

данного класса. Отметим, что программа рассматривает только те типы вагонов, которые имеются в схеме данного поезда, и выстраивает иерархию по ним.

В случае, если суммарное количество пассажиров в вагоне последнего класса (в различных поездах они могут быть разными в зависимости от схемы составов) не удовлетворяет требованиям включения в состав вагона данного типа, программа единожды переводит данное количество пассажиров в вагон классом выше. Если же и в этом случае пороговые значения прогнозной населенности не удовлетворяют условиям включения дополнительного вагона данного типа, то данное количество пассажиров более программой не рассматривается.

В завершении программа выдает схему состава поезда в формате: $C_{л}, C_{к}, C_{п}, C_{о}$. Затем производится расчет показателя на-

селенности вагона – коэффициента использования вместимости по типам вагонов и по составу в целом.

По результатам, выдаваемым ПК ОРС-ПВ, принимаются решения по оптимизации схем составов пассажирских поездов.

Заключение

Таким образом, оперативное регулирование схемы (структуры состава) отправляемого в рейс поезда при использовании данных ПК ОРС-ПВ, приведет к повышению эффективности использования парка подвижного состава АО «Пассажирские перевозки», снижению затрат и повышению доходности перевозок, а также максимальному удовлетворению спроса населения на пассажирские перевозки.

УДК 656.25:004.942

С. В. Бочкарев, А. А. Лыков

Петербургский государственный университет путей сообщения

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассмотрен метод определения технического и технологического состояния, обнаружения отказов и фиксации предотказных состояний систем железнодорожной автоматики и телемеханики, основанный на анализе осциллограмм непрерывно контролируемых параметров. Предложены набор диагностических признаков, позволяющий различать эти состояния, способ их различения, алгоритм автоматического определения технического состояния системы в процессе функционирования.

техническое диагностирование, система поддержки принятия решений, техническое состояние, обнаружение отказов, предотказное состояние.

Введение

В инфраструктуре железных дорог особое место занимают системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), поскольку эффективность перевозочного процесса непосредственно связана с их работой.

Отказы СЖАТ могут серьезно влиять на безопасность движения, проявления их многообразны – от задержек и простоев поездов до аварий и крушений. Внедрение новых надежных СЖАТ с высоким уровнем безопасности и безотказности сопровождается большими капитальными и временными

затратами, это вопрос перспективного развития инфраструктуры железных дорог. В настоящий момент повсеместно работающие СЖАТ находятся в эксплуатации длительное время. Поэтому остро встают вопросы необходимости обеспечения надежной работы существующих СЖАТ, более быстрого устранения и предотвращения отказов, повышения качества технического обслуживания.

В настоящее время при обслуживании СЖАТ применяется планово-предупредительный (регламентный) способ, при котором объем и периодичность работ не зависят от фактического технического состояния (ТС) устройств. По экспериментальной оценке при данном методе обслуживания до 80 % рабочего времени сотрудников дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) занимают плановые мероприятия, в которых зачастую нет необходимости, поскольку устройства находятся в исправном состоянии. Более того, при регламентном обслуживании в действующие устройства могут вноситься повреждения, которые при дальнейшей эксплуатации вызывают до 50 % случаев брака и отказов СЖАТ. Наконец, расходы на содержание СЖАТ при таком подходе к обслуживанию в 10–30 раз превышают их первоначальную стоимость (капитальные вложения) [1].

Более прогрессивным способом обслуживания СЖАТ является обслуживание по фактическому состоянию. Данный вид обслуживания, по экспериментальной оценке [1], в 2–5 раз сокращает затраты на содержание СЖАТ и на порядок – число отказов по сравнению с аналогичными показателями, характеризующими регламентное обслуживание. Переход на обслуживание по состоянию возможен только при наличии соответствующих технических средств, позволяющих определять технологическое состояние (СТ), в котором устройство (система) находится и их ТС в режиме *on-line*.

Примером такого рода технических средств являются системы технической диагностики и мониторинга (СТДМ), реализующие следующие основные функции:

- непрерывный автоматический контроль ТС СЖАТ;
- непрерывный автоматический контроль СТ и правильности функционирования эксплуатируемых систем;
- передачу полученной информации в центр мониторинга для анализа с целью выработки стратегии обслуживания устройств;
- анализ и учет причин возникновения и возможных последствий различных диагностических ситуаций.

Однако применяемые на сегодняшний день датчики, методики и алгоритмы выявления ТС и СТ, обнаружения отказов и фиксации предотказных состояний еще не вполне совершенны. В данной работе предлагается способ определения ТС и СТ, обнаружения отказов и фиксации предотказных состояний, который может быть применен для диагностирования различных СЖАТ, в частности схем управления стрелочными электроприводами (СЭП).

