DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОТПРАВЛЕНИЯ И ПРИЁМА ПОЕЗДОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ БЛОКИРОВКИ

Рахмонов Б.Б., *доцент,*
Кафедры автоматика и телемеханика,
E-mail: bbrakhmonov@inbox.ru,
Муҳиддинов О.О., *доцент,*
Кафедры автоматика и телемеханика,
E-mail: muhiddinovobidjon@gmail.com,
Хужамкулов Э.Г., *старший преподаватель,*
Кафедра автоматика и телемеханика,
E-mail: xujamkuloveldor916@gmail.com,
Ташкентский государственний транспортный университет

Аннотация. *В статье разработаны алгоритмы отправления поезда со станции А на станцию Б и приёма поезда на станции Б в микропроцессорной системе полуавтоматической блокировки (МПАБ), построенной на основе программируемого логического контроллера (ПЛК). Представлены структурная схема системы, назначение её элементов и протокол защищённого межстанционного обмена сообщениями. Условия открытия выходного светофора, получения согласия на отправление и подтверждения полного прибытия поезда сформулированы в виде логических выражений. Свободность межстанционного перегона контролируется с помощью счёта осей и независимо подтверждается на обеих станциях. Сообщения защищены контрольной суммой CRC-16, порядковым номером и сообщениями подтверждения. Канал связи находится под непрерывным контролем, а при возникновении неисправности осуществляется переключение на резервный канал. Разработанные алгоритмы обеспечивают полную автоматизацию процесса управления движением поездов и гарантируют переход системы в безопасное состояние при возникновении любых неисправностей.*

Annotatsiya. *Maqolada dasturlanuvchi mantiqiy kontroller asosida qurilgan mikroprotsessorli yarim avtomatik blokirovka (MYAB) tizimida A stansiyadan B stansiyaga poyezd jo‘natish va B stansiyada poyezdni qabul qilish algoritmlari ishlab chiqilgan. Tizimning strukturaviy sxemasi, uning elementlari vazifalari hamda stansiyalararo himoyalangan xabar almashish protokoli keltirilgan. Chiqish svetoforini ochish, rozilik berish va poyezdning to‘liq kelishi shartlari mantiqiy ifodalar ko‘rinishida shakllantirilgan. Peregon bo‘shligi o‘qlarni hisoblash yo‘li bilan nazorat qilinadi va har ikkala stansiyada mustaqil tasdiqlanadi. Xabarlar CRC-16 nazorat yig‘indisi, tartib raqami va tasdiqlash xabari bilan himoyalanadi, aloqa kanali uzluksiz nazorat qilinib, nosozlikda zaxira kanalga o‘tiladi. Ishlab chiqilgan algoritmlar poyezd harakatini boshqarish jarayonini to‘liq avtomatlashtiradi va har qanday nosozlikda tizimning xavfsiz holatga o‘tishini ta'minlaydi.*

Abstract. *The article presents the algorithms for train dispatch from Station A to Station B and train reception at Station B in a microprocessor-based semi-automatic block (MSAB) system implemented using a programmable logic controller (PLC). The structural diagram of the system, the functions of its components, and the secure interstation message exchange protocol are described. The conditions for clearing the departure signal, granting permission, and confirming the complete arrival of a train are formulated as logical expressions. Track section vacancy is monitored by means of axle counting and independently confirmed at both stations. Messages are protected using a CRC-16 checksum, sequence numbers, and acknowledgment messages. The communication channel is continuously monitored, and the system switches to a backup channel*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

in the event of a failure. The developed algorithms fully automate the train traffic control process and ensure that the system transitions to a safe state in the event of any failure.

Ключевые слова: *полуавтоматическая блокировка, микропроцессорное управление, программируемый логический контроллер, счёт осей, межстанционный перегон, алгоритм, межстанционная связь, безопасность движения.*

Kalit so‘zlar: *yarim avtoblokirovka, mikroprotsessorli boshqaruv, dasturlanuvchi mantiqiy 611ontroller, o‘qlarni hisoblash, peregon, algoritm, stansiyalararo aloqa, harakat xavfsizligi.*

Key words: *semi-automatic block system, microprocessor-based control, programmable logic controller, axle counting, interstation block section, algorithm, interstation communication, traffic safety.*

Введение. В обеспечении безопасности движения поездов на перегонах железнодорожного транспорта важную роль играют системы интервального регулирования движения [1,2]. На однопутных линиях с относительно невысокой интенсивностью движения широко применяются системы полуавтоматической блокировки, обеспечивающие отправление на перегон только одного поезда в каждый момент времени. В настоящее время значительная часть таких участков железнодорожной сети АО «Узбекистон темир йуллари» оборудована релейными системами полуавтоматической блокировки [3].

