

Применение беспилотных летательных аппаратов для сбора диагностических данных о напольных устройствах СЦБ



Д. В. Ефранов,
д-р техн. наук, профессор
Высшей школы транспор-
та Института машино-
строения, материалов
и транспорта Санкт-
Петербургского политех-
нического университета
Петра Великого (СПбПУ),
профессор кафедры авто-
матики, телемеханики
и связи на железнодо-
рожном транспорте
Российского университета
транспорта (МИИТ),
заместитель генерального
директора
по научно-исследователь-
ской работе ООО «На-
учно-исследовательский
и проектный институт
«Транспортной и строи-
тельной безопасности»,



Т. С. Погодина,
аспирант Высшей школы
транспорта
Института
машиностроения,
материалов
и транспорта СПбПУ

Один из путей совершенствования технологий получения данных о напольных устройствах сигнализации, централизации и блокировки на железнодорожном транспорте заключается в применении беспилотных летательных аппаратов. При этом важными аспектами решения задачи являются: обеспечение безопасного пролета беспилотника над инфраструктурой, безопасность самого полета, выбор траектории облета с учетом покрытия носимыми средствами сбора данных устройств СЦБ.

Существует два основных подхода к получению диагностической информации о напольных устройствах сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Первый заключается в получении информации силами электромонтеров и электромехаников в процессе технического обслуживания и ремонтов [1]. Второй способ основан на автоматизации измерений. Здесь есть два способа реализации: применение самодиагностируемых и самоконтролируемых устройств и использование внешних систем технического диагностирования и мониторинга [2].

Самодиагностируемые и самоконтролируемые устройства, как правило, входят в комплексы современных систем управления движением поездов на станциях и перегонах на микроэлектронной и микропроцессорной основах [3]. В составе широко распространенных систем управления релейного типа их практически нет [4]. Внешние системы технического диагностирования и мониторинга позволяют путем подключения измерительных контроллеров в отдельные узлы схемных решений СЦБ получать значения ряда электрических параметров.

Применение систем технического диагностирования и мониторинга позволяет снизить число измерительных процедур, проводимых специалистами дистанций СЦБ, а также автоматизировать некоторые из них, что совершенствует процесс эксплуатации устройств и систем обеспечения движения поездов [5–8].

Существует тенденция к постепенному переходу к обслуживанию устройств

СЦБ по фактическому состоянию, что непременно связано с автоматизацией измерительных процедур и использованием самопроверяемых микроэлектронных и микропроцессорных составляющих [9]. Однако ряд диагностических событий и процедур по обслуживанию устройств СЦБ просто невозможно автоматизировать применением только внешних средств диагностирования и самопроверяемых блоков и узлов.

К данным диагностическим событиям следует отнести следующие дефекты напольных объектов: повреждения обводных и приварных стыковых соединителей, дроссельных и джемперных перемычек, разрушения башмаков изоляции на стрелочных переводах, ненадлежащие состояния изолирующих стыков, развитие коррозии железобетонных опор и светофорных мачт, отсутствие заземлений, нарушение геометрии расположения объектов и, в частности, габаритов приближения строений, нарушение видимости, дефекты релейных шкафов, выкрашивание и разрушение металлических конструкций, отсутствие маркировок и пр. Контроль этих дефектов в современном хозяйстве автоматики и телемеханики возможен только с привлечением электромонтеров и электромехаников СЦБ.

Между тем в современном мире появляются новые интеллектуальные технологии, позволяющие автоматизировать процессы получения данных о труднодоступных объектах. К одной из них следует отнести применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [10].

