

АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ПРОВЕРКЕ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ НА ШУНТОВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

ШВАЛОВ Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры; e-mail: d_shvalov@mail.ru

Ростовский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону

В статье рассмотрены вопросы практического применения подхода к автоматизации выполнения и планирования работ по техническому обслуживанию устройств железнодорожной автоматики и телемеханики в процессе реализации планово-предупредительного технического обслуживания, включая анализ известных способов автоматизации проверок рельсовых цепей на шунтовую чувствительность и автоматизации контроля выполнения шунтового эффекта в процессе нахождения подвижной единицы на рельсовой цепи. В настоящее время актуальной является задача сокращения трудозатрат на техническое обслуживание рассредоточенных объектов автоматики и телемеханики, для решения которой предлагается использовать алгоритмы, обеспечивающие идентификацию технологических ситуаций и определение множества работ, которые будут считаться выполненными автоматически, а также множества работ, которые требуется выполнить в установленные сроки. Суть предлагаемого подхода к автоматизации рассматриваемых процессов состоит в следующем: если в процессе функционирования рельсовой цепи в штатном режиме реализуется ситуация, аналогичная процессу выполнения работы по проверке шунтовой чувствительности (предусмотренная технологией выполнения работы), то при наличии средств достоверного контроля значений параметров рельсовой цепи работа считается выполненной.

Ключевые слова: рельсовые цепи; техническое обслуживание; автоматизация технического обслуживания; шунтовая чувствительность рельсовой цепи; техническое диагностирование и мониторинг.

DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-19-32

▼ Введение

Обеспечение шунтового эффекта при вступлении подвижной единицы на участок железнодорожного пути, оборудованный рельсовой цепью, зависит от правильной регулировки рельсовой цепи и ее шунтовой чувствительности. Неправильная регулировка — установка напряжения источника питания рельсовой цепи выше предельного значения, указанного в регулировочной таблице, является результатом предумышленных действий эксплуатационного персонала и приводит к ложной свободности участка. Последствиями могут быть перевод стрелки под составом или открытие светофора, ограждающего данный участок, что приводит к крушениям поездов. При наличии средств технического диагностирования и мониторинга такое нарушение норм содержания рельсовых цепей выявляется практически

сразу путем измерения в непрерывном режиме напряжений на выходах источников питания и входах приемников рельсовых цепей.

Шунтовая чувствительность рельсовой цепи определяется значением сопротивления поездного шунта, которое складывается из сопротивления колесных пар подвижного состава и переходного сопротивления «колесо — рельс» [1]. Значение сопротивления поездного шунта зависит от количества осей, шунтирующих рельсовую цепь, скорости движения подвижной единицы, состояния поверхностей головок рельсов и поверхностей колес по кругу катания.

Исследования, результаты которых представлены в [2–4], показали, что сопротивление поездного шунта не зависит от сопротивления колесной пары (на значение электрического сопротивления колесной пары не влияют срок службы, пробег, количество ремонтов),

а определяется наличием или отсутствием непроводящего слоя в месте контакта колеса и рельса. Исследования, результаты которых представлены в [5], также подтверждают, что сопротивление колесной пары намного меньше, чем сопротивление контакта колеса с рельсом, и увеличение сопротивления поездного шунта, если таковое происходит, вызвано увеличением сопротивления в месте контакта колеса с рельсом.

Действующая организация выполнения работ (планово-предупредительное техническое обслуживание с периодическим контролем) и технология проверки рельсовых цепей на шунтовую чувствительность существенно зависят от влияния так называемого человеческого фактора на результат и, как следствие, на уровень безопасности движения поездов.

Целью статьи является разработка предложений по применению рассмотренного в [6] метода для планирования работ по проверке станционных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность на основе цифровой модели непрерывного мониторинга и обновления информации о фактически реализованных технологических ситуациях, эквивалентных имитации функционирования обслуживаемых устройств в различных режимах.

1. Актуальность автоматизации процессов выполнения и планирования работ по проверке рельсовых цепей на шунтовую чувствительность

В соответствии с действующей технологией¹ работы по проверке станционных двухниточных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность выполняются в свободное от движения поездов время (в промежутках между поездами) или технологическое «окно» следующим образом: шунт сопротивлением 0,06 Ом накладывается на поверхность головок рельсов на питающем конце, на всех релейных концах, а также на ответвлениях, не контролируемых путевыми

реле (приемниками); при каждом наложении шунта индикация на аппарате управления дежурного по станции должна соответствовать занятому состоянию рельсовой цепи, а путевые реле должны находиться в состоянии «без тока». Работа выполняется двумя непосредственными исполнителями — электромехаником и электромонтером по обслуживанию и ремонту устройств сигнализации, централизации и блокировки 5-го разряда с задействованием дежурного по железнодорожной станции для контроля индикации о состоянии рельсовых цепей. Периодичность выполнения работ для рельсовых цепей, параллельные ответвления которых не контролируются путевыми реле, — один раз в две недели, для остальных рельсовых цепей — один раз в четыре недели.

Работы по проверке рельсовых цепей на шунтовую чувствительность, как и другие работы, требующие переходов эксплуатационного персонала между рассредоточенными по станции объектами, являются весьма ресурсозатратными [7], в том числе и с точки зрения непроизводительных затрат времени. Общее время выполнения работ в пределах станции зависит от количества рельсовых цепей и длин контролируемых участков, а также от допустимых маршрутов передвижения по станции эксплуатационного персонала. Сокращение потерь времени при техническом обслуживании рельсовых цепей является одной из задач в рамках общей тенденции к сокращению (оптимизации) ресурсов, выделяемых на техническую эксплуатацию объектов инфраструктуры [8, 9].

Вопросы повышения надежности обеспечения шунтового эффекта, в том числе и за счет сведения к минимуму влияния так называемого человеческого фактора на организацию и качество выполнения работ и принятия решений, рассматривались ведущими учеными и специалистами в области железнодорожной автоматики, телемеханики и локомотивного хозяйства. Известные в настоящее время результаты исследований по этой тематике можно систематизировать по четырем направлениям: 1) автоматизация проверок рельсовых цепей на шунтовую чувствительность; 2) автоматизация контроля выполнения шунтового эффекта в процессе нахождения подвижной

¹ Техничко-нормировочная карта № ТНК ЦШ 0178-2015. Электрические рельсовые цепи. Проверка станционных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность; утв. Управлением автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД» 8 октября 2015 г. — М.: ОАО «РЖД», 2015. — 6 с.

единицы на рельсовой цепи; 3) автоматизация измерения сопротивления поездного шунта; 4) способы предотвращения потери шунта (невыполнения шунтового эффекта) занятой рельсовой цепью. В настоящей статье рассмотрим первые два направления исследований.

1. Известные предложения по автоматизации проверки рельсовых цепей на шунтовую чувствительность сводятся к замене наложения на рельсы нормативного шунта шунтированием тракта протекания сигнального тока в других точках с целью сокращения времени выполнения работ.