Однако релейные системы полуавтоматической блокировки имеют ряд недостатков. Во-первых, система состоит из большого количества электромагнитных реле, контакты которых со временем изнашиваются и окисляются, что увеличивает объём периодического технического обслуживания [4,5]. Во-вторых, полный выход поезда с перегона визуально подтверждается дежурным по станции (ДСП) по наличию хвостового сигнального знака последнего вагона. Таким образом, безопасность движения непосредственно зависит от человеческого фактора. В-третьих, релейная система не предусматривает возможности автоматической диагностики состояния устройств и регистрации событий, что затрудняет выявление причин возникновения неисправностей.

Для решения указанных проблем в мировой практике разработаны и внедряются микропроцессорные системы полуавтоматической блокировки. В частности, в Российской Федерации применяются системы МПБ, МПАБ-Р «Урал» и МПАБ-Ф, основанные на использовании двухканальных контроллеров и устройств счёта осей [6–8]. Однако данные системы опираются на специализированное аппаратное обеспечение зарубежного производства, а их интеграция с местными системами электрической централизации (ЭЦ) требует дополнительной адаптации.

В связи с этим разработка микропроцессорной системы полуавтоматической блокировки (МПАБ), построенной на базе общепромышленных программируемых логических контроллеров и обеспечивающей взаимодействие с местными релейными и микропроцессорными системами электрической централизации, является актуальной задачей [9,10].

Цель статьи – разработка алгоритмов отправления поезда со станции А на станцию Б и приёма поезда на станции Б в системе МПАБ, а также формирование логических условий их реализации и протокола межстанционного обмена сообщениями.

Методология. Управление движением поездов в системе МПАБ осуществляется в двух основных режимах: отправления и приёма поезда. Режим отправления реализуется на начальной станции перегона (А), а режим приёма – на противоположной станции (Б). Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

Как видно из схемы, система МПАБ состоит из двух полукомплектов, симметрично размещённых на станциях А и Б, ограничивающих перегон. Каждый полукомплект

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

включает станционный шкаф ПБУ, расположенный в посту ЭЦ, пульт-табло дежурного по станции и пункт счёта осей (ПС1, ПС2), установленный на границе перегона. Основные блоки на станции А обозначены индексом «Н», а на станции Б – индексом «Ч». Элементы пульта-табло обозначаются в соответствии с направлением движения поездов: «Ч» – чётное направление (А → Б), «Н» – нечётное направление (Б → А).