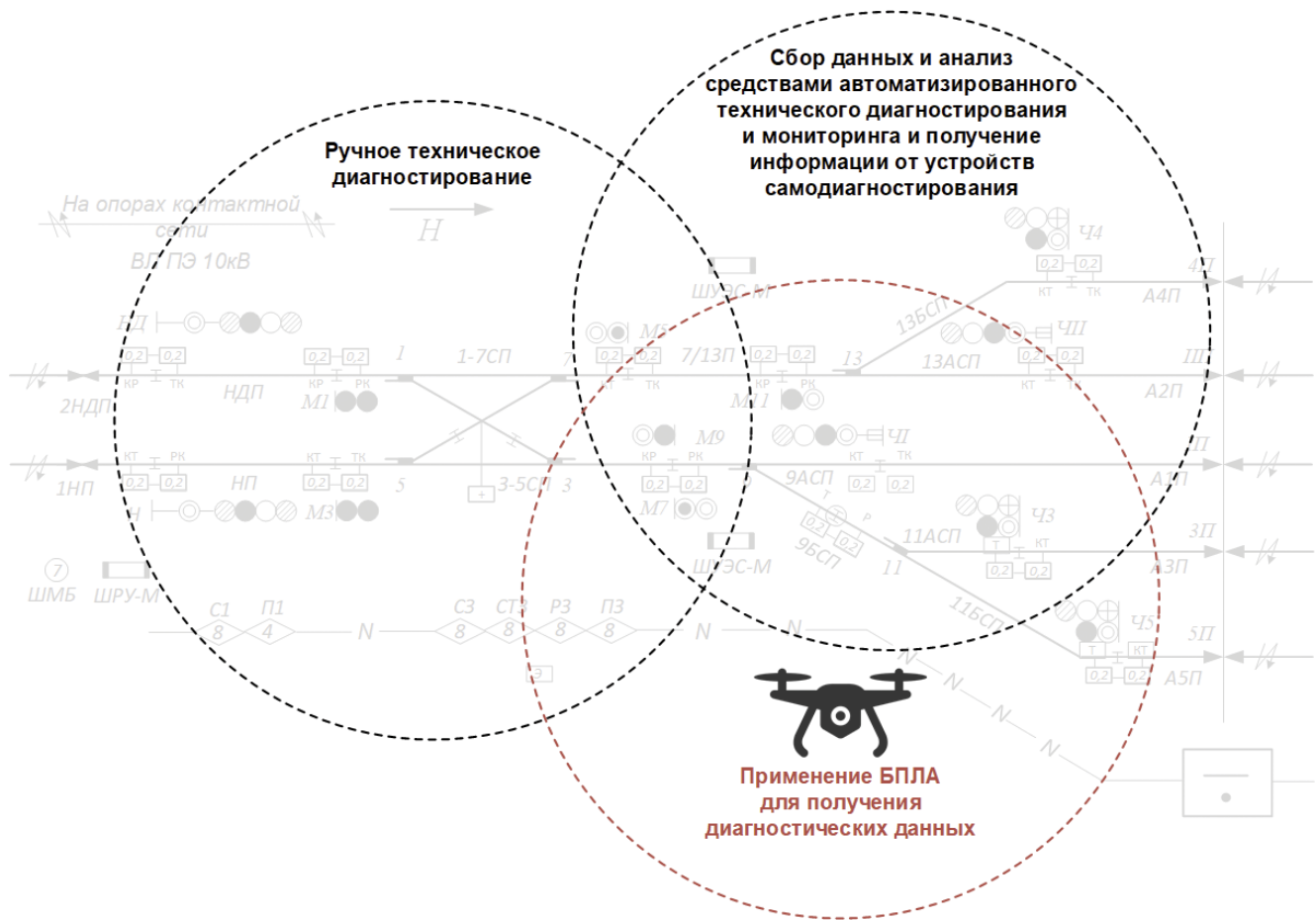


Рис. 1. Методы получения первичной диагностической информации о напольных устройствах СЦБ

С их помощью можно увеличивать полноту данных об устройствах СЦБ и получать большее количество диагностической информации об объектах, обеспечивающих безопасность перевозочного процесса, снижая тем самым человеческий фактор и повышая культуру труда и привлекательность подразделений железных дорог для молодых специалистов.

Особенности технологии сбора диагностической информации с применением БПЛА

На рис. 1 условно показаны два основных способа получения и анализа диагностической информации о напольных устройствах СЦБ. К ним добавлен еще один — применение БПЛА для сбора и анализа диагностической информации, который, по нашему мнению, является перспективным для отрасли, однако его внедрение в эксплуатацию сопряжено с рядом технологических особенностей.

Применение беспилотников в хозяйстве автоматики и телемеханики — это пока новая, неизученная технология, скептически принимаемая специалистами в силу слабо проработанных вопросов взаимодействия беспилотных устройств

с объектами критической инфраструктуры. Однако интерес к этой технологии будет только возрастать, поскольку с использованием БПЛА создаются возможности доступа к объектам железнодорожной инфраструктуры на значительном удалении и получения данных с безопасного расстояния. При этом должны быть исследованы теоретические подходы к реализации алгоритмов управления беспилотниками, взаимодействующими с объектами критической инфраструктуры. Полезными могут и должны оказаться наработки ученых в военной отрасли [11, 12].

При использовании БПЛА во взаимодействии с объектами железнодорожной инфраструктуры прежде всего следует учитывать все факторы и условия в сфере безопасности. В [13] подробно рассмотрены факторы риска и обсуждается вопрос устойчивости границ выделяемого для пролета беспилотника воздушного коридора. То есть следует определиться с так называемой зоной безопасного пролета БПЛА над инфраструктурой железной дороги таким образом, чтобы сам аппарат находился за пределами габарита приближения строений и размещения технических средств, обеспечивающих

движение поездов. Также летательный аппарат не должен негативно воздействовать на подвижной состав. Поэтому **концепция обеспечения безопасности** должна предусматривать правило: БПЛА ни при каких управляющих и мешающих воздействиях не должен иметь возможности столкновения с объектами инфраструктуры железных дорог, а также пересечения с путями следования подвижного состава за исключением случаев отсутствия последнего в зоне небезопасного расстояния.

Это можно сделать, выделив специальный коридор для проследования беспилотника без учета расписания движущихся поездов. Назовем его зоной безопасного пролета БПЛА, под которой понимается пространство, в котором аппарат не оказывает критического воздействия на объекты железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава ни при каких управляющих и мешающих воздействиях.

Сбор данных должен преимущественно вестись из данной зоны. Допускается ее покидание для сбора данных, например, о видимости сигналов в условиях отсутствия трафика поездов с готовно-

стью возвращения при наличии подвижного состава на опасном расстоянии. Такое расстояние l_s должно составлять не меньше расстояния, которое поезд с наибольшим допустимым весом пройдет с максимально разрешенной скоростью $v_{\max}$ на участке за время t_{UAV} , необходимое БПЛА для возвращения в зону безопасного пролета:

$$l_s \geq t_{UAV} v_{\max} \quad (1)$$

Беспилотный аппарат должен быть оснащен устройствами, способными детектировать движущийся поезд на расстоянии, не меньшем, чем l_s . Кроме того, он должен держать в собственной памяти то расстояние, которое ему необходимо преодолеть для входа в зону безопасного пролета.

На рис. 2 показан пример выделения зоны безопасного пролета БПЛА на двухпутном перегоне с учетом известных значений размеров габаритов приближения строений и заданных отклонений δ и ϵ .