1 Способ определения ТС и СТ

Известно [2], что с точки зрения надежности в процессе эксплуатации каждое устройство и система в целом, в зависимости от степени соответствия всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, могут находиться в двух множествах состояний: исправных и неисправных. Переходы технического объекта между состояниями характеризуются ухудшением или улучшением рабочих характеристик. При этом объект, находящийся в неисправном состоянии, может сохранять работоспособность (работоспособное состояние). Объекты, находящиеся в неработоспособном состоянии, различаются по возможности выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов; выделяют защитные и опасные состояния. Устройства, находящиеся в работоспособном состоянии, когда хотя бы один из параметров, характеризующих их способность выполнять заданные функции, достигает граничного значения, при котором не может быть гарантирована

работоспособность объекта при дальнейшем изменении данного параметра, называются предотказными [3].

Кроме того, СЖАТ свойственно иметь несколько СТ. Например, схема управления СЭП может находиться в плюсовом или минусовом положении, переводиться из плюсового в минусовое и наоборот, потерять контроль и т. д. Отказы и предотказы могут возникать при нахождении системы в любом из этих СТ, т. е. ТС системы может меняться.

Задачей СТДМ является автоматическое определение того, в каком состоянии система (устройство) находится как с точки зрения надежности, так и с точки зрения технологии работы, а в случае отказа или предотказного состояния – фиксация этого состояния для дальнейшего анализа и выработки стратегии его устранения.

Для выявления различных ТС и СТ СЖАТ, в том числе отказов и предотказных состояний, необходимо определить совокупность диагностических признаков, присущих тому или иному ТС и СТ. В качестве диагностических признаков могут выступать электрические параметры: напряжение, ток, амплитуда сигнала и его форма. Амплитуда может быть сравнительно легко измерена, характеристической формы сигнала может служить площадь фигуры, ограниченная функцией напряжения или тока.

Допустим, некоторая СЖАТ в процессе эксплуатации может находиться в m ТС и СТ: C_1, C_2, \dots, C_m . Для выявления этих состояний могут использоваться n диагностических признаков (ДП): d_1, d_2, \dots, d_n . Каждому из множества ТС и СТ соответствуют некоторые диапазоны значений ДП: так, состоянию C_1 соответствует $\Delta d_1 \{C_1\}$ (т. е. изменение параметра d_1 в диапазоне от ${}^1d_1 \{C_1\}$ до ${}^2d_1 \{C_1\}$), $\Delta d_2 \{C_1\}, \dots, \Delta d_n \{C_1\}$, состоянию $C_2 - \Delta d_1 \{C_2\}, \Delta d_2 \{C_2\}, \dots, \Delta d_n \{C_2\}$, состоянию $C_m - \Delta d_1 \{C_m\}, \Delta d_2 \{C_m\}, \dots, \Delta d_n \{C_m\}$.

Отложим по координатным осям n -мерного пространства величины параметров d_1, d_2, \dots, d_n . Тогда каждому C_i ТС и СТ соответствует n -мерная область, ограниченная по оси d_1 полосой $\Delta d_1 \{C_i\}$, по оси $d_2 - \Delta d_2 \{C_i\}, \dots$, по оси $d_n - \Delta d_n \{C_i\}$. Для идентификации со-

стояний ДП надо подбирать так, чтобы эти области не пересекались и не соприкасались. Теперь, имея эталонные n -мерные диагностические области (ДО), можно легко выявлять ТС и СТ системы. Для этого представим полученный в результате измерения набор ДП точкой в n -мерной ДО с координатами ${}^0d_1, {}^0d_2, \dots, {}^0d_n$. Определив, какой из областей принадлежит полученная точка, идентифицируем ТС и СТ системы. В случае, если точка не принадлежит ни одной из ДО, идентификацию ТС и СТ можно произвести по критерию минимального расстояния до ДО. При этом расстояние от точки до вершины ДО находится по формуле

$$r = \sqrt{\sum_{i=1}^n ({}^0d_i - {}^x d_i)^2}. \quad (1)$$

Для автоматической идентификации состояния диагностируемого объекта разработан алгоритм, приведенный на рис. 1.

2 Применение способа определения ТС и СТ

Среди ответственных схем СЖАТ – схемы управления СЭП. От их правильной, безопасной и безотказной работы зависит работоспособность систем электрической централизации (ЭЦ) и, как следствие, всего комплекса СЖАТ.

На сети железных дорог РФ большое распространение получила схема управления СЭП с двигателем постоянного тока. Невзирая на ряд недостатков этой схемы, в эксплуатации находится большое число стрелок, управляемых ею.