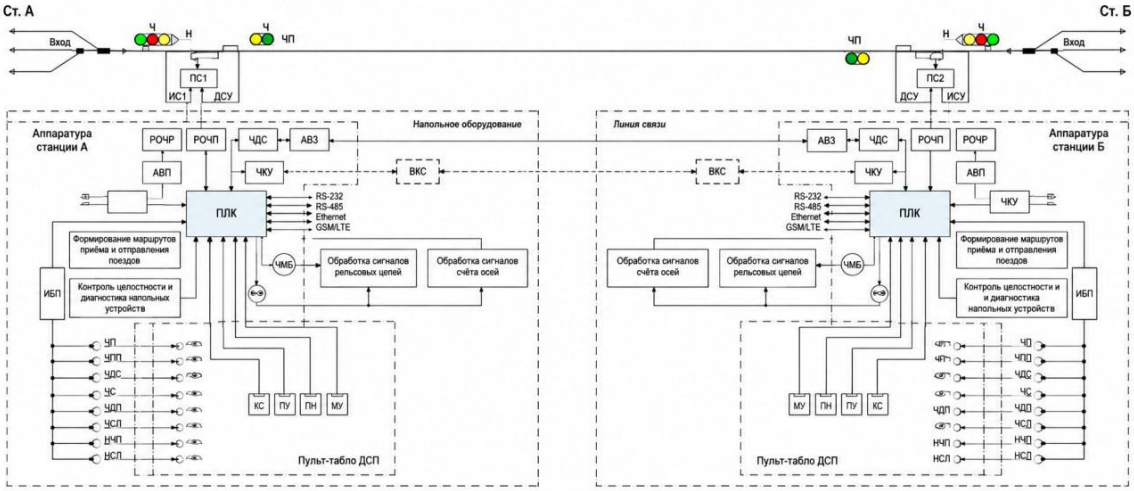


Рисунок 1. Структурная схема системы МПАБ

Центральным звеном каждого полукомплекта является центральный процессорный блок (НСРП, ЧСРП), построенный на базе программируемого логического контроллера с функциями безопасности. Он обрабатывает входные сигналы, программно проверяет условия блокировки, управляет выходными реле и архивирует все события с указанием временных меток. Индикаторы и кнопки пульта-табло связаны с процессором через модуль ввода-вывода (НМВВ, ЧМВВ).

В отличие от релейной полуавтоматической блокировки, в системе МПАБ условия межстанционной блокировки реализуются посредством защищённых цифровых сообщений. Сообщения формируются блоками передачи данных (НДС, ЧДС) и передаются по основной линии связи. Основная линия защищена от перенапряжений и помех с помощью блоков защиты линии (НБЗ, ЧБЗ). При возникновении неисправности основной линии осуществляется переключение на резервный канал ВКС через блоки НБУ, ЧБУ. Свободность перегона контролируется с помощью путевых датчиков (НПД, ЧПД) посредством подсчёта и сопоставления количества осей [11]. Назначение элементов системы представлено в таблице 1.

Таблица 1

Назначение элементов системы

Обозначение (А / Б)	Наименование	Назначение
НСРП / ЧСРП	Центральный процессорный блок	Обрабатывает входные сигналы, проверяет условия блокировки, управляет выходными реле, архивирует события
НМВВ / ЧМВВ	Модуль ввода-вывода	Связывает индикаторы и кнопки пульта-табло с процессором
НДС / ЧДС	Блок передачи данных	Формирует и передаёт межстанционные сообщения (CRC-16)

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

НБЗ / ЧБЗ	Блок защиты линии	Защищает основную линию связи от перенапряжений и помех
НБУ / ЧБУ, ВКС	Резервный канал связи	Обеспечивает передачу сообщений по резервному каналу при неисправности основного канала
НБП, НБП1, НУЗФ, НУЗИ	Блоки питания и защиты	Обеспечивают электропитание системы и пункта счёта осей, защищают их электрические цепи
ПС1 / ПС2 (НПД, ЧПД)	Пункт счёта осей	Определяет количество осей и направление движения $N_{вх}$, $N_{вых}$
ЧОВ, ЧОХ / НОВ, НОХ	Выходные реле	Управляют цепями сигнального реле выходного светофора и замка жезла-ключа

Алгоритм отправления поезда со станции А на станцию Б. В режиме отправления на пульте-табло дежурного по станции А используются следующие элементы: ЧПС (зелёный) – получение согласия от станции Б; ЧПО (красный) – чётный поезд отправлен, перегон занят; НКП (белый/красный) – состояние перегона; НСО (жёлтый) – предупреждение о неисправности; ЧКЖХ (жёлтый) – получение жезла-ключа для хозяйственного поезда; кнопка ЧОХ – отпирание замка жезла-ключа для хозяйственного поезда.

Свободность перегона определяется по разности количества осей, подсчитанных пунктами ПС1 и ПС2:

$$\Delta N = N_{ch} - N_{k}, \quad (1)$$

где Nч – количество осей, подсчитанных пунктом ПС1 (НПД) при выходе со станции А; Nк – количество осей, подсчитанных пунктом ПС2 (ЧПД) при входе на станцию Б. При ΔN = 0 перегон считается свободным.

