуға, жабдықтың өндіріс кеңістігін азайтуға және оларды кеңінен қолдану үшін еңбек шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. ТАТ жүйелерін модернизациялау еткізу қабілетінің жоғарылауына және электрлік және диспетчерлік орталықтандырудың және автоматты блоктау құрылғыларының тозу деңгейінің төмендеуіне өкеледі, сонымен қатар істен шығу санын және жүйені қалпына келтірудің орташа

уақытын азайтады. Жергілік жылдамдықтың артуы жүк тасымалдаудан түсетін түсімнің есуі түрінде экономикалық әсер етеді.

Түйінді сөздер: темір жол автоматикасы және телемеханика жүйесі, электрлік орталықтандыру, диспетчерлік орталықтандыру, автоматты блоктау, микропроцессорлық орталықтандыру, еткізу қабілеттілігі, экономикалық тиімділік.

• • •

Abstract. The article analyzes the state of railway automation and telemechanic (RAT) systems, determines the throughput for single-track and double-track spans, and the local speed for semi-automatic and automatic blocking and centralized dispatch. The transition to a microprocessor-based elemental base is proposed when upgrading the technical equipment of RAT systems, which provides a significant reduction in energy consumption, minimizing industrial space for equipment and reducing labor costs for their subsequent maintenance. Modernization of RAT systems will lead to increased in throughput and to decreased level of wear of electrical and dispatch centralization and automatic blocking devices, and will also reduce the number of failures and the average system recovery time. The increased local speed will also lead to an economic effect in the form of increased revenue from freight transportation.

Keywords: railway automation and telemechanic system, electrical centralization, dispatch centralization, self-locking, microprocessor-based centralization, throughput, economic efficiency.

Введение. Успех, процветание и развитие любой современной организации определяются множеством факторов как внутренней, так и внешней среды. Однако, наступивший век по праву называют веком качества. Только качество продукции или услуг при всем многообразии производимых аналогичных товаров (услуг) может привлечь потребителя и обеспечить получение прибыли, а это в современном мире без внедрения инноваций невозможно. Модернизация железнодорожного транспорта является основным направлением развития отрасли на данном этапе. Железнодорожный транспорт является основой всей транспортной инфраструктуры страны. Его эффективное функционирование играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на новый инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения лидерства в изменяющейся мировой экономической системе. От состояния и качества работы железнодорожного транспорта зависят не только перспективы его дальнейшего социально-экономического развития, а также возможности

государства эффективно выполнять такие важнейшие функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, укрепление единства пространства, обеспечение потребности граждан в перевозках, создание условий для выравнивания социально-экономического развития регионов, повышения ресурсной независимости и глобальной конкурентоспособности [1]. Реализация стратегий не возможна без проведения активной инвестиционной и инновационной политики на транспорте.

Цель работы - обоснование модернизации систем железнодорожной автоматики и телемеханики с точки зрения экономической эффективности.

Методы исследования. Модернизация устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) как и в целом железнодорожный транспорт, призваны решать следующие задачи:

- привлечение дополнительных объемов перевозок за счет максимального привлечения грузов и пассажиров, повышения эффективности транспортного обеспечения;
- развитие информационного обеспечения для эффективного управления перевозочного процесса.
- внедрение ресурсосберегающих технологий;
- повышение безопасности, надежности, экологичности и ритмичности эксплуатационной работы.

Безопасность и надежность транспортных коридоров, как международных, так и внутри страны позволит обеспечить устойчивый экономический рост и потребности общества в перевозке пассажиров, движении товаров, повышении конкурентоспособность транспортной системы страны.

При отсутствии масштабного финансирования модернизации устройств ЖАТ существуют риски, которые могут подразделяться на технические, экономические и политические. Согласно данным Национальной компании «Қазақстан темір жолы» инфраструктура ЖАТ по сравнению с другими (путь, контактная сеть, локомотивное хозяйство и др.) имеет длительные сроки службы и, практически не обновлялись. Процент новых устройств ЖАТ незначительный и сформировался за счёт строительства новых линий, а не за счёт плановой модернизации [2].