Возможны следующие положения схемы: $C_1 (C_2)$ – плюсовое (минусовое) крайнее положение; $C_3 (C_4)$ – переводиться из плюсового в минусовое (из минусового в плюсовое) положение; C_5, C_6 – терять контроль крайнего положения; C_7, C_8 – терять возможность перевода стрелки. Состояния $C_1 - C_4$ соответствуют исправному, или работоспособному, ТС, в состоянии $C_5 - C_8$ схема переходит в результате отказов.

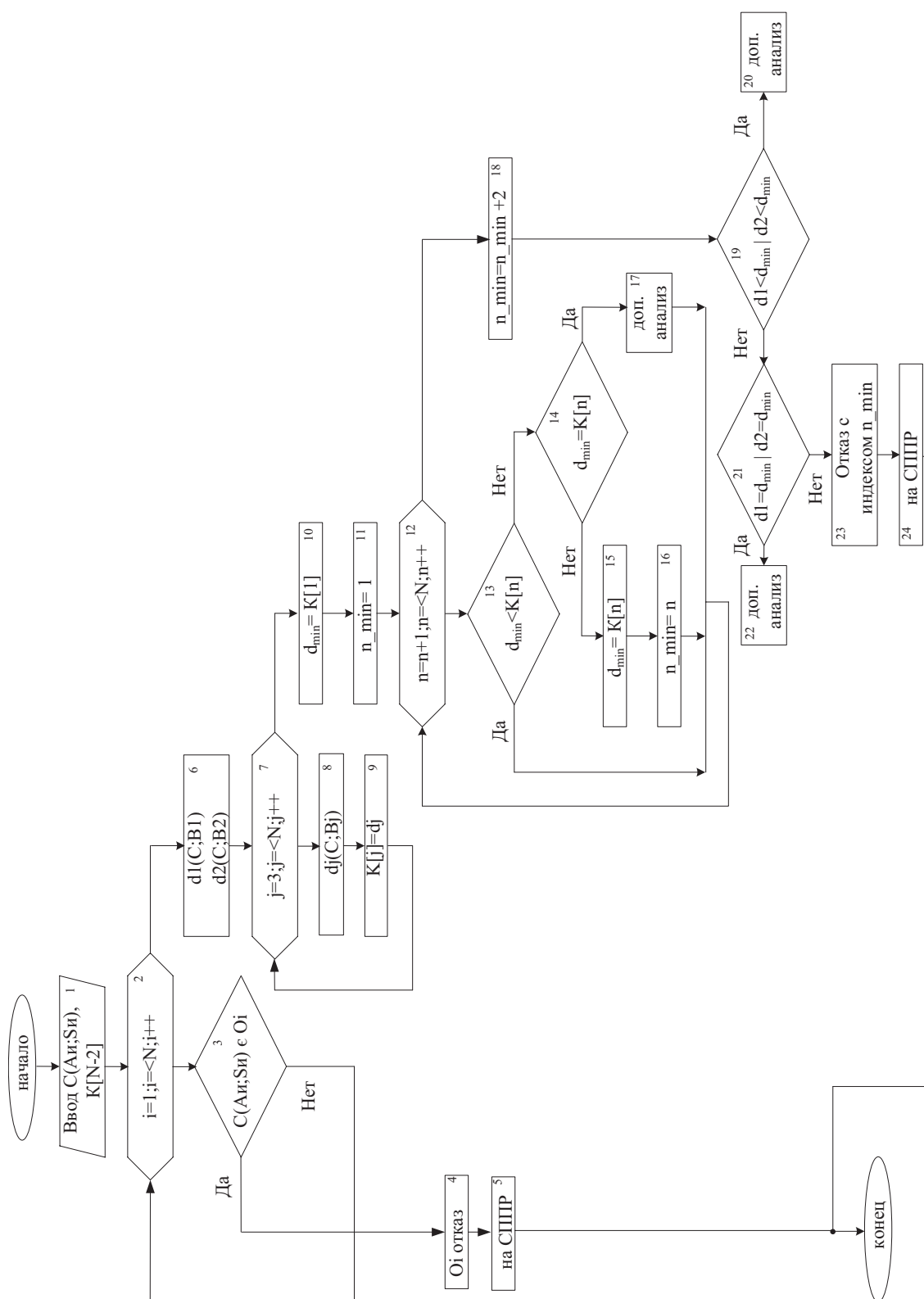


Рис. 1. Алгоритм определения состояния объекта диагностирования

В настоящее время все применяемые на сети железных дорог РФ СТДМ позволяют непрерывно контролировать только некоторые параметры схемы управления СЭП. Как правило, контролируются:

- наличие крайнего положения стрелки;
- время перевода стрелки;
- ток перевода стрелки.