Так, для проверки на шунтовую чувствительность в автоматическом режиме в [10] предложено в состав аппаратуры рельсовой цепи дополнительно включать два блока: блок шунтирования, который поочередно шунтирует цепь питающего конца сопротивлениями, эквивалентными наложению нормативного шунта в начале и в конце рельсовой линии; блок управления и индикации, который выдает управляющие сигналы блоку шунтирования и, проверяя реакцию путевого реле на наложение шунта, формирует сигнал о состоянии (исправном или неисправном) рельсовой цепи. В [11, 12] для реализации этого же технологического процесса предложено использовать два блока шунтирования, один из которых включается на питающем конце (между передающей аппаратурой и рельсовой линией), второй — на релейном конце (между приемной аппаратурой и рельсовой линией) рельсовой цепи. Способ автоматической проверки рельсовых цепей на шунтовую чувствительность путем шунтирования на кроссовых статавах линий питающего и релейного концов имеет ряд недостатков, основным из которых является возникновение ложной занятости рельсовой цепи из-за неисправности дополнительной аппаратуры. Кроме того, обесточивание путевого реле при шунтировании постовой цепи питающего или релейного конца не гарантирует, что путевое реле также обесточится при шунтировании рельсовой линии колесной парой, например, в случае увеличения переходного сопротивления «колесо — рельс».

2. В основу известных предложений по автоматизации контроля выполнения шунтового

эффекта в процессе нахождения подвижной единицы на рельсовой цепи положены алгоритмы функционирования автоматической локомотивной сигнализации (АЛС).

Для выявления потери шунта под подвижной единицей, которая может произойти в случае применения экстренного торможения с использованием песка, в [13] предложено после включения режима торможения переключать локомотивные устройства АЛС на прием кодовых сигналов от задних (по ходу движения) приемных катушек. Если при этом показание локомотивного светофора не изменяется, то это означает, что колесные пары подвижной единицы не шунтируют рельсовую цепь. Недостатком такого способа является необходимость переключения устройств АЛС вручную, то есть возложение дополнительных функций на машинистов.

С целью автоматизации контроля в [14], в отличие от [13], предложено дополнить локомотивные устройства АЛС аппаратурой сравнения сигналов, воспринимаемых в непрерывном режиме передними и задними приемными катушками. Решение о выполнении шунтового эффекта принимается по следующим логическим правилам: 1) если кодовые сигналы воспринимаются только передними приемными катушками, то подвижная единица шунтирует рельсовую цепь; 2) если кодовые сигналы воспринимаются и передними, и задними приемными катушками, то подвижная единица не шунтирует рельсовую цепь; 3) если кодовые сигналы воспринимаются только задними приемными катушками, подвижная единица шунтирует рельсовую цепь, а кодирование участка осуществляется «в хвост» подвижной единицы.

Для исключения ошибки при принятии решения — выдачи ложной информации о потере шунта в момент прохода подвижной единицы через изолирующий стык, разделяющий рельсовые цепи, кодируемые разными кодами, в [15] предложено сравнение сигналов, воспринимаемых передними и задними приемными катушками, проводить с некоторой задержкой во времени. Также с целью исключения ошибки при принятии решения, но в случае нахождения подвижной единицы на участке, кодируемом в обоих направлениях,

в [16] предложено реализовать в аппаратуре сравнения сигналов, воспринимаемых передними и задними приемными катушками, функцию распознавания типа кодового путевого трансмиттера (по длительности кодового цикла).

Рассмотренный способ во всех вариациях имеет ограниченное применение — только для одиночного локомотива или двухкабинного специального самоходного подвижного состава. Другой недостаток — не выявляется потеря шунта при движении по некодируемому участку или при сбоях в работе устройств кодирования рельсовых цепей, так как контроль основан на реализации алгоритмов функционирования АЛС (прием кодовых сигналов на частоте кодового тока АЛС).

Результаты проведенного анализа позволяют сделать следующие выводы:

1. Известные предложения по автоматизации проверки на шунтовую чувствительность предполагают использование дополнительной коммутирующей аппаратуры, что может привести к снижению надежности рельсовых цепей и потребовать перерасчета регулировочных таблиц, а также исключают наложение нормативного шунта непосредственно на рельсовую линию, что противоречит действующей технологии выполнения соответствующей работы.

2. Известные методы автоматизации контроля выполнения шунтового эффекта в процессе нахождения подвижной единицы на рельсовой цепи на основе аппаратуры и алгоритмов функционирования автоматической локомотивной сигнализации применимы только для одиночных двухкабинных подвижных единиц и для реализации требуют существенного усложнения существующих аппаратных средств и программно-алгоритмического обеспечения.

3. Перспективными с точки зрения сокращения трудозатрат на выполнение работ по проверке рельсовых цепей на шунтовую чувствительность можно считать технические, технологические и алгоритмические решения, реализация которых: не требует внесения изменений в существующие схемы рельсовых цепей или устройств АЛС (АЛСН, КЛУБ и др.); основана на контроле параметров рельсовых цепей в процессе работы в штатном

режиме; предполагает использование типовой аппаратуры известных систем технического диагностирования и мониторинга или соответствующих подсистем микропроцессорных (релейно-процессорных) централизаций.

2. Алгоритм определения рельсовых цепей, для которых проверку на шунтовую чувствительность можно считать выполненной в автоматическом режиме

Суть предлагаемого подхода к минимизации ресурсозатрат (затрат времени) в следующем: если в процессе функционирования рельсовой цепи в штатном режиме реализуется ситуация, аналогичная процессу выполнения работы по проверке шунтовой чувствительности (предусмотренная технологией выполнения работы), то при наличии средств достоверного контроля значений параметров рельсовой цепи работа считается выполненной. Реакция исправной и правильно отрегулированной рельсовой цепи на наложение нормативного шунта сопротивлением 0,06 Ом эквивалентна реакции на наложение поездного шунта. Поэтому можно сделать следующий вывод: если на рельсовую цепь был наложен поездной шунт (по рельсовой цепи проследовала подвижная единица) и при этом достоверно зафиксировано состояние рельсовой цепи «занятое», то проверку шунтовой чувствительности вручную можно не проводить (можно считать, что проверка выполнена).

Для ситуации «наложение нормативного шунта на конец рельсовой цепи» выбор эквивалентной технологической ситуации из двух — «вступление первой колесной пары подвижной единицы на конец рельсовой цепи» или «нахождение на конце рельсовой цепи последней колесной пары подвижной единицы» — производим исходя из следующих соображений: по технологии выполнения работы нормативный шунт накладывается на свободную рельсовую цепь, то есть фиксируется срабатывание рельсовой цепи при ее занятии, что соответствует первому варианту; второй вариант соответствует проверке фиксации занятого состояния рельсовой цепи в момент, когда она уже занята, то есть проверяется отсутствие так называемой потери шунта у занятой рельсовой цепи.