Зону безопасного пролета БПЛА покидать не должен без особых распоряжений даже в условиях порывов ветра и аэродинамических нагрузок от движущихся поездов. Поэтому ограничения должны быть заложены в алгоритмы управления беспилотником и должны препятствовать его переходу через нижние горизонтальные и вертикальные границы. Проблема безопасного использования БПЛА является центральной в вопросе реализации технологии сбора данных об объектах железнодорожной инфраструктуры, и ее проработке должно быть посвящено не одно исследование.

Летательный аппарат должен быть оснащен полезной нагрузкой для получения диагностической информации о наземных устройствах СЦБ на расстоянии порядка 15–20 м с некоторым разбросом. При этом заранее должен быть опреде-

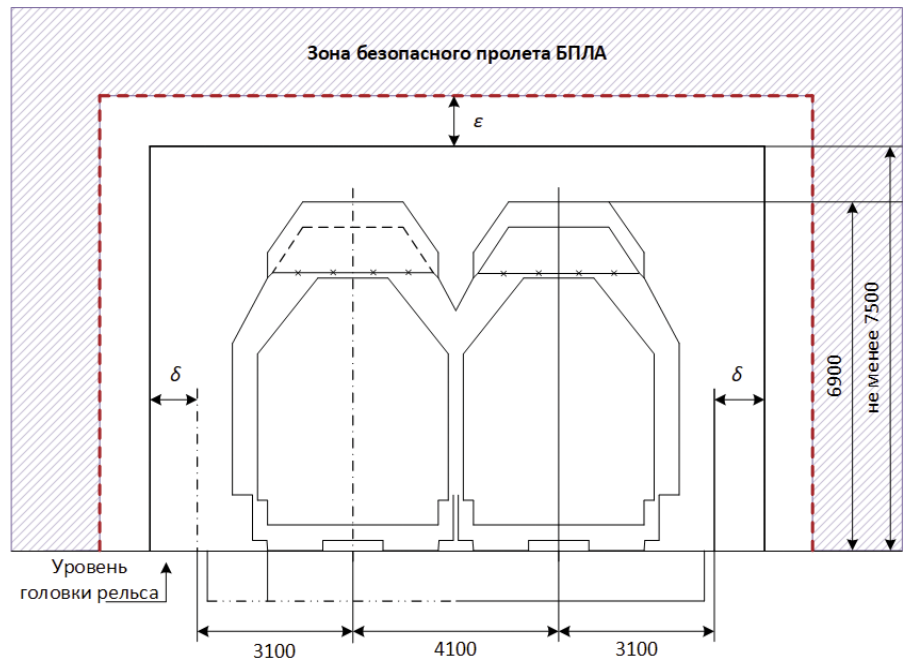


Рис. 2. Расположение зоны безопасного пролета БПЛА

лен маршрут пролета, охватывающий все расположенные вдоль железнодорожного полотна элементы СЦБ, для чего целесообразно использовать предварительно составленную и загружаемую в программные средства БПЛА электронную карту объектов.

Принципы определения маршрута пролета БПЛА над объектами железнодорожной инфраструктуры

Казалось бы, полет может быть осуществлен по любой траектории. С точки зрения обеспечения сбора диагностической информации от устройств СЦБ полет, обеспечивающий покрытие любого пространства, будет не оптимальным, поскольку не будет учитывать специфику расположения устройств, их физические и геометрические характеристики, а также состав диагностических параметров.

Выполним следующие действия. Во-первых, введем систему координат таким образом, чтобы ось Ox была перпендикулярна железнодорожному пути на прямом участке, ось Oy шла параллельно ему, а ось Oz была перпендикулярна плоскости xy . Плоскость xy выберем такой, чтобы она совпадала с нижней границей зоны безопасного пролета БПЛА, показанной на рис. 1. Во-вторых, выделим еще одну плоскость, располагаемую, например, на уровне подошвы рельса или нижней границы шпал на прямом участке и параллельную плоскости нижней границы безопасного пролета. Назовем ее плоскостью железнодорожного пути (рис. 3).

Устройства СЦБ располагаются над и под плоскостью пути. БПЛА собирает с них данные, благодаря размещению на нем диагностического оборудования. По сути, он сканирует объекты под пло-



Рис. 3. Плоскости нижней границы зоны безопасного пролета и железнодорожного пути

скостью нижней границы зоны безопасного пролета, а при необходимости (что оговаривается в алгоритмах управления) спускается для сбора данных, например, о видимости огней светофоров (рис. 4). Оборудование, размещаемое на беспилотнике, позволяет сканировать участок, располагаемый в окружности с определенным радиусом. Назовем его радиусом R охвата устройств СЦБ с использованием БПЛА.

Летательный аппарат должен собирать данные обо всех напольных устройствах СЦБ. Их места размещения с указанием ординат от оси станции показываются на схематическом плане в одно- или двухниточном исполнении. Например, на рис. 5 приведен одониточный схематический план произвольной промежуточной станции. На нем в условных обозначениях [14] показаны напольные устройства СЦБ: светофоры, стрелочные электроприводы, кабельные муфты, релейные и батарейные шкафы, путевые ящики и коробки, дроссель-трансформаторы, оборудование рельсовых цепей.

На схем-планах не показывают расположение путевых соединителей, перемычек, провода заземления, места расположения изоляционных башмаков для стрелочных гарнитур и прочие объекты, требующиеся для монтирования напольных устройств СЦБ. Тем не менее диагностические данные о них также требуется получать в процессе работы БПЛА.