Условие открытия выходного светофора, то есть включения реле ЧОВ, сформулировано в виде следующего логического выражения:

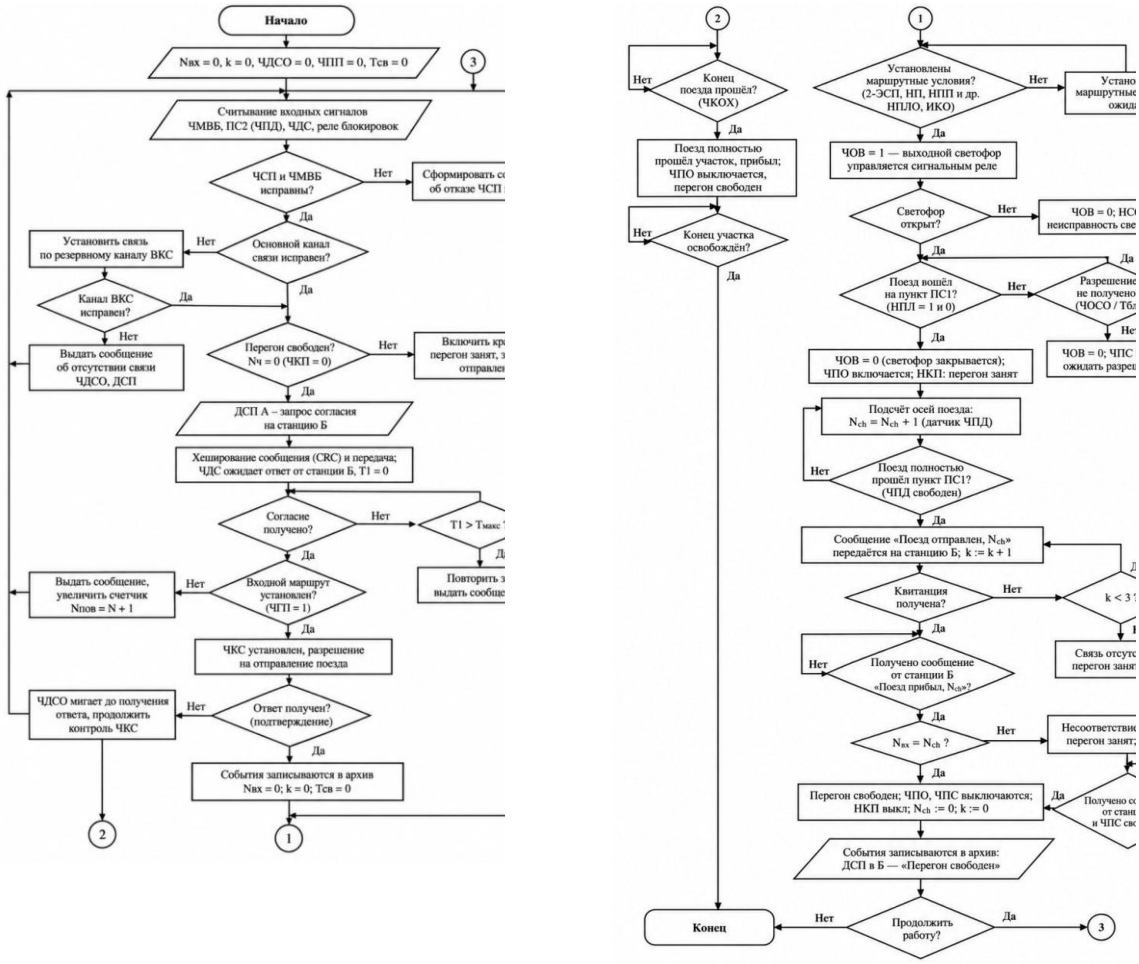
$$\text{ЧОВ} = RB \wedge \neg\text{ЧПО} \wedge (\Delta N = 0) \wedge \text{НП} \wedge \text{НГП} \wedge \text{СП} \wedge \neg\text{ЧКЖХ} \wedge D_1 \wedge K, \quad (2)$$

где RB – получение действительного согласия со станции Б; ¬ЧПО – отсутствие предыдущего поезда на перегоне; НП, НГП, СП – свободность соответственно станционного пути, участка приближения и стрелочного участка; ¬ЧКЖХ – жезл-ключ находится в замке; D1 – исправность блока НСРП и пункта ПС1; K – исправность канала связи.

Особенность выражения (2) заключается в том, что все входящие в него переменные принимают значение «да» только при исправном и безопасном состоянии соответствующего устройства. Неисправность любого датчика, блока или канала приводит к значению «нет» соответствующей переменной и запрещает открытие выходного светофора. Таким образом, принцип перехода в безопасное состояние обеспечивается на уровне алгоритма [12, 13].