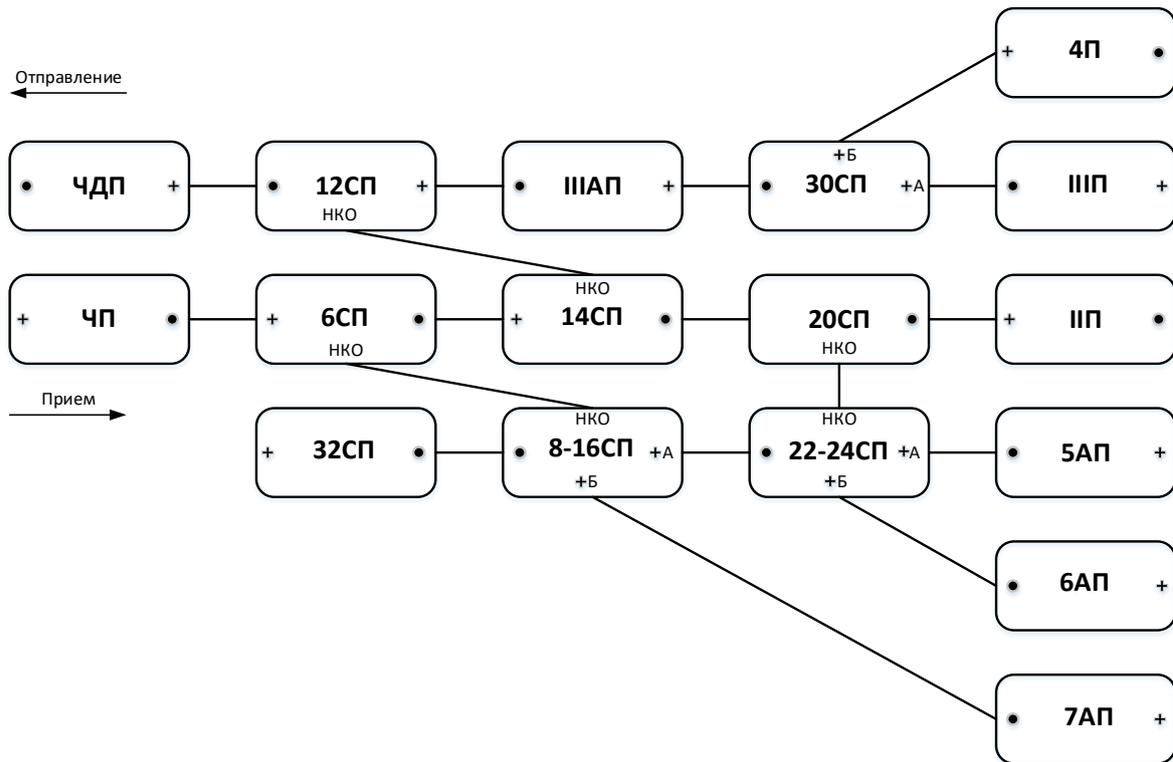


Рис. 1. Граф фрагмента горловины станции

Особенность учета реализованных маршрутов и задействованных при этом рельсовых цепей состоит в том, что необходимо учитывать направление движения подвижной единицы для определения места наложения поездного шунта на рельсовую цепь (одного из концов рельсовой цепи — питающий или релейный конец, неконтролируемое ответвление). Введем ряд определений в соответствии с терминологией, принятой в [7], и рассмотрим примеры их использования для фрагмента горловины станции, представленной на рис. 1 в виде графа, вершинами которого являются рельсовые цепи (ЧДП, 12СП, ШАП и др.). Обозначения концов рельсовых цепей на рис. 1 следующие: «+» и «●» — соответственно релейный и питающий конец; НКО — неконтролируемое ответвление.

Определение 1. «Работа» — проверка рельсовой цепи на шунтовую чувствительность.

В соответствии с рис. 1 множество возможных работ содержит следующие элементы: {(проверка ЧДП на при наложении шунта на питающий конец), (проверка ЧДП при наложении шунта на релейный конец), (проверка 12СП на при наложении шунта на питающий конец), (проверка 12СП при наложении шунта

на релейный конец), (проверка 12СП при наложении шунта на неконтролируемое ответвление), ..., (проверка 7АП на при наложении шунта на питающий конец), (проверка 7АП при наложении шунта на релейный конец)}.

Определение 2. «Событие» — наложение поездного шунта на конец рельсовой цепи.

В соответствии с рис. 1 множество возможных событий содержит следующие элементы: {(наложение поездного шунта на питающий конец ЧДП), (наложение поездного шунта на релейный конец ЧДП), (наложение поездного шунта на питающий конец 12СП), (наложение поездного шунта на релейный конец 12СП), (наложение поездного шунта на неконтролируемое ответвление 12СП), ..., (наложение поездного шунта на питающий конец 7АП)}.

Определение 3. «Действие» — реализация поездного или маневрового маршрута на станции.

В соответствии с рис. 1 множество возможных действий содержит следующие элементы: {(маршрут приема с ЧП на ПП), (маршрут приема с ЧП на 5АП), (маршрут приема с ЧП на 6АП), (маршрут приема с ЧП на 7АП), (маршрут приема с ЧДП на ШП), (маршрут приема с ЧДП на 4П), (маршрут приема с ЧДП на ПП),

(маршрут приема с ЧДП на 5АП), (маршрут приема с ЧДП на 6АП), (маршрут отправления с ИПП на ЧДП), (маршрут отправления с 4П на ЧДП), (маршрут отправления с ИПП на ЧДП), (маршрут отправления с 5АП на ЧДП), (маршрут отправления с 6АП на ЧДП), (маршрут отправления с ИПП на ЧП), (маршрут отправления с 5АП на ЧП), (маршрут отправления с 6АП на ЧП), (маршрут отправления с 7АП на ЧП)}.

В соответствии с алгоритмами функционирования систем централизации стрелок и светофоров каждое действие (маршрут) состоит из упорядоченного набора событий, при этом последовательность событий определяется последовательностью вступления подвижной единицы на рельсовые цепи (их соответствующие концы), входящие в маршрут. Таким образом, события являются элементами действий.

Алгоритм принятия решений о выполнении работ содержит шесть продукционных правил, что обеспечивает относительную простоту его реализации.

Правило 1. ЕСЛИ событие произошло И реакция рельсовой цепи соответствует нормативной (путевое реле перешло в состояние «выключено» И значение остаточного напряжения не превышает установленный предел), ТО работа выполнена.

Правило 2. ЕСЛИ действие совершилось, ТО произошли все события, являющиеся его элементами.

Правило 3 (следствие правила 2). ЕСЛИ совершено действие, элементом которого является какое-либо событие, ТО это событие произошло.

Правило 4. ЕСЛИ (маршрут был установлен И (не было отмены ИЛИ искусственной разделки маршрута после того, как маршрут был установлен) И подвижная единица проследовала по маршруту после того, как маршрут был установлен И произошло автоматическое размыкание маршрута после того, как подвижная единица проследовала по маршруту), ТО маршрут реализован.

Правило 5. ЕСЛИ (маршрут был задан (набран на аппарате управления) И светофор, определяющий начало маршрута, был открыт после того, как маршрут был задан), ТО маршрут был установлен.

Правило 6. ЕСЛИ (логическая последовательность занятия и освобождения рельсовых цепей по маршруту не была нарушена И характер изменения уровня напряжения на входе путевого приемника (путевого реле) рельсовой цепи соответствует эталонному для смены состояний «занятое/свободное» или «свободное/занятое»), ТО подвижная единица проследовала по маршруту.

Последнее условие подразумевает следующее: если путевое реле в состоянии «включено», то напряжение должно быть в пределах, установленных в регулировочной таблице; если путевое реле в состоянии «выключено», то напряжение должно быть не выше установленного порогового уровня.

Логическая схема принятия решения «маршрут реализован» показана на рис. 2, где использованы следующие обозначения: 4, 5, 6 — номера продукционных правил, реализуемых соответствующим элементом; $t >$ — логическая операция сравнения моментов времени выполнения условий, на выходе элемента сигнал «1», если соответствующее условие выполняется (если условие по нижнему входу выполнено позже, чем по верхнему); МЗ — маршрут задан; СВ — светофор открыт; ОТ — отмена маршрута; РИ — искусственная разделка маршрута; ПЗ/ПО — последовательное занятие/последовательное освобождение рельсовых цепей; $U/U_{\text{ОСТ}}$ — напряжение/остаточное напряжение; ПЕ→ — подвижная единица проследовала по маршруту; Р — автоматическое размыкание маршрута; МР — маршрут реализован.