Для формирования графа облета участка железной дороги требуется проанализировать схематический план участка (станции или перегона), получить

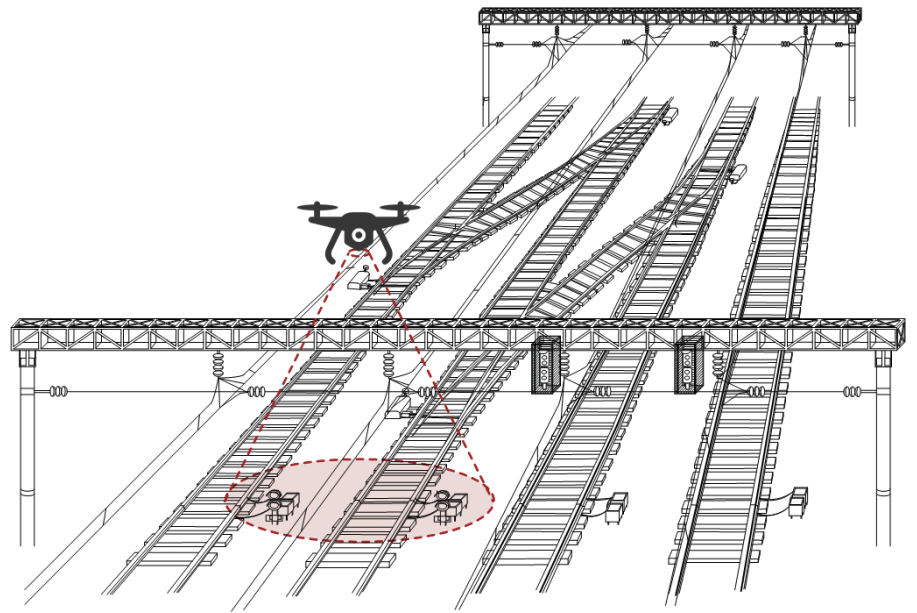


Рис. 4. Покрытие напольных устройств СЦБ устройствами съема диагностической информации с БПЛА

данные о точном расположении объектов СЦБ, а также сформировать маршрут облета. Математической моделью маршрута будет являться граф облета, вершины которого имеют привязку к объектам устройств СЦБ. При этом сам граф, если движение БПЛА осуществляется исключительно в зоне безопасного пролета, может быть так называемым плоским графом. Для этого требуется получить проекцию устройств СЦБ на плоскость нижней границы зоны безопасного пролета (рис. 3).

Введем два типа вершин на графе облета. Основные вершины будут соответствовать устройствам СЦБ, отмеченным на схематическом плане станции или перегона; дополнительные — элементам

рельсовых цепей, соединителей и перемычек, изоляционным элементам, не указываемым на схематическом плане. К примеру, для схематического плана, приведенного на рис. 5, при выделении основных и дополнительных вершин получится схема, представленная на рис. 6.

Учитывая то, что оборудование, размещаемое на БПЛА, позволяет из одной точки облета получать данные не об одном устройстве СЦБ, а о группе, введем еще одно понятие. Назовем скоплением вершин первичного графа область на схематическом плане станции в одониточном исполнении, в которой расположение устройств СЦБ имеет высокую плотность. Далее для формирования маршрута облета требуется

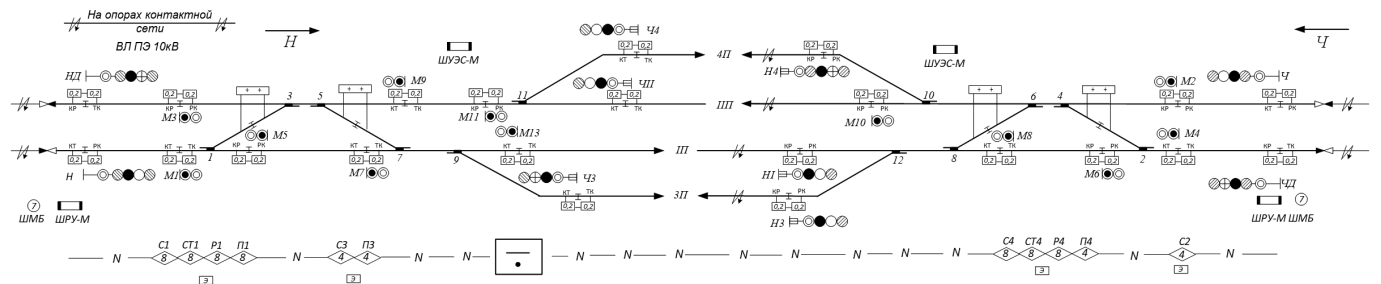


Рис. 5. Одониточный схем-план произвольной промежуточной станции

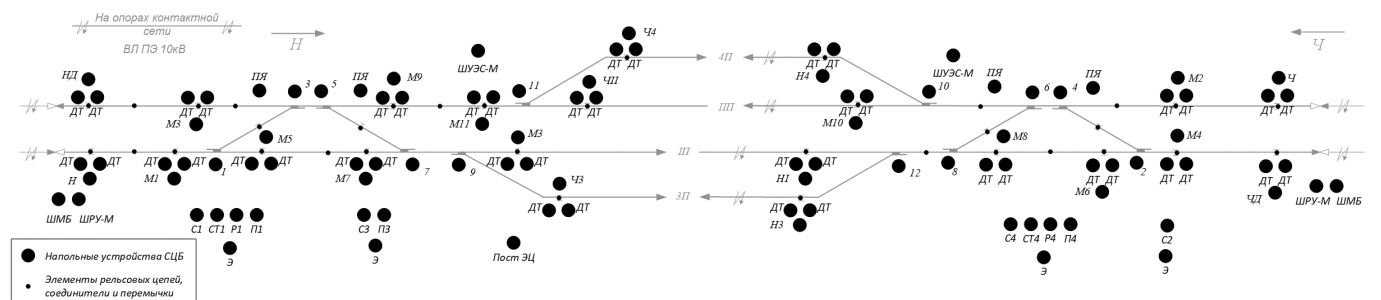


Рис. 6. Условное расположение вершин плоского графа

осуществить покрытие плоской фигуры, образованной границами размещения вершин первичного графа, окружностями с радиусами $r \leq R$. Подобная задача решалась, например, в [15].