Алгоритм отправления циклически выполняется в блоке НСРП станции А и представлен на рисунке 2 в двух частях: а) проверка системы и получение согласия; б) отправление поезда и освобождение перегона. Части соединены переходами с обозначениями «1» и «2», а обозначение «3» указывает на возврат к началу алгоритма.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84



a) этап проверки системы и получения согласия

b) этап отправления поезда и освобождения перегона

Рисунок 2. Алгоритм отправления поезда со станции А на станцию Б

На первом этапе (рисунок 2а) после установки начальных значений в каждом рабочем цикле считывается и последовательно проверяется состояние НМВВ, ПС1, НДС и реле ЭЦ: исправность блоков НСРП и НМВВ (при неисправности загорается НСО и отправление запрещается); исправность основного канала НБЗ–ЧБЗ (при неисправности выполняется переход на резервный канал ВКС через НБУ); свободность перегона согласно выражению (1). Затем дежурный подаёт команду «Запрос согласия», на станцию Б передаётся защищённое CRC сообщение-запрос и запускается таймер Т1. Если согласие не поступает до достижения Т1 ≥ Трук, запрос отменяется, а дежурный получает уведомление. После проверки подлинности полученного сообщения-согласия (CRC, адрес, порядковый номер) загорается зелёный индикатор ЧПС. Если нажата кнопка ЧОХ, алгоритм переходит к ветви хозяйственного поезда («2»).

На втором этапе (рисунок 2б) проверяются условия маршрута (участки 1–3СП, НП и НГП свободны; проверяется состояние реле НПЛО и НС). При выполнении условия (2) включается реле ЧОВ и открывается выходной светофор. Во время ожидания поезда контролируется отмена согласия станцией Б (ЧОСО). Как только датчик НПД фиксирует первую ось, светофор автоматически закрывается, загорается красный индикатор ЧПО, и перегон считается занятым. Оси подсчитываются до полного прохода поезда через пункт

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

ПС1, после чего на станцию Б передаётся сообщение «Поезд отправлен, Nч». При отсутствии подтверждения сообщение передаётся повторно до трёх раз.

После получения со станции Б сообщения «Поезд прибыл, Nк» значения Nк и Nч независимо сравниваются также на станции А (принцип «два из двух»). Если значения равны, перегон объявляется свободным: индикаторы ЧПО и ЧПС гаснут, НКП становится белым. Если значения не совпадают, перегон освобождается только после получения со станции Б сообщения об искусственном восстановлении (ЧИФП). При отправлении хозяйственного поезда перегон считается занятым до возврата жезла-ключа в замок. Все события записываются в архив с временными метками.

Протокол межстанционного обмена сообщениями. Режимы отправления и приёма связаны между собой только посредством межстанционных сообщений. В соответствии с требованиями к системам передачи данных, связанным с безопасностью [14], протокол должен обеспечивать защиту от искажения, потери, дублирования, задержки и нарушения последовательности сообщений.

Все межстанционные командные сообщения и сообщения о состоянии передаются в виде кадров, содержащих байт синхронизации, адрес станции, тип сообщения, порядковый номер, поле данных, временную метку и контрольную сумму CRC-16 [15]. Адрес позволяет исключить получение сообщения от другого перегона, а порядковый номер предотвращает дублирование и нарушение последовательности. Для каждого сообщения отправляется подтверждение; если оно не получено в течение времени Тподтв, сообщение передаётся повторно ($k \leq 3$). Типы сообщений приведены в таблице

Таблица 2

од	**Сообщение**	**На правление**	**Поле данных**
S	«Запрос согласия»	A → B	–
B	«Согласие дано»	B → A	Номер согласия
R	«Согласие отменено»	B → A	Номер согласия
J	«Поезд отправлен»	A → B	Nч – количество осей, подсчитанных при отправлении
K	«Поезд прибыл»	B → A	Nк – количество осей, подсчитанных при прибытии
FP	«Перегон искусственно восстановлен»	B → A	Подтверждение дежурного, значение счётчика
X	Сообщение подтверждения	A ↔ B	Номер принятого сообщения
S	Сообщение состояния (тест)	A ↔ B	Состояние блоков и канала, каждую 1 с

Канал связи непрерывно контролируется с помощью сообщений TS: если не получены три последовательных сообщения TS (Ткан = 3 с), система переключается на резервный канал ВКС через блок ЧБУ. При неисправности обоих каналов выдача согласия запрещается, а перегон считается занятым; таким образом, потеря связи никогда не приводит к опасному состоянию.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