Увеличение пропускной способности. Пропускной способностью железнодорожного участка называется максимальное число грузовых поездов (пар поездов) установленных веса и длины, которое

может быть пропущено по этому участку за сутки в зависимости от его технической оснащенности и принятого способа организации движения поездов. Пропускная способность однопутного участка железной дороги в определенной мере зависит от устройств автоматики и телемеханики и связи, так как последние влияют на межпоездные и станционные интервалы.

Максим α_n ная пропускная способность однопутного ограничивающего перегона при параллельном графике движения поездов N_{\max} рассчитывается по формуле

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{mex}}) \cdot \alpha_n}{t_x + \sum \tau}, \quad (1)$$

где t_x – чистое время хода по ограничивающему перегону на пару поездов (в прямом и обратном направлениях); t_{mex} – продолжительность суточного бюджета времени, выделяемого для производства плановых ремонтно-строительных работ, мин.

При существующих средствах механизации и технологии ведения работ величина t_{mex} в расчетах пропускной способности принимается для однопутных линий равной 75 мин, линий с двухпутными вставками – 90 мин. и для двухпутных – 150 мин.

α_n - коэффициент, учитывающий надежность работы технических средств;

$\sum \tau$ – время на станционные интервалы, на разгоны и замедления на пару поездов, мин.

$$\sum \tau = \tau_{\text{ин}} + \tau_{\text{скр}} + \tau_{\text{рз}}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{ин}}$ – интервал неодновременного прибытия поездов противоположного направления; $\tau_{\text{скр}}$ – интервал скрещения поездов; $\tau_{\text{рз}}$ – время на разгон и замедление поезда.

Пропускная способность двухпутного перегона определяется отдельно по каждому пути при одностороннем и безостановочном следовании поездов по промежуточным отдельным пунктам:

- при автоматической блокировке и диспетчерской централизации;

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{mex}}) \cdot \alpha_n}{J_p}, \quad (3)$$

где J_p – расчетный межпоездной интервал между поездами попутного направления.

- при полуавтоматической блокировке;

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{max}}) \cdot \alpha_n}{t_{\text{zp}} + \tau_{\text{nc}}}, \quad (4)$$

где t_{zp} – время хода грузового поезда по ограничивающему перегону, мин; τ_{nc} – станционный интервал попутного следования поездов, мин. [3]. Исходя из данных формул, с учетом среднесетевых показателей скрещения, времени хода, и т.п. введение автоблокировки на однопутной линии вместо полуавтоматической блокировки приводит к повышению пропускной способности:

$$\frac{28,97 + 6 + 4 + 4}{28,97 + 3 + 1 + 4} = 16,2\%$$

Введение автоблокировки на двухпутной линии вместо полуавтоматической блокировки приводит к повышению пропускной способности:

$$\frac{15 + 9,2}{8} = 202,5\%$$

Таким образом, с учетом наличия полуавтоматической блокировки на 3289,77 км однопутных линий и на 13,250 км двухпутных линий, из 15887,29 км всех линий, замена полуавтоматической блокировки на автоматическую позволит увеличить пропускную способность на:

$$20,73\% \cdot 16,22\% + 0,083\% \cdot 202,5\% = 3,5\%$$

При этом, как видно из формул, при расчете пропускной способности применяются коэффициенты, учитывающие надежность работы технических средств (инфраструктуры и подвижного состава), в том числе и устройств СЦБ. Согласно общедоступным источникам, надежностью называется свойство машин, механизмов, устройств, сооружений и т. п. выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в течение требуемого промежутка времени. Для характеристики уровня их надежности в системе организации движения поездов используются два основных показателя: параметр потока отказов и среднее время восстановления [2]. Применение при модернизации современных систем ЖАТ позволит снизить количество отказов и среднее время восстановления системы, при оценке снижения на 50%, уровень повышения пропускной способности за счет повышения α_n составит – 0,42%.