Последовательность занятия и освобождения рельсовых цепей по маршруту определяется с учетом того, на какой конец (ответвление) был наложен поездной шунт, по следующему алгоритму:

Шаг 1. Определяется (проверяется) последовательность занятия/освобождения рельсовых цепей по маршруту способом, который реализуется в конкретной системе централизации на станции, и проверяется соответствие последовательности заданному (установленному) маршруту.

Шаг 2. Определяются (проверяются) концы рельсовых цепей, на которые был наложен поездной шунт.

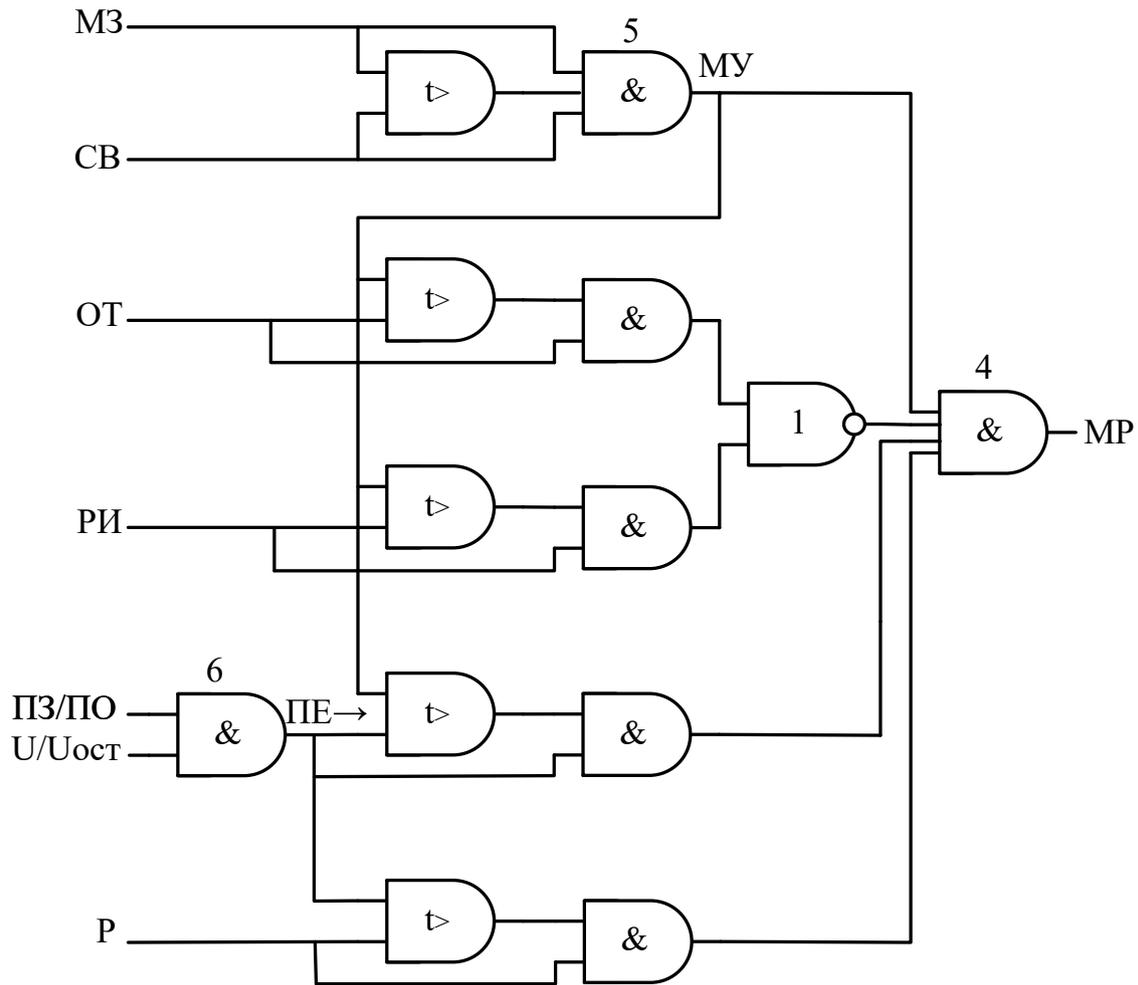


Рис. 2. Логическая схема принятия решения «маршрут реализован»

На шаге 1 используется один из известных способов контроля правильной последовательности занятия/освобождения рельсовых цепей в маршруте — контроль последовательности срабатывания путевых реле трех последовательно расположенных рельсовых цепей по трассе маршрута (в системах микропроцессорной и релейно-процессорной централизации) или контроль последовательности срабатывания маршрутных реле данной секции (в блочных и неблочных системах релейной централизации).

На шаге 2 используются производные правила, составленные с учетом количества путевых реле и наличия неконтролируемых ответвлений в схеме рельсовой цепи.

Правила принятия решений для разветвленной рельсовой цепи (несколько путевых реле):

ЕСЛИ все путевые реле в состоянии «выключено», ТО определить место наложения

поездного шунта следует в соответствии с установленным маршрутом.

ЕСЛИ одно путевое реле в состоянии «выключено», ТО поездной шунт наложен на соответствующий релейный конец.

ЕСЛИ (в состоянии «выключено» более одного путевых реле И одно из них соответствует релейному концу в установленном маршруте), ТО поездной шунт наложен на соответствующий релейный конец.

ЕСЛИ (хотя бы одно путевое реле в состоянии «выключено» И в соответствии с установленным маршрутом подвижная единица должна вступить на неконтролируемое ответвление), ТО поездной шунт наложен на соответствующее неконтролируемое ответвление.

Правила принятия решений для неразветвленной рельсовой цепи (с одним путевым реле):

ЕСЛИ (путевое реле в состоянии «выключено» И в соответствии с установленным

Таблица 1. **Определение конца рельсовой цепи, на который наложен поездной шунт (рельсовая цепь с двумя путевыми реле)**

Состояние путевых реле		Реализованный маршрут		
А	Б	$M_{ПК}$	$M_{РКА}$	$M_{РКБ}$
1	1			
0	1		ПШ _{РКА}	
1	0			ПШ _{РКБ}
0	0	ПШ _{ПК}	ПШ _{РКА}	ПШ _{РКБ}

Таблица 2. **Определение конца рельсовой цепи, на который наложен поездной шунт (рельсовая цепь с двумя путевыми реле и неконтролируемым ответвлением)**

Состояние путевых реле		Реализованный маршрут			
А	Б	$M_{ПК}$	$M_{РКА}$	$M_{РКБ}$	$M_{НКО}$
1	1				
0	1		ПШ _{РКА}		ПШ _{НКО}
1	0			ПШ _{РКБ}	ПШ _{НКО}
0	0	ПШ _{ПК}	ПШ _{РКА}	ПШ _{РКБ}	ПШ _{НКО}

Таблица 3. **Определение конца рельсовой цепи, на который наложен поездной шунт (рельсовая цепь с тремя путевыми реле и неконтролируемым ответвлением)**

Состояние путевых реле			Реализованный маршрут				
А	Б	В	$M_{ПК}$	$M_{РКА}$	$M_{РКБ}$	$M_{РКВ}$	$M_{НКО}$
1	1	1					
1	1	0				ПШ _{РКВ}	ПШ _{НКО}
1	0	1			ПШ _{РКБ}		ПШ _{НКО}
1	0	0			ПШ _{РКБ}	ПШ _{РКВ}	ПШ _{НКО}
0	1	1		ПШ _{РКА}			ПШ _{НКО}
0	1	0		ПШ _{РКА}		ПШ _{РКВ}	ПШ _{НКО}
0	0	1		ПШ _{РКА}	ПШ _{РКБ}		ПШ _{НКО}
0	0	0	ПШ _{ПК}	ПШ _{РКА}	ПШ _{РКБ}	ПШ _{РКВ}	ПШ _{НКО}

маршрутом подвижная единица должна вступить на питающий (релейный) конец), ТО поездной шунт наложен на соответствующий конец.