Алгоритм приёма поезда на станции Б. Режим приёма поезда реализуется полукомплектом системы МПАБ на станции Б. Условие выдачи согласия на станции Б имеет следующий вид:

$$RB = \text{ЧДСО} \wedge (\Delta N = 0) \wedge \neg\text{ЧПП} \wedge \neg\text{НПО} \wedge \neg\text{ЧИФП} \wedge \text{ЧП} \wedge \text{ЧГП} \wedge D_2 \wedge K \quad (3)$$

где ЧДСО – нажатие дежурным кнопки согласия; ¬ЧПП, ¬НПО – отсутствие на перегоне чётного и нечётного поездов; ¬ЧИФП – отсутствие активного режима искусственного восстановления; ЧП, ЧГП – свободность приёмо-отправочного пути и участка приближения; D2 – исправность блока ЧСРП и пункта ПС2.

Условие ¬НПО в выражении (3) обеспечивает взаимную блокировку согласий для противоположных направлений: если со станции Б отправлен нечётный поезд, согласие станции А не выдаётся. Условие полного прибытия поезда имеет следующий вид:

$$PK = (N_{\text{k}} = N_{\text{ch}}) \wedge (N_{\text{k}} > 0) \wedge \text{ЧГП} \wedge D_2 \wedge K \quad (4)$$

При $N_к < N_ч$ существует вероятность разрыва поезда, поэтому перегон остаётся занятым. Максимально допустимое время нахождения поезда на перегоне определяется следующим выражением:

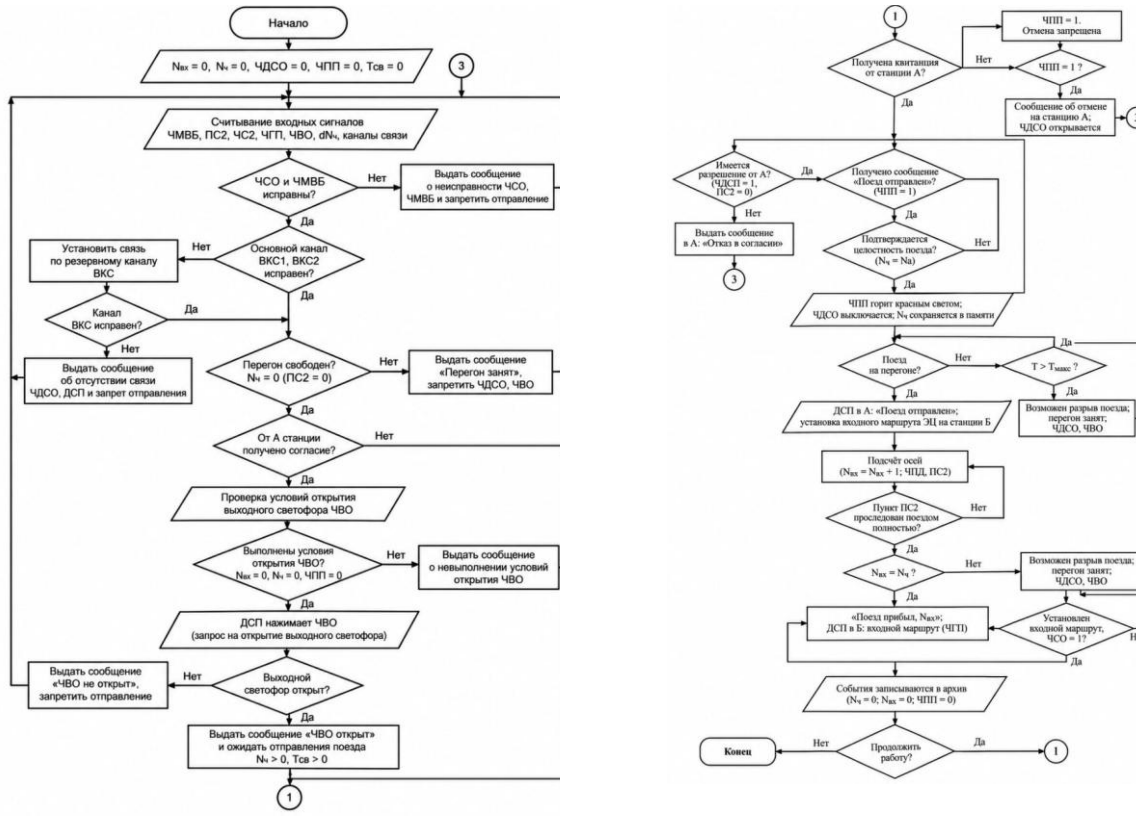
$$T_{\text{maks}} = k_{\text{z}} \cdot L_{\text{p}} / v_{\text{min}}, \quad (5)$$

где L_p – длина перегона, км; vmin – минимальная расчётная скорость, км/ч; k_z = 1,5–2,0 – коэффициент запаса.