Ускорение перевозочного процесса. Развитие технических средств СЦБ на перегонах и станциях оптимизирует работу на участке, что в конечном итоге обеспечивает повышение участковой скорости. Участковая скорость характеризует среднюю скорость движения поезда по участку с учетом времени на разгон, замедление и времени стояния поездов на промежуточных станциях. Участковая скорость для практических расчетов рассчитывается с достаточной точностью по коэффициенту участковой скорости и коэффициенту готовности устройств, величина которого изменяется в зависимости от уровня оснащенности основными средствами автоматики и телемеханики [4].

$$U_{уч} = \beta_{уч} \cdot \varphi \cdot V_x \quad (5)$$

Значение коэффициента φ устанавливается с учетом коэффициента заполнения пропускной способности γ_3 и показателя надежности средств ЖАТ. Для двухпутных линий при действующей автоблокировке и диспетчерской централизации коэффициент заполнения пропускной способности принимаем $\gamma_3 = 0,6$, коэффициент φ принимается - 0,955. Коэффициент участковой скорости β_y для двухпутных участков при закрытии одного из путей, при проведении ремонтных работ определяется по формуле (вариант 1 без модернизации автоблокировки):

$$\beta_y^1 = \frac{1440 - (N_{сп} \cdot t_{ск} + N_{пасс} \cdot t_{об}) - t_{техн}}{1380 + 1,33 \cdot \alpha_x \cdot N_{пасс} \cdot (2t_{ск} - t_{об}) - t_{техн}}, \quad (6)$$

где $N_{сп}$ – размеры грузового движения, пар поездов в сутки; $N_{пасс}$ – размеры пассажирского движения, пар поездов в сутки; $t_{ск}$ – среднее время стоянки грузового поезда при скрещении, мин; $t_{об}$ – среднее время стоянки грузового поезда под обгоном, мин; $t_{техн}$ – продолжительность технологического «окна», предоставляемого в графике движения поездов (принято 120 мин.);

α_x – соотношение ходовых скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, принимается в пределах 0,7. Среднее время стоянки грузового поезда при скрещении:

$$t_{ск} = t_x \cdot (0,1 + 0,25\gamma_3) + T_{нп} + T_{ск} + T_{рз}, \text{ мин}, \quad (7)$$

где t_x – время хода пары грузовых поездов по среднему перегону, мин; γ_3 – коэффициент заполнения пропускной способности участка, 0,69; $T_{нп}$, $T_{ск}$ – соответственно стационарные интервалы неодновременного прибытия и скрещеня, 4,3 мин; $T_{рз}$ – время на разгон и замедление, 3 мин.

Время хода пары грузовых поездов по среднему перегону устанавливается по формуле:

$$t_x = \frac{60 \cdot 2L}{V_x \cdot n_{пер}}, \text{ мин}, \quad (8)$$

где L – эксплуатационная длина участка, принята 14 км; $n_{пер}$ – количество перегонов на участке.

Среднее время стоянки грузового поезда под обгоном:

$$t_{об} = t_x \cdot (0,25 + 0,75 \alpha_x) + 2T_{пс} + T_{рз}, \text{ мин}, \quad (9)$$

где, $T_{пс}$ – станционный интервал попутного следования, мин.

Для варианта модернизации автоблокировки с двухсторонним движением коэффициент участковой скорости, при закрытии одного пути (вариант 2 с модернизацией автоблокировки):

$$\beta_y^2 = \frac{1440 - [N_{зп} \cdot (1 - 0,5\alpha_n) + N_{насс}] \cdot t_{чп} - t_{мехн}}{1440 + 1,33 \cdot \alpha_x \cdot N_{насс} \cdot t_{чп} - t_{мехн}}, \quad (10)$$

где α_n – коэффициент пакетности, равный отношению количества поездов, следующих пакетами к общему количеству поездов в периоде графика, 0,5; $t_{чп}$ – среднее время стоянки грузового поезда при скрещении и обгоне в условиях частично-пакетного графика (мин.), которое устанавливается по формуле:

$$t_{чп} = t_x \cdot (0,1 + 0,28 \alpha_n) + 1,4 \alpha_n \cdot J + T_{пп} + T_{ск} + T_{рз}, \text{ мин}, \quad (3.11)$$

где, J – интервал между поездами в пакете, 8 мин.

В результате расчетов получено $\beta_y^1 = 0,91$, $\beta_y^2 = 0,932$.

Таким образом, увеличение участковой скорости составит 2,42%. Рост участковой скорости в свою очередь окажет экономический эффект в виде увеличения доходов от грузовых перевозок [2].