ЕСЛИ (путевое реле в состоянии «выключено» И в соответствии с установленным маршрутом подвижная единица должна вступить на неконтролируемое ответвление), ТО

поездной шунт наложен на неконтролируемое ответвление.

(В случае использования в системе централизации рельсовых цепей без путевых реле вместо состояния путевых реле проверяется изменение (уменьшение до порогового уровня или ниже) уровня напряжения на входах приемников.)

Правила принятия решений для различных схем рельсовых цепей представлены в виде табл. 1–3, где использованы следующие обозначения: M_{XX} — в реализованном маршруте подвижная единица должна вступить на конец XX рельсовой цепи; ПШ_{XX} — поездной шунт наложен на конец XX рельсовой цепи.

Таким образом, на основании непрерывного мониторинга реализованных маршрутов и значений диагностических параметров определяются рельсовые цепи, для которых проверку на шунтовую чувствительность можно считать выполненной в автоматическом режиме.

3. Алгоритм определения набора маршрутов, которые необходимо реализовать для выполнения в автоматическом режиме проверок рельсовых цепей на шунтовую чувствительность

Обобщенный алгоритм формирования множества работ, которые необходимо выполнить, и множества действий, которые необходимо реализовать для принятия решения о выполнении работ в автоматическом режиме, показан на рис. 3, где использованы следующие обозначения:

- M — полное множество работ;
- E — полное множество событий;
- A — полное множество действий;
- E_f — множество состоявшихся событий, $E_f \subset E$;
- M_{nf} — множество невыполненных работ, $M_{nf} \subset M$;
- A_{mbf} — множество действий, которые должны быть выполнены для выполнения всех работ из M_{nf} , $A_{mbf} \subset A$;
- t_r — регламентированное время — время, не позднее которого работа должна быть выполнена (определяется на основании установленной в технической документации периодичности выполнения работы);

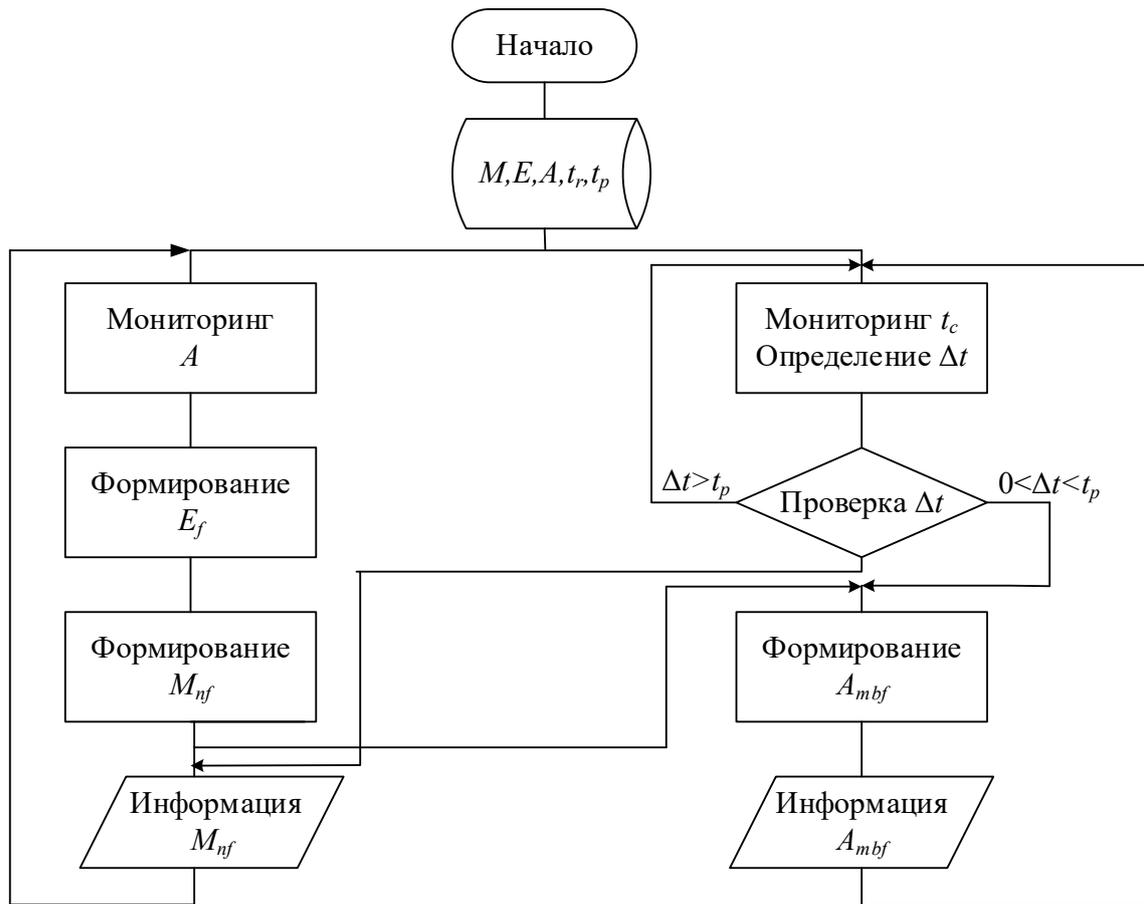


Рис. 3. Алгоритм формирования множества работ

t_p — превентивное время — время, предшествующее регламентированному времени с заданным запасом времени;

t_c — текущее время;

Δt — запас времени до момента t_r — разница между регламентированным и текущим временем.

Информация о множестве работ M_{nf} выдается эксплуатационному персоналу для оперативного планирования и непосредственного выполнения работ. Информация о множестве действий A_{mbf} выдается оперативному персоналу как рекомендация для организации движения поездов по станции. При этом должен быть определен минимальный набор действий $\min(A_{mbf})$, обеспечивающий выполнение всех работ из множества M_{nf}

В качестве примера рассмотрим алгоритм формирования набора $\min(A_{mbf})$ для фрагмента станции, показанного на рис. 1. На рис. 4 показан граф, вершины которого соответствуют событиям (крайние столбцы) и возможным действиям (средний столбец). Если в процессе

реализации действия a происходит событие e , то соответствующие вершины связаны между собой. Как видно, для рассматриваемого множества возможных действий не все события могут произойти, следовательно, не все работы из заданного множества могут быть выполнены.