В режиме приёма на пульте-табло станции Б используются следующие элементы: ЧДСО (жёлтый) – согласие выдано; ЧПП (красный) – поезд, отправленный со станции А, находится на перегоне; ЧКП (белый/красный) – состояние перегона; ЧСО (жёлтый) – неисправность; ЧзВ – индикатор звукового сигнала; а также кнопки ЧДСО (выдача согласия), ЧОСО (отмена согласия) и опломбированная кнопка ЧИФП (искусственное восстановление).

Алгоритм приёма выполняется в блоке ЧСРП станции Б и представлен на рисунке 3 в двух частях. На первом этапе (рисунок 3а) считывается состояние ЧМВВ, ПС2, ЧДС и реле ЭЦ, проверяются исправность блоков и каналов связи, а также свободность перегона. При поступлении запроса со станции А подаётся звуковой сигнал ЧзВ, после чего дежурный проверяет готовность приёмо-отправочного пути (участки 2–4СП, ЧП, ЧГП свободны; проверяется состояние реле ЧПЛО и ЧС). Если путь готов, дежурный нажимает кнопку ЧДСО; блок ЧСРП программно проверяет условие (3). При его выполнении сообщение о согласии передаётся на станцию А и загорается жёлтый индикатор ЧДСО; в противном случае выдача согласия блокируется и загорается ЧСО.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84



а) этап приёма запроса и выдачи согласия

б) этап приёма поезда и освобождения перегона

Рисунок 3. Алгоритм приёма на станции Б поезда, прибывающего со станции А

На втором этапе (рисунок 3б) сначала проверяется сообщение подтверждения со станции А. До отправления поезда дежурный по станции может отменить согласие с помощью кнопки ЧОСО; если поезд уже отправлен (ЧПП = 1), отмена отклоняется. При получении сообщения «Поезд отправлен, Nч» загорается красный индикатор ЧПП, индикатор ЧДСО гаснет, а значение Nч сохраняется в памяти. Если поезд находится на перегоне дольше времени $T_{макс}$, определяемого выражением (5), дежурному по станции выдаётся предупреждение. При входе поезда на участок ЧГП устройства электрической централизации (ЭЦ) устанавливают входной маршрут, а датчик ЧПД подсчитывает оси до полного проследования поездом пункта ПС2.

Затем сравниваются значения Nк и Nч. Если они равны, выполняется условие (4): на станцию А отправляется сообщение «Поезд прибыл, Nк», индикатор ЧПП гаснет, а ЧКП становится белым. При несовпадении значений выдаются сигналы ЧСО и ЧзВ, предупреждающие о возможном разрыве поезда. После проверки дежурным хвостового знака последнего вагона и нажатия опломбированной кнопки ЧИФП система искусственно восстанавливает перегон по истечении задержки Тифп. В завершение события записываются в архив.

Обеспечение безопасности в алгоритмах и сравнительная оценка

В разработанных алгоритмах безопасность движения обеспечивается следующими принципами: переход системы в безопасное состояние при любой неисправности (светофор закрыт, перегон занят); независимое подтверждение свободности перегона на обеих станциях; защита сообщений с помощью CRC-16, порядкового номера и подтверждения; взаимная блокировка согласий для противоположных направлений; выполнение

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

искусственного восстановления только после подтверждения дежурного, временной задержки и регистрации показаний счётчика. Эти принципы соответствуют требованиям к электронным системам железнодорожной автоматики, связанным с безопасностью [12, 13]. Сравнительная характеристика релейной полуавтоматической блокировки и системы МПАБ приведена в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика релейной полуавтоматической блокировки и системы МПАБ