Покрытие может выглядеть следующим образом (рис. 7). Маршрут облета может быть построен по графу, вершины которого располагаются в центрах окружностей, покрывающих участок пути. Из каждой такой вершины в каждую направлено ребро. Таким образом, получен полный граф.

На практике большую часть ребер можно из графа удалить, определив принцип облета — будет ли беспилотник следовать в ту же самую точку, с которой начинается свой путь, или же он останется до выполнения задания в какой-то удаленной точке (например, при использовании БПЛА совместно с транспортом эксплуатационного персонала). Каждому ребру приписывается вес, равный расстоянию между вершинами-центрами окружностей в покрытии. Заведомо удаленные друг от друга на большое расстояние вершины соединять ребрами не следует. Далее уже формируется граф облета участка железной дороги. На *рис. 8* показан пример выделения графа облета при запуске БПЛА из точки А, соответствующей расположению поста электрической централизации (ЭЦ) стрелок и сигналов.

Алгоритм 1. Правила формирования маршрута облета наземных устройств СЦБ без нарушения зоны безопасного пролета:

1. На основе схематического плана станции в однониточном или двухниточном исполнении формируется множество основных вершин первичного графа облета станции или перегона.

2. На основании обследования определяются места расположения дополнительных вершин первичного графа облета.

3. Выполняется покрытие скоплений вершин первичного графа облета наименьшим числом окружностей с радиусами $r \leq R$.

4. В центрах окружностей покрытия формируются вершины модифицированного графа облета.

5. Вершины модифицированного графа облета соединяются ребрами.

6. С учетом известных ординат объектов СЦБ, расположения элементов рельсовых цепей, соединителей и перемычек, а также изоляционных устройств определяются расстояния между вершинами графа облета — веса ребер.

7. Исходя из топологии станции определяется способ облета (облет из одной горловины в другую без возврата/с возвратом, облет каждой горловины отдельно с вылетом с поста ЭЦ/с центральной оси станции с возвратом/без возврата в исходную точку и пр.).

8. Исходя из выбранного способа облета, из графа удаляются или не вводятся ребра с заведомо увеличенными весами.

9. Определяется оптимальный маршрут облета.

На *рис. 8* изображен выделенный граф облета для четной горловины станции, по которому строится маршрут в зоне безопасного пролета БПЛА. Полагается, что он запускается на посту ЭЦ и сам туда же возвращается по окончании работ.

Иначе будет выглядеть граф облета, который формируется с другими условиями выполнения сбора диагностической информации. Например, если требуется покинуть зону безопасного пролета для выполнения измерений о видимости сигналов и целостности линзовых комплектов светофоров. В этом случае плоский граф модифицируется.

Алгоритм 2. Правила формирования маршрута облета наземных устройств СЦБ с нарушением зоны безопасного пролета:

1. На основании алгоритма 1 строится граф облета устройств в зоне безопасного пролета как граф в плоскости, параллельной плоскости расположения железнодорожных путей в прямых участках.

2. Определяются места и высоты расположения элементов напольных устройств СЦБ: $h_i, i=\overline{1, n}$, где n — число обследуемых объектов.

3. Вычисляются величины:

$$g_i = g_{IIIV} - h_i, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где g_{UAV} – высота полета БПЛА над плоскостью нижней границы зоны безопасного пролета.

4. Граф, расположенный в плоскости, модифицируется и расширяется, куда добавляются вершины с указанием вели-