Уменьшение износа. Согласно практикам финансового анализа общий уровень износа основных средств более 50% является критическим и создает угрозу экономической безопасности предприятия. На основе анализа, проведенного выше можно сделать следующие выводы:

- по станционным системам и устройствам износ составляет – 82,7%;
- по перегонным системам – 69,5%;
- от общему объему эксплуатируемых устройств диспетчерской централизации – 10,5%.

Таблица 1 – Нормы обслуживания устройств электрической централизации по категориям путей

Категория пути		1		2		3		4	
Профессия		Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ
Релейные системы	Стрелка простая	25	36	26	36	32	47	34	47
	Стрелка перекрестная	22	33	22	33	25	43	26	43
	Стрелка с подвижным сердечником	21	28	21	28	24	35	25	35
МПЦ системы	Стрелка простая	31	49	31	49	39	62	39	62
	Стрелка перекрестная	26	40	26	40	33	52	33	52
	Стрелка с подвижным сердечником	23	34	23	34	30	46	30	46

Таблица 2 – Нормы обслуживания устройств автоблокировки по категориям путей

Категория пути		1		2		3		4	
Профессия		Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ
Релейные системы	км однопутного участка	33	60	33	60	36	67	36	67
	км двухпутного участка	20	37	20	37	22	42	22	42
МПЦ системы	км однопутного участка	56	95	56	95	69	137	69	137
	км двухпутного участка	34	60	34	60	42	83	42	83

Таблица 3 – Нормы обслуживания диспетчерских устройств централизации

Категория пути		1		2		3		4	
Профессия		Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ	Электро-механик	Электро-монтер СЦБ
140	Релейные системы								
	диспетчерский круг центрального поста ДЦ	6	6	6	6	6	6	6	6
	км диспетчерского контроля	64	-	64	-	64	-	64	-
	линейный пункт ДК, ДЦ	83	-	83	-	95	-	95	-
	МПЦ системы								
	диспетчерский круг центрального поста ДЦ	7	7	7	7	7	7	7	7
	км диспетчерского контроля	0	-	0	-	0	-	0	-
	линейный пункт ДК, ДЦ	100	-	100	-	114	-	114	-

Эти данные свидетельствуют о катастрофическом уровне износа, в первую очередь систем электрической централизации, что влечет за собой риски отказа оборудования, снижения уровня безопасности движения поездов и увеличения эксплуатационных расходов на поддержание работоспособности систем ЖАТ [2]. Выполнение программы модернизации позволит снизить количество изношенных линий автоблокировки на 100%, и уменьшить количество изношенных стрелок с 82,7% до 24,9%. В целом это позволит уменьшить уровень износа устройств централизации, блокировки до 40%.

Уменьшение эксплуатационных расходов. Эксплуатационные расходы по департаменту автоматики, телемеханики и телекоммуникации малозависимы от размеров движения и рассмотрены, главным образом, расходы на содержание и ремонт постоянных устройств. Согласно Нормативам численности работников дистанции сигнализации и связи Национальной компания «Қазақстан темір жолы» установлены следующие нормы обслуживания устройств централизации по категориям путей (Таблицы 1, 2,3) [5].

Таким образом трудозатраты по устройствам путевой централизации в среднем – 20%, по устройствам автоблокировки – 44%, по устройствам диспетчерской централизации – 25% и более. При сравнении эксплуатационно-технических характеристик релейных систем электрической централизации (ЭЦ) и микропроцессорного типа, установлены следующие факторы, определяющие экономическую эффективность применения микропроцессорной централизации (МПЦ) вместо релейных ЭЦ:

- сокращение постового оборудования ЭЦ (до 80 реле на 1 стрелку, стативов, пульт - управления и др.);
- сокращение производственных площадей на 50%, занимаемых устройствами МПЦ и размещение оборудования в действующих помещениях, снижение потребности в дополнительном строительстве зданий под посты;
- сокращение вложений при строительстве постов централизации;
- сокращение оборудования за счет интеграции линейных устройств в МПЦ;
- сокращение постового оборудования для схем увязки ЭЦ с автоблокировкой (АБ) за счет интеграции АБ с ЭЦ;

- сокращение затрат и сроков на строительство за счет сокращения количества кабельно-проводниковой продукции оборудования (постового и напольного кабеля, реле, стativeы, пульт - управления);

- оптимизация работы по управлению движения поездов на станции за счет комплексной модернизации устройств (увязка с устройствами диспетчерской централизации (ДЦ), диспетчерский контроль (ДК), автоматизация документооборота, автоматизация отдельных функций оператора и др.);

- диагностика средств ЭЦ;

- повышение надежности устройств за счет сокращения количества оборудования, кабельных сетей и резервирования;

- повышение уровня информатизации и оперативности персонала;

- изменение технологии обслуживания.