Показатель	Релейная полуавтоматическая блокировка	Система МПАБ
Контроль свободности перегона	Визуальное подтверждение дежурным по хвостовому знаку последнего вагона	Автоматически посредством счёта осей, независимо на обеих станциях
Условия межстанционной блокировки	Полярные импульсы по линейной цепи	Цифровые сообщения, защищённые CRC-16
Резервирование канала связи	Отсутствует	Основной и резервный (ВКС) каналы, автоматическое переключение
Диагностика и регистрация событий	Отсутствует	Непрерывная диагностика, архив с временными метками
Команды управления	Кнопки пульта и реле	Логические условия, проверяемые программно (2)–(4)
Средняя наработка до отказа	12 987 чась	36 272 чась

Согласно расчётам, выполненным на основе модели Маркова, средняя наработка системы до отказа примерно в 2,8 раза выше, чем у релейной полуавтоматической блокировки.

Заключение. Разработана структурная схема системы микропроцессорной полуавтоматической блокировки (МПАБ) на основе программируемого логического контроллера. Система состоит из двух полукомплектов, симметрично расположенных на станциях, ограничивающих перегон, осуществляет контроль свободности перегона путём подсчёта осей и взаимодействует с релейными и микропроцессорными системами электрической централизации (ЭЦ). Условия открытия выходного светофора, дачи согласия и полного прибытия поезда сформированы в виде логических выражений. Каждая переменная в выражениях принимает значение «истина» только при исправном и безопасном состоянии соответствующего устройства, что обеспечивает реализацию принципа перехода в безопасное состояние на уровне алгоритмов.

Алгоритмы отправления поезда со станции А и приёма поезда на станции Б разработаны в виде двухэтапных блок-схем. Они реализуют принцип «два из двух», обеспечивая независимое подтверждение свободности перегона на обеих станциях и взаимную блокировку согласий на отправление поездов во встречных направлениях. Сообщения защищены с помощью CRC-16, порядкового номера и сообщения подтверждения. При неисправности канала связи осуществляется переход на резервный канал.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.84

Разработанные алгоритмы полностью автоматизируют процесс управления движением поездов, обеспечивают подтверждение свободности перегона без визуального контроля со стороны дежурного по станции, а также повышают надёжность, быстродействие и диагностические возможности по сравнению с релейной полуавтоматической блокировкой. Алгоритмы реализованы в программном обеспечении систем МПАБ, внедрённых на перегоне Паркент–Байткўрғон и на станции Акча в сети АО «Узбекистон темир йуллари».

Список литературы

1. Лисенков В.М., Бестемьянов П.Ф., Леушин В.Б. Системы управления движением поездов на перегонах: учеб. для вузов железнодорожного транспорта. Ч. 1. М., 2009. 160 с.
2. Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов. М.: Транспорт, 1995. 320 с.
3. Сороко В.И., Розенберг Е.Н. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справ. Кн. 2. М.: Планета, 2000.
4. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. СПб. : ПГУПС, 2016. 171 с.
5. Шаманов В.И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики: учеб. пособие. М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2013.
6. Микропроцессорная полуавтоматическая блокировка МПБ. Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: НПЦ «Промэлектроника».
7. Микропроцессорная полуавтоматическая блокировка МПАБ-Ф. Технические решения. СПб.: Форатек АТ, 2013.
8. Сапожников Вл.В., Кононов В.А., Куренков С.А. и др. Микропроцессорные системы централизации: учеб. М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008. 398 с.
9. Kurbanov J.F., Yaronova N.V., Khujamkulov E.G. Improvement of the Control Relay Blocks in the Electrical Centralization and Control System Based on Modern Elements // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi, Russia, 2023. pp. 988–992. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272730.
10. Курбанов Ж.Ф., Хужамкулов Э.Г., Яронова Н.В. Новые технические решения для релейных блоков управления в системах железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматизация процессов управления. 2025. № 3 (81). С. 98–106. DOI: 10.35752/1991-2927_2025_3_81_98.
11. Theeg G., Vlasenko S. (Eds.). Railway Signalling and Interlocking. International Compendium. Hamburg: Eurailpress, 2009.
12. EN 50129:2018. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling.
13. EN 50126-1:2017. Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
14. EN 50159:2010. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems.
15. Peterson W.W., Brown D.T. Cyclic Codes for Error Detection // Proceedings of the IRE. 1961. Vol. 49, no. 1. pp. 228–235. DOI: 10.1109/JRPROC.1961.287814.