Пусть в течение периода наблюдения были реализованы действия МППЧ, МП7АЧ, МО4ЧД, МОПЧД (здесь использованы следующие обозначения: МП — маршрут приема; МО — маршрут отправления; П, 7А, 4, ПП — номера путей; Ч и ЧД — соответственно секции ЧП и ЧДП, через которые проходит маршрут). Исходный граф для определения набора $\min(A_{mbf})$ показан на рис. 5 и получен путем удаления из полного графа (рис. 4) вершин, соответствующих событиям, которые считаются произошедшими при реализации четырех рассмотренных действий, а также вершин, соответствующих невыполнимым событиям. Вершины этого графа, расположенные в крайних столбцах, составляют множество невыполненных работ M_{nf}

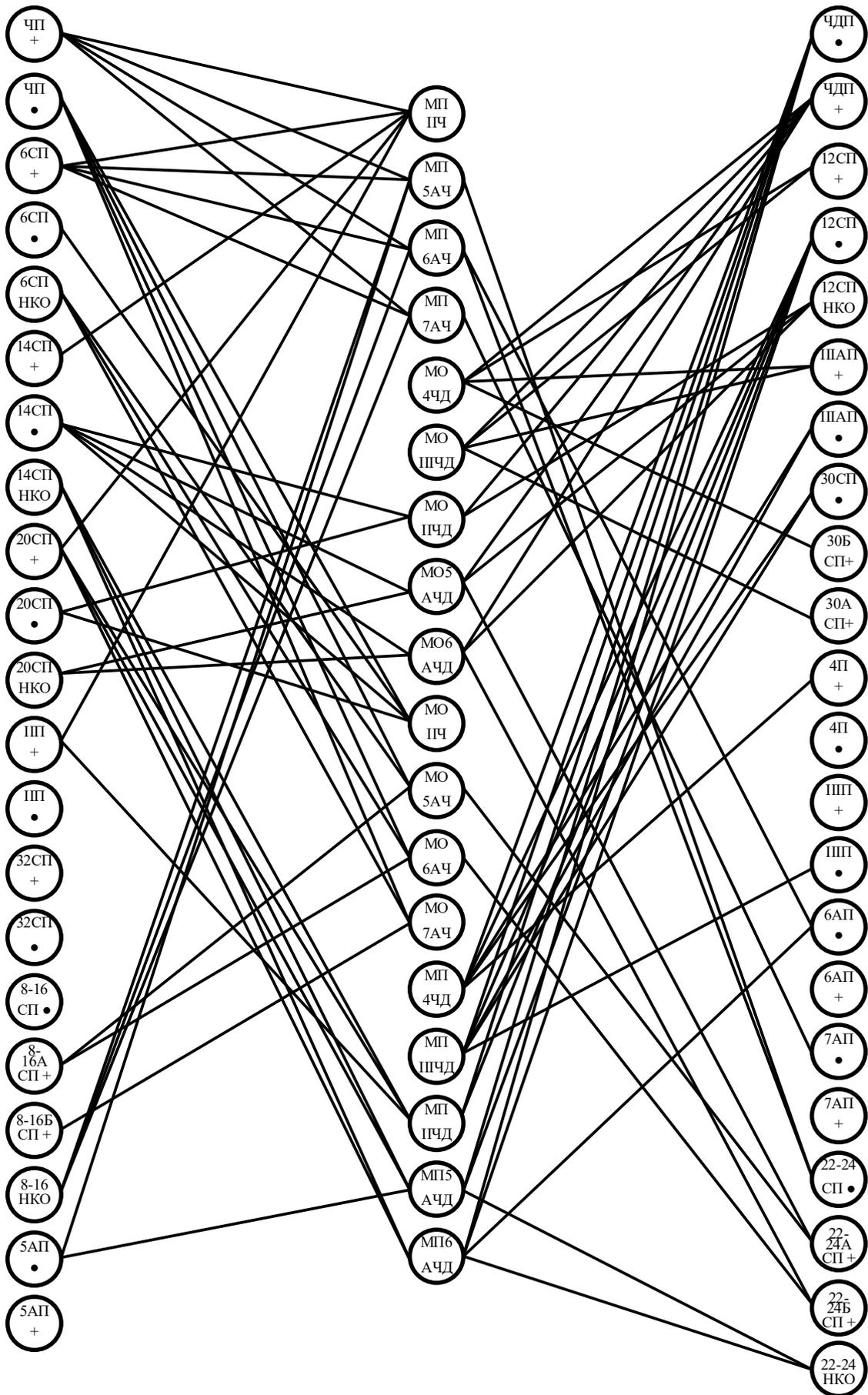


Рис. 4. Граф событий и действий (полный)