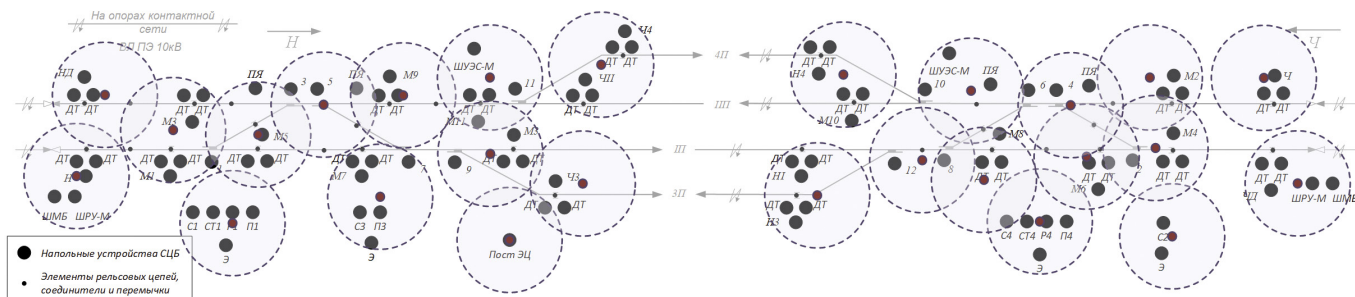


Рис. 7. Покрывание скоплений вершин первичного графа окружностями

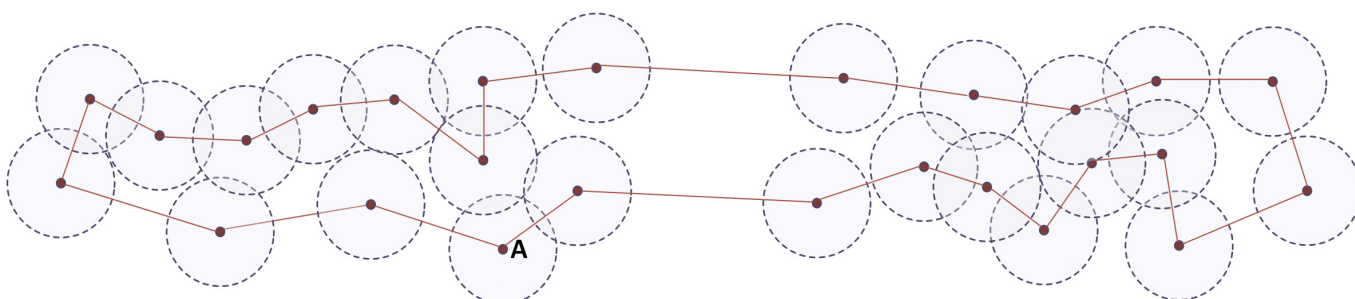


Рис. 8. Граф облета БПЛА объектов промежуточной станции

Таблица. Основные неисправные состояния напольных устройств СЦБ, различимые с БПЛА

Напольные устройства СЦБ	Дефекты, различимые с БПЛА
Светофоры и маршрутные указатели	Незакрытые корпуса головок светофоров, покрытие ржавчиной; ненормативное состояние головки снаружи; неисправности козырьков; отсутствие колпаков на металлических мачтах; смещение головки относительно кронштейнов и мачты; загрязнения линз; отсутствие маркировки; нарушения габаритов установки; перекосы и ненормативные вибрационные воздействия; близость расположения к контактному проводу и пр.
Стрелочные электроприводы	Нарушения изоляции гарнитуры, серег остряков, стяжных полос и распорок стрелочных переводов; отсутствие маркировки; нарушения в расположении; изгибания остряков; наличие снежного покрова на приводе; дефекты крышки привода; нарушения в соединениях муфты и привода; отсутствие вешки; отсутствие маркировки и пр.
Дроссель-трансформаторы	Отключена от рельса хотя бы одна перемычка; износ изоляции; открыта крышка корпуса (отсутствуют болты); отсутствует скоба; отсутствует окраска перемычек дроссель-трансформатора для исключения закорачивания их при набросе проволоки; износ дроссельных перемычек и соединителей; нарушение изоляции перемычек и соединителей; нарушения в расположении; отсутствие маркировки и пр.
Устройства переездной автоматизации	Повреждения заградительного бруса автошлагбаума; нарушения конструкций; изломы деталей; дефекты щитков переездной автоматизации и пр.
Изолирующие стыки	Отсутствие зазора между подошвой рельса и верхним слоем балласта; загрязнения балласта солями и токопроводящими грузами; загрязнения водоотводов от напольных устройств СЦБ; нарушение целостности прокладок изолирующих стыков; отсутствие окраски; наличие условий образования металлической стружки и пр.
Трансформаторные ящики, путевые коробки, кабельные муфты, релейные шкафы, шкафы управления электрооборудованием и пр.	Открытие крышек ящиков и коробок или дверей шкафов; нарушения геометрических параметров расположения (наклоны и перекосы); наличие ржавчины; трещины, сколы и выбоины на корпусах и крышках; излом или выкрашивание крышки или корпуса; износ перемычек и соединителей; отсутствие вешки, маркировки и пр.
Рельсовые соединения	Отсутствие приварных или обводных соединителей; износ приварных или обводных соединителей и пр.
Верхнее строение пути	Значительные загрязнения балласта удобрениями и нефтепродуктами

упрощать процедуры технического обслуживания по некоторым видам регламентных работ (естественно, с четко определенной последовательностью действий при обеспечении абсолютной безопасности движения поездов). В той или иной мере часть действий по обслуживанию может быть произведена с использованием БПЛА для следующих видов работ:

- проверка с пути видимости сигнальных огней зеленых светящихся полос и световых указателей светофоров с лампами накаливания, а также светофоров со светодиодными светоптичными системами;

- проверка видимости пригласительного огня;

- проверка видимости огней светофоров по главным путям с уровня локомотива;

- проверка горения ламп и светодиодных светоптичных систем светофоров при аварийном питании (по постоянному току);

- проверка для двухпутных и многопутных перегонов реализации и контроля исполнения функции смены направления автоблокировки (основным и вспомогательным режимом);

- проверка состояния электроприводов, стрелочных гарнитур, внешних замыкателей, фиксаторов положения подвижного сердечника крестовины, колесосбрасывающего башмака на-ружным осмотром, а также плотности прилегания остряка к рамному рельсу и подвижного сердечника крестовины к усовику на стрелках, перевод которых исключен;

- проверка состояния рабочей тяги подвижного сердечника крестовины на выявление усталостных трещин (кроме рабочих тяг крестовин с внешним замыкателем);

- проверка на станции состояния изолирующих элементов рельсовых цепей, стыковых соединителей и перемычек;

- проверка видимости огней заградительных и переездных светофоров при питании переменным и постоянным током;

- проверка невозможности открытия шлагбаума кнопкой аварийного открытия при включенной заградительной сигнализации без выдержки времени;

- проверка действия заградительной сигнализации на входных, выходных, маршрутных, проходных и маневровых светофорах, применяемых в качестве заградительных (проверяется один светофор на группу);

- проверка состояния и действия автоматики на пешеходных переходах, проверка видимости огней светофоров для пешеходов, исправности работы звуковых сигналов;

- внешний осмотр воздушной сигнальной линии;

- проверка состояния кабельных ящиков;

- участие в осмотре пересечений воздушных линий электропередачи с воздушными линиями СЦБ, проводимом работниками дистанции электро-снабжения;

- проверка состояния надземной части железобетонных конструкций;

- проверка действия тоннельной (мостовой) сигнализации;

- проверка действия заградительной сигнализации и видимости огней заградительных светофоров;

- проверка состояния несущей конструкции и контрольного устройства контрольно-габаритных устройств;

- внешний осмотр путевых ящиков, содержащих напольное оборудование систем счета осей.