Выше перечисленные факторы, определяющие эффективность от внедрения МПЦ, обеспечивают сокращение следующих затрат:

- эксплуатационных расходов в департаменте автоматики, телемеханики и телекоммуникации за счет сокращения объемов постового оборудования ЭЦ, АБ, ДЦ, ДК, применения встроенных средств диагностики устройств ЭЦ и изменения технологии обслуживания;

- затрат на восстановление устройств ЭЦ за счет повышения надежности устройств;

- затрат по хозяйству энергоснабжения за счет снижения потребления электроэнергии;

- затрат на содержание и ремонт производственных площадей, занимаемых устройствами ЭЦ;

- вложений на строительство постов централизации и средств ЭЦ за счет изменения потребных площадей для размещения устройств и уменьшения объемов постового оборудования;

- эксплуатационных затрат на содержание оперативного персонала (операторов) за счет повышения уровня информатизации, автоматизации отдельных функций дежурного по станции, автоматизации документооборота [2].

Согласно оценкам российских экспертов на основе анализа и сопоставления с базовой системой технических, эксплуатационных показателей, функционального состава, объема аппаратуры трудо-

затрат, методов обслуживания и др. установлен оценочный коэффициент сокращения эксплуатационных затрат равный 0,6. При этом внедрение современных систем ЖАТ на линиях даст возможность полностью отказаться от укладки дорогих кабелей автоматики, телемеханики и связи (схемы смены направления, проводов извещения, линейных и др.), установки сигналов вдоль пути и оборудования рельсовых цепей, что позволит отказаться от расходов на их обслуживание как в хозяйстве сигнализации и связи, так и в путевом хозяйстве.

Заключение. Таким образом, модернизация систем ЖАТ окажет действие на сокращение оборота вагонов, локомотивов, снижение задействованности маневровых локомотивов на станции. В пассажирском движении позволит увеличить скорость проследования поездов по прямым участкам до 200 км/ч, что в национальном масштабе позволит повысить мобильность населения за счет обеспечения времени нахождения в пути не более 12 ч. между крайними точками. Анализ динамики удельной стоимости релейных и микропроцессорных систем на примере оборудования станции в 20 стрелок показывает, что стоимость оборудования релейных ЭЦ непрерывно возрастает из-за высокой материалоемкости, а также роста цен вследствие повышенного спроса на комплектующие, в микропроцессорных – падает вследствие развития, совершенствования и относительного удешевления микроэлектронной техники. Модернизация систем ЖАТ приведёт к увеличению пропускной способности, эффект от замены полуавтоматической блокировки на автоматическую – даст рост продуктивности порядка 3,5%, повышение надежности составит 0,42%.

Список литературы

1 *Бахтиярова Е.А., Сансызбай К.М.* Анализ в случае неосуществления модернизации существующих систем ЖАТ в Республике Казахстан // *Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омский государственный университет путей сообщения*, г. Омск, Россия, 2019, - с. 97-104.

2 Концепции модернизации и производства систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Астана, Казахстан 2018. – с.88 – 90.

3 *Браншитов С.А., Ширванян А.М., Тумченко Д.А.* Методы оценки пропускной способности железных дорог Часть 1. Аналитические методы оценки и анализа использования // Информационно-управляющие системы. – 2014. – №5. – С.51-56

4 *Хусаинов Ф.И.* Показатели скорости как аналитические инструменты для оценки работы железных дорог // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – №4(71). – С.19-22

5 Нормативы численности работников дистанции сигнализации и связи акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы»: Утв. Вице-министром по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 7 октября 2017г. №04-1-28/32118-и.

Бахтиярова Е.А. - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «РЭТ»
e-mail: baelag@mail.ru

Сансызбай К.М. - докторант e-mail: kanibek@list.ru

Чигамбаев Т.О. - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «ЭиР»
e-mail: chigambaev_timur@mail.ru