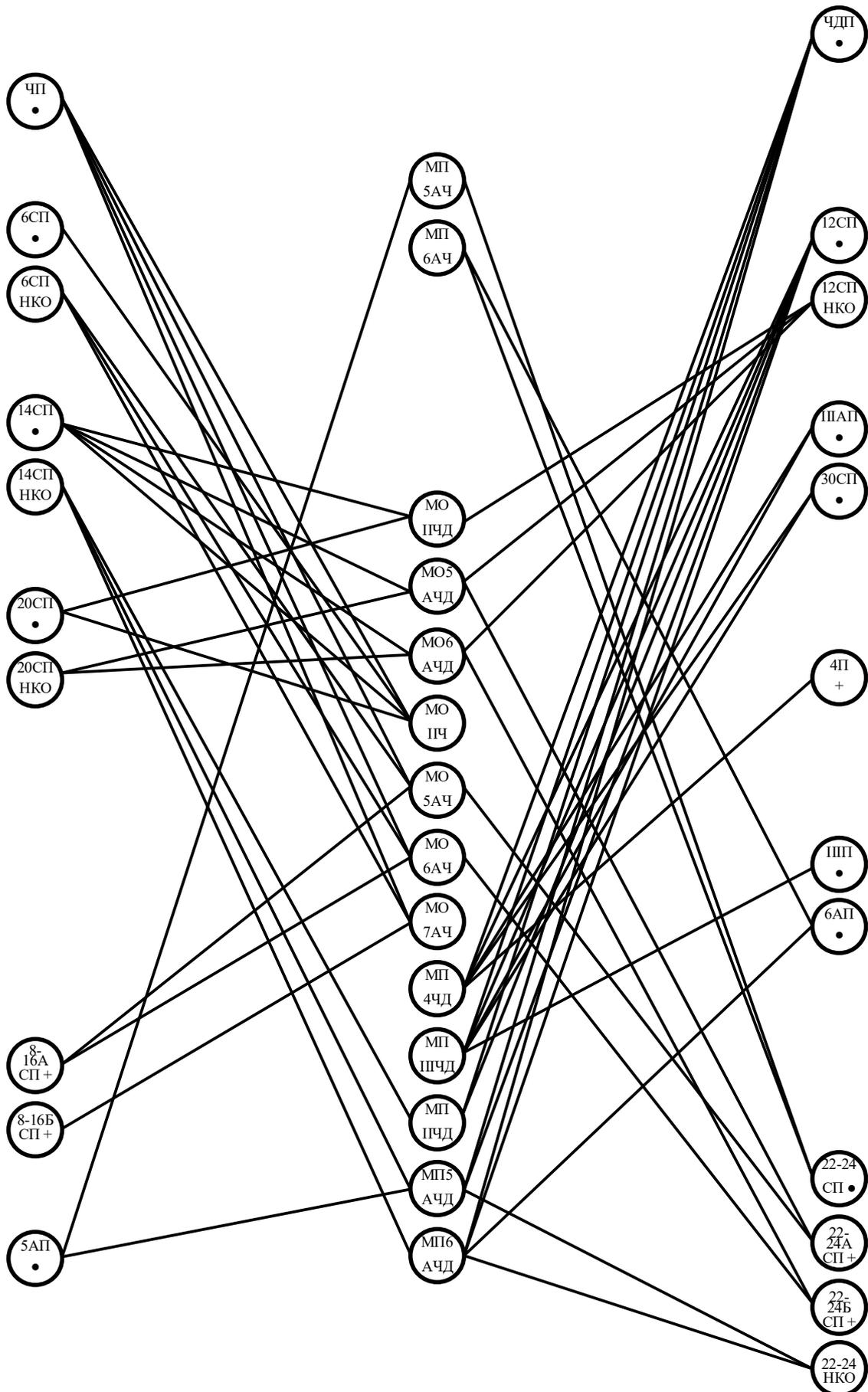


Рис. 5. Исходный граф для выбора минимального набора действий $\min(A_{mbp})$

Применяя описанный в [6] алгоритм определения минимального набора действий, обеспечивающего выполнение всех работ из множества M_{nf} на первом шаге выбираем события, каждое из которых связано только с одним действием, — 4П+, 3П, 6СП. На втором шаге выбираем действия, реализация которых необходима для выполнения этих событий, — МП4ЧД, МППЧД, МОПЧ. На третьем шаге выбираем события, связанные с этими действиями и не выбранные на шаге 1, — ЧП, 14СП, 20СП, ЧДП, 12СП, ШАП, 30СП. Исключая из графа вершины, выбранные на шагах 1 и 3, повторяем шаги 1–3 до тех пор, пока в графе не останется вершин, соответствующих событиям. В итоге получим $\min(A_{mbf}) = \{\text{МП4ЧД, МППЧД, МОПЧ, МО7АЧ, МО5АЧД, МО6АЧД, МП5АЧД, МП6АЧД, МП6АЧ, МО6АЧ}\}$.

Таким образом, на основании непрерывного мониторинга реализованных маршрутов определяется набор маршрутов, которые необходимо реализовать дополнительно для выполнения в автоматическом режиме проверок рельсовых цепей на шунтовую чувствительность.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. С целью сокращения трудозатрат на выполнение работ по проверке станционных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность предложено автоматизировать процесс на основе результатов логического контроля занятия рельсовых цепей подвижными единицами в ходе реализации маршрутов, установленных в системе централизации стрелок и светофоров, и результатов измерения значенных параметров рельсовых цепей при переходе из нормального режима в шунтовой и обратно. При этом проверка на шунтовую чувствительность будет считаться выполненной, а рельсовая цепь будет считаться исправной, если процесс реализован логически правильно и значения всех диагностических параметров находятся в пределах, установленных технической документацией.

2. Разработан алгоритм принятия решения о выполнении в автоматическом режиме

проверки рельсовой цепи на шунтовую чувствительность на основании непрерывного мониторинга реализованных маршрутов и смены состояний рельсовых цепей.

3. Разработан алгоритм определения набора маршрутов, которые необходимо реализовать для выполнения в автоматическом режиме заданного множества проверок рельсовых цепей на шунтовую чувствительность.

4. Интеграция разработанных алгоритмов принятия с известными алгоритмами логического контроля функционирования (контроль последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей) и технического состояния (измерение остаточного напряжения при шунтовом режиме рельсовой цепи) позволит расширить набор задач, решаемых в процессе автоматизации технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. ▲

Библиографический список

1. Брылеев А. М. Рельсовые цепи / А. М. Брылеев. — М.: Трансжелдориздат, 1939. — 312 с.
2. Якушев А. В. Изменение величины электрического сопротивления колесных пар вагонов метро с увеличением срока эксплуатации / А. В. Якушев, С. А. Фомин, Ю. В. Гомонец // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — Т. 15. — № 1. — С. 100–107.
3. Кравцов Ю. А. Вероятностная модель поездного шунта для легких подвижных единиц и отцепов / Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский, В. М. Баранников // Совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи: сборник научных трудов (Труды ДИИТ). — Днепропетровск: Днепропетровский ин-т инженеров ж.-д. трансп., 1990. — С. 24–29.
4. Кравцов Ю. А. Исследование сопротивления шунта для линии скоростного трамвая / Ю. А. Кравцов // Вопросы повышения надежности и эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Труды УЭМИИТ. Вып. 75. — Свердловск: Урал. электромеханический ин-т инженеров ж.-д. трансп., 1985. — С. 11–17.
5. Sun Sh. Research on Method for Calculation of Shunt Resistances of Track Circuits Using Electrical Contact Theory / Sh. Sun, H.-B. Zhao, D.-W. Chen et al. // Journal of the China Railway Society. — March 2014. — Vol. 36. — Iss. 3. — Pp. 31–36. — DOI: 10.3969/j.issn.1001-8361.2014.03.006.
6. Швалов Д. В. Сокращение ресурсозатрат при реализации планово-предупредительного технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики на основе цифровых моделей / Д. В. Швалов // Автоматика на транспорте. — 2022. — Т. 8. — № 2. — С. 178–187. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-178-187.
7. Бушуев С. В. Оценка экономической эффективности средств контроля свободности участков пути / С. В. Бушуев,

- А. Н. Попов, М. Л. Попова // Автоматика на транспорте. — 2019. — Т. 5. — № 2. — С. 202–220. — DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-202-220.
8. Сперанский Д. В. Задачи оптимизации ресурсов в области технической эксплуатации систем автоматики и телемеханики / Д. В. Сперанский, А. В. Горелик, А. В. Орлов // Автоматика на транспорте. — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 184–203. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-2-184-203.
 9. Dao C. Maintenance scheduling for railway tracks under limited possession time / C. Dao, R. Basten, A. Hartmann // Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. — 2018. — Iss. 144(8). — DOI: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000163>.
 10. Патент № 2628619 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Рельсовая цепь: № 2016119646: заявл. 20.05.2016; опубл. 21.08.2017 / В. Б. Жуматанова, Н. Н. Севостьянов, М. М. Соколов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения».
 11. Патент № 184692 U1 Российская Федерация, МПК В61L 23/16, В61L 1/18. Рельсовая цепь: № 2018121913: заявл. 13.06.2018; опубл. 06.11.2018 / С. А. Лунев, М. М. Соколов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения».
 12. Соколов М. М. Совершенствование технологии обслуживания станционных рельсовых цепей / М. М. Соколов // Известия Транссиба. — 2016. — № 3(27). — С. 124–131.
 13. А. с. 356185, МПК В61L 3/12. Устройство локомотивной сигнализации / В. Г. Дудин. № 1408291/18-24; приоритет изобретения 25.11.1970; опубл. 23.10.1972, Бюл. № 32.
 14. А. с. 564203, МПК В61L 25/06. Устройство для обнаружения потери шунтового эффекта на рельсовом транспортном средстве / А. И. Корабельщиков, Е. В. Орешкин, М. А. Певанер и др.; патентообладатель Проектно-конструкторское бюро Главного управления локомотивного хозяйства; приоритет изобретения 24.10.1975; опубл. 05.07.1977, Бюл. № 25.
 15. А. с. 852693, МПК В61L 25/06. Устройство контроля потери шунта на рельсовом транспортном средстве / С. Н. Белецкий, В. В. Петченко, Л. Н. Завгородний и др.; патентообладатели С. Н. Белецкий, В. В. Петченко, Л. Н. Завгородний, А. И. Абражаев; приоритет изобретения 22.01.1980; опубл. 07.08.1981, Бюл. № 29.
 16. Патент № SU 1025562 А Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Устройство для обнаружения потери шунтового эффекта в рельсовой цепи / А. В. Лыков, В. Б. Гуменников, А. М. Вербовик; патентообладатели Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта и Куйбышевская орден Ленина железная дорога; приоритет изобретения 24.02.1982; опубл. 30.06.1983, Бюл. № 24.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2023, Vol. 9, No. 1, pp. 19–32

DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-19-32

Decision-Making Algorithms for Automated Performance and Scheduling of Shunt Sensitivity Testing of Rail Circuits

Information about author

Shvalov D. V., PhD in Engineering, Associate Professor. E-mail: d_shvalov@mail.ru

Rostov State Transport University, «Railway Automation and Remote Control» Department, Rostov-on-Don

Abstract: The article considers the issues of practical application of the approach on performance automation and scheduling of works on the maintenance of railway automatics and remote controlling devices in the process of planned preventive maintenance realization which includes the analysis of known ways to automate railway circuit inspections on shunt sensitivity and shunt effect performance control in the process of finding a moving unit on a rail circuit. At present, topical problem is the reduction of labor costs on the maintenance of dispersed objects of automatics and remote control which to solve for, we propose to use algorithms providing for technological situation identification and determination of the many of works which will be considered automatically as accomplished as well as the many of ones which will be needed to be accomplished in due time. The essence of the proposed approach to automation of being considered processes is in the following: if in the process of rail circuit functioning in regular mode, the situation, that's analogous to the performance of work on shunt sensitivity testing (that's stipulated by work operation technology), is realized, then work is considered to be accomplished at the presence of means of reliable control for the values of rail circuit parameters.

Keywords: rail circuits; maintenance; maintenance planning; automated maintenance; shunting sensitivity of rail circuit; technical diagnostics and monitoring.

References

1. Bryleev A. M. *Relsovyje tsepi* [Track circuits]. M.: Transzheldorizdat Publ., 1939, 312 pp. (In Russian)
2. Yakushev A. V., Fomin S. A., Gomonets Yu. V. *Izmenenie velichiny elektricheskogo soprotivleniya kolesnykh par vagonov metro s uvelicheniem sroka eksploatatsii* [Changing electrical resistance value of subway car wheelsets with increasing operation period]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2018, vol. 15, Iss. 1, pp. 100–107. (In Russian)
3. Kravtsov Yu. A., Stepinkii B. M., Barannikov V. M. *Veroyatnostnaya model' poezdnoho shunta dlya legkikh podvizhnykh edinits i ottsefov. Sovershenstvovanie i povyshenie nadezhnosti zheleznodorozhnykh sistem avtomatiki, telemekhaniki i svyazi: sbornik nauchnykh trudov (Trudy DIIT)* [Probabilistic model of a train shunt for light moving units and cuts. Improvement and reliability of railway systems of automation, telemechanics and communication: collection of scientific papers (Proceedings of DIIT)]. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovskii in-t inzhenerov zh.-d. transp. Publ., 1990, pp. 24–29. (In Russian)
4. Kravtsov Yu. A. *Issledovanie soprotivleniya shunta dlya linii skorostnogo tramvaya [Shunt resistance study for a high-speed tram line. Voprosy povysheniya nadezhnosti i effektivnosti sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki: Trudy UEMIT* [Investigation of shunt resistance for a high-speed tram line. Issues of improving the reliability and efficiency of railway automation and telemechanics systems: Proceedings of UEMIT]. Sverdlovsk: Ural. elektromekhanicheskii in-t inzhenerov zh.-d. transp. Publ., 1985, Iss. 75, pp. 11–17. (In Russian)
5. Sun Sh., Zhao H.-B., Chen D.-W. et al. Research on Method for Calculation of Shunt Resistances of Track Circuits Using Electrical Contact Theory. *Journal of the China Railway Society*. March 2014, vol. 36, Iss. 3, pp. 31–36. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8361.2014.03.006.
6. Shvalov D. V. *Sokraschenie resursozatrata pri realizatsii planovo-predupreditel'nogo tahnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki na osnove tsifrovoyh modelei* [Reduction of resource costs when implementing preventive maintenance of

- railway automation devices based on digital models]. *Avtomatika na transporte* [Transport Automation Research]. 2022, vol. 8, Iss. 2, pp. 178–187. (In Russian)
7. Bushuev S. V., Popov A. N., Popova M. L. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti sredstv kontrolya svobodnosti uchastkov puti [Evaluation of the economic efficiency of track occupation monitoring means]. *Avtomatika na transporte* [Transport Automation Research]. 2019, vol. 5, Iss. 2, pp. 202–220. (In Russian)
 8. Speranskii D. V., Gorelik A. V., Orlov A. V. Zadachi optimizatsyi resursov v oblasti tekhnicheskoi ekspluatatsii sistem avtomatiki i telemekhaniki [Tasks of resource optimization in the field of technical operation of automation and telemechanics systems]. *Avtomatika na transporte* [Transport Automation Research]. 2020, vol. 6, Iss. 2, pp. 184–203. (In Russian)
 9. Dao C., Basten R., Hartmann A. Maintenance scheduling for railway tracks under limited possession time. *Journal of Transportation Engineering. Part A: Systems*. 2018, Iss. 144(8). DOI: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000163>.
 10. Zhumatanova V. B., Sevostianov N. N., Sokolov M. M., *Relsovaya tsep* [Track Circuit]. Patent RF, no. 2628619 C1, 2017. (In Russian)
 11. Lunev S. A., Sokolov M. M., *Relsovaya tsep* [Track Circuit]. Patent RF, no. 184692 U1, 2018. (In Russian)
 12. Sokolov M. M. Sovershenstvovanie tekhnologii obsluzhivaniya stantsionnykh relsovykh tsepei [Improving maintenance technology for station track circuits]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies]. 2016, Iss. 3 (27), pp. 124–131. (In Russian)
 13. Inventor's certificate of competence № 356185. B61L 3/12. Ustroistvo lokomotivnoi signalizatsii [Locomotive signalling device]. Author: Dudin V.G. Application № 1408291/18-24 (priority 25.11.1970); published on 23.10.1972, Bul. № 32. (In Russian)
 14. Korabelshchikov A. I., Oreshkin E. V., Pevaner M. A. et al. Inventor's certificate of competence № 564203. B61L 25/06. *Ustroistvo dlya obnaruzhenia poteri shuntovogo effekta na relsovom transportnom sredstve* [Device for detecting shunt loss on a rail vehicle]. Patent holder Design and Development Bureau of the Main Locomotive Department; patent priority 24.10.1975; published on 05.07.1977, Bul. № 25. (In Russian)
 15. Beletskii S. N., Petchenko V. V., Zavgorodnii L. N. et al. Inventor's certificate of competence № 852693. B61L 25/06. *Ustroistvo kontrolya poteri shunta na relsovom transportnom sredstve* [Shunt loss monitoring device for rail vehicles]. Patent holders S. N. Beletskii, V. V. Petchenko, L. N. Zavgorodnii et al.; patent priority 22.01.1980; published on 07.08.1981, Bul. № 29. (In Russian)
 16. Lykov A. V., Gumennikov V. B., Verbovik A. M., *Ustroistvo dlya obnaruzhenia poteri shuntovogo effekta v relsovoi tsepi* [A device for detecting the loss of the shunt effect in a rail circuit]. Patent RF, no.1025562 A, 1983. (In Russian)