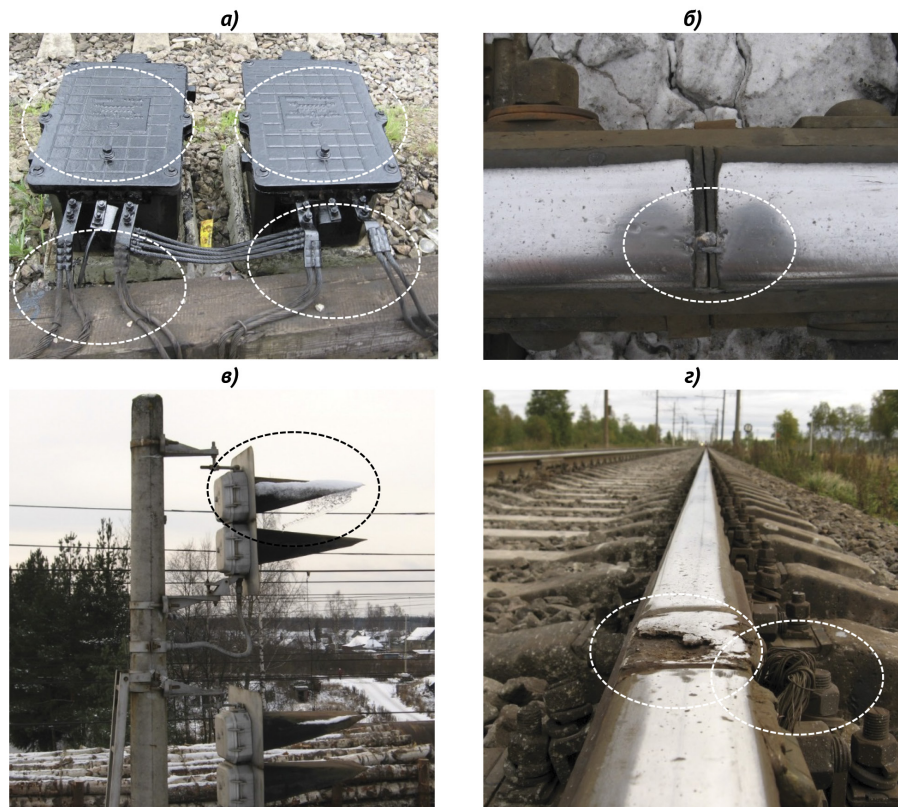


Рис. 10. Некоторые дефекты устройств и элементов напольной автоматизации: а — приведены два дроссель-трансформатора, у которых нет маркировки, отсутствуют вешки, не окрашены дроссельные перемычки; б — приведена окалина на изолирующем стыке; в — приведен козырек светофора, с которого свисает лед, перекрывая показание сигнала; г — скол на рельсе и повреждение стыкового соединителя

Немаловажным будет использование БПЛА в задачах проверки наличия и корректности маркировки напольного технологического оборудования СЦБ, включая наличие вешек, литерных табличек светофоров, приводов и пр., а также в задачах проверки своевременности выполнения работ эксплуатационным персоналом. Это, в свою очередь, открывает пути к учету остаточного ресурса напольных устройств СЦБ для прогнозирования сроков их эксплуатации и замен оборудования.

Для автоматизации проверки своевременности выполнения работ по обслуживанию ряд объектов СЦБ требуется оборудовать радиотехническими метками (RFID-метками) промышленного исполнения, в которые записываются физические данные об объекте, историческая информация эксплуатации, выполняемые работы по обслуживанию и др. Такие метки должны быть пассивными перезаписываемыми (типа RW), функционирующими в ультравысоком диапазоне частот для возможности дальнейшей идентификации. Данные в метки должны перезаписываться эксплуатирующим персоналом по завершению плановых работ по обслуживанию. Отметим, что не все объекты СЦБ

должны оснащаться метками, а только основные, к которым можно отнести крупногабаритные объекты, указываемые на схематическом плане станции (светофоры, стрелочные приводы, кабельные муфты, путевые коробки, дроссель-трансформаторы, релейные и батарейные шкафы и пр.).

В этом случае маршрут пролета БПЛА над объектами инфраструктуры должен обязательно включать возможность сбора данных в заранее установленных точках расположения RFID-меток (по аналогии с тем, как это сделано в [17], но с учетом специфики расположения объектов СЦБ и возможности сближения с ними в условиях ограничений на безопасность полета).

Заключение

В ходе исследований применения БПЛА для решения задач совершенствования эксплуатации напольных устройств СЦБ возникает множество важных задач:

- анализ условий эксплуатации напольных устройств СЦБ, а также методов их обслуживания и мониторинга;
- разработка технических требований к летательным аппаратам, используемым в задачах обследования объек-

тов железнодорожной инфраструктуры;

- установление условий безопасной эксплуатации БПЛА;
- анализ импортозамещающих технологий для полезной нагрузки, обеспечивающей мониторинг напольных устройств;
- комплектация БПЛА для решаемых задач;
- разработка архитектуры системы информационного сопряжения со стационарными средствами мониторинга объектов СЦБ через безопасную платформу аналитики данных;
- технико-экономическая оценка предлагаемых решений;
- разработка плана мероприятий по внедрению предложений на реальных объектах железнодорожной инфраструктуры.

Решение этих и сопутствующих задач будет способствовать развитию беспилотных технологий в отрасли железнодорожной автоматики и совершенствованию методов эксплуатации устройств и систем обеспечения безопасности движения поездов. Кроме того, применение БПЛА актуально и для других инженерных объектов железных дорог, в том числе интересными представляются вопросы экологического мониторинга с использованием БПЛА (как пример можно рассмотреть решение из [18]). Более того, беспилотные технологии могут повлиять на процесс более тесной интеграции систем управления движением поездов и мониторинга железнодорожной инфраструктуры [19–23].

Отметим в заключение, что технико-экономический эффект при использовании БПЛА достигается за счет совершенствования уровня автоматизации производства работ по обслуживанию устройств СЦБ, высвобождения части сотрудников дистанций СЦБ от выполнения ряда работ (в том числе связанных с продолжительным временем следования к объектам эксплуатации), с улучшением показателей организационного и технического уровней производства.

В зависимости от объекта внедрения предлагаемой технологии можно добиться различного эффекта в части как трансформации процессов эксплуатации объектов СЦБ, так и снижения рисков нарушения графика движения поездов и минимизации подобных случаев за счет автоматизации учета деградационных процессов напольных объектов СЦБ.

Наиболее эффективной, по мнению авторов, предлагаемая технология будет на станциях с числом стрелок более 10, и чем выше оснащенность участка средствами СЦБ, тем выше будет и эффект от использования представленной технологии. Сроки окупаемости предварительно оцениваются 2–3 годами после внедрения в эксплуатацию в расчете на примерную станцию около 30 централизованных стрелок на электрифицированном двухпутном участке железнодорожной линии.

Использование современных беспилотных технологий в решении задач эксплуатации железнодорожного комплекса крайне актуально, и, как показывает анализ, позволяет создавать реальные предпосылки к повышению показателей отказоустойчивости и безопасности не только устройств СЦБ, но и всей транспортной системы, что крайне важно для повышения скоростей перемещения объектов в ней и комфортности самих пользователей. 

Источники

- Сапожников Вл. В., Борисенко Л. И., Прокофьев А. А., Каменев А. И. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики / под ред. Вл. В. Сапожникова. М.: Маршрут, 2003. 336 с.
- Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 171 с.
- Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Христов Х. А., Гавзов Д. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / под ред. Вл. В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1995. 272 с.
- Сапожников Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. М.: Наука, 2021. 229 с.
- Лыков А. А., Богданов Н. А. Обнаружение и предотвращение неисправностей в ТРЦ // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 10. С. 17–20.
- Ефанов Д. В., Богданов Н. А. Автоматизация контроля на стрелках // Мир транспорта. 2011. Т. 9. № 2. С. 54–59.
- Asada T. Novel Condition Monitoring Techniques Applied to Improve the Dependability of Railway Point Machines // University of Birmingham, UK, Ph. D. thesis, May 2013, 149 p.
- Heidmann L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Main-

- tenance // Signal+Draht. 2018. Iss. 9. Pp. 70–75.
- Богданов Н. А. Внедрение автоматизированной технологии контроля параметров устройств сигнализации, централизации и блокировки с применением систем технического диагностирования и мониторинга // Бюллетень результатов научных исследований. 2014. № 2 (11). С. 20–29.
- Lesiak P. Inspection and Maintenance of Railway Infrastructure with the Use of Unmanned Aerial Vehicles // Problemy Kolejnictwa Railway Report. 2020. Iss. 188. Pp. 115–127. DOI: 10.36137/1883E.
- Микони С. В., Семёнов С. С. Оценка рейтинга разведательно-ударных и ударных беспилотных летательных аппаратов // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2021. № 6. С. 28–40.
- Микони С. В., Полтавский А. В., Семёнов С. С. Методология проектирования модели многомерного оценивания привязных высотных платформ на базе мультикоптеров // Надежность. 2022. Т. 22. № 2. С. 55–63. DOI: 10.21683/1729-2646-2022-22-2-55-63.
- Швецова С. В., Швецов А. В. Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. 2020. Т. 18. № 3 (88). С. 174–188. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-174-188.
- Сапожников В. В., Кокурин И. М., Кононов В. А. и др. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2006. 247 с.
- Лебедев П. Д., Казаков А. Л. Построение оптимальных покрытий выпуклых плоских фигур кругами различного радиуса // Труды института математики и механики УрО РАН. 2019. Т. 25. № 2. С. 137–148. DOI: 10.21538/0134-4889-2019-25-2-137-148.
- Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учеб. пособие / под ред. Вл. В. Сапожникова. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. 318 с.
- Wang J., Schluntz E., Otis B. A New Vision for Smart Objects and the Internet of Things: Mobile Robots and

- Long-Range UHF RFID Sensor Tags // arXiv:1507.02373. 2015. DOI: 10.48550/arXiv.1507.02373.
- Вытовтов К. А., Барабанова Е. А., Новоцадова А. В., Гладких Т. Я. Идентификация нефтяных загрязнений водной поверхности с использованием БПЛА // Автоматизация в промышленности. 2024. № 6. С. 52–56. DOI: 10.25728/avtprom.2024.06.07.
- Efanov D., Osadchy G., Aganov I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring // Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), September 22–25, 2021, Cracow, Poland. 2021. Vol. 1. Pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985.
- Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
- Efanov D. V., Khóroshev V. V., Osadchy G. V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways // Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), May 15–19, 2023, Sochi, Russia. 2023. Pp. 634–638. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.
- Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Технологии увязки систем мониторинга искусственных сооружений железных дорог с системами управления движением поездов // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов», посвященной 70-летию БелИИЖТа БелГУТа, 16–17 ноября 2023 г. Гомель: БелГУТ, 2023. в 2 ч. Ч. 1. С. 210–211.
- Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Управление надёжностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 84–94. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.