Анализ этих параметров позволяет выявлять некоторые ТС и СТ: наличие, потерю, кратковременное пропадание и внезапную смену контроля стрелки, увеличенное или уменьшенное время перевода, невозможность перевода стрелки, работу СЭП на фрикцию, дребезг контактов пусковых реле. Некоторые неисправности при этом могут маскироваться (не выявляться). Например, при установке маршрута могут одновременно переводиться несколько стрелок; график рабочего тока, снимаемого с шунта общего амперметра на табло, получается усредненным, не несущим информации об особенностях отдельной схемы управления СЭП. Значительно больше диагностической информации можно получить, непрерывно измеряя напряжение в линейных проводах схемы управления СЭП, поскольку различным ТС и СТ соответствуют разные по амплитуде и частоте сигналы.

В целях определения множества ДП для установления ТС и СТ схемы управления СЭП авторами в среде моделирования *Workbench (Multisim)* построена модель ее контрольной цепи (рис. 2). В модели реле за-

менены резисторами, номиналы которых соответствуют сопротивлениям обмоток реле. С помощью осциллографа, подключенного к линейным проводам модели, получены осциллограммы напряжения, отражающие процессы, происходящие в схеме при имитации различных ТС и СТ.

Анализ графиков напряжений в линейных проводах, построенных для различных состояний схемы, показал, что по изменениям осциллограмм можно судить о ТС и СТ исследуемой схемы. Например, при таком распространенном отказе, как обрыв линейных проводов, кривая напряжения изменяется от вида, показанного на рис. 3, а, характерного для нормального положения стрелки, к виду на рис. 3, б.

Для выявления ТС и СТ схемы и построения алгоритмов поиска отказов по изменениям графиков напряжения эти изменения необходимо автоматически обнаруживать, выявлять и отличать. В качестве множества ДП могут выступать амплитуда сигнала и его форма. Амплитуда может быть сравнительно легко измерена, характеристикой формы сигнала может служить площадь фигуры, ограниченная функцией напряжения.

Полученная в результате диагностирования состояния схемы управления СЭП осциллограмма представляет собой график непрерывного процесса, при этом функция, описывающая его, неизвестна. Разбивая график на k промежутков, определим

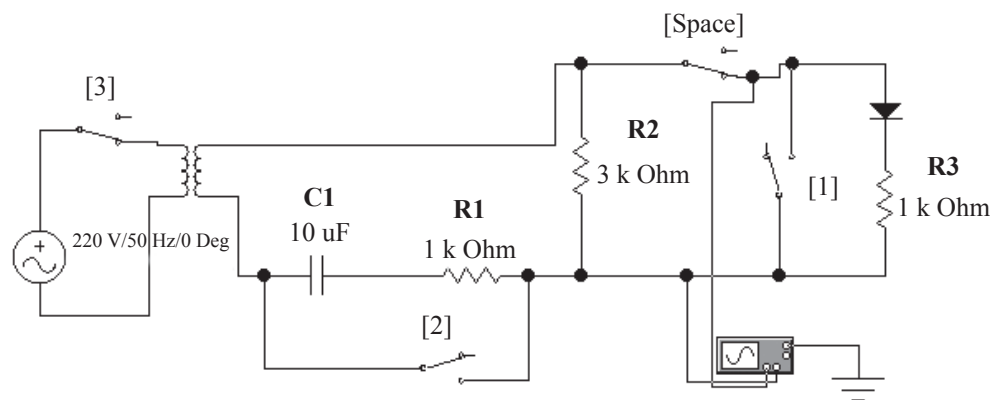
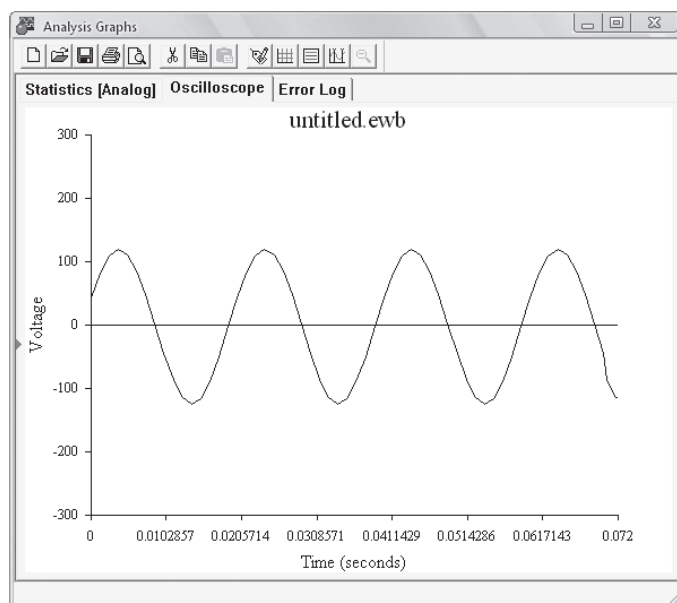


Рис. 2. Модель схемы управления СЭП постоянного тока

а)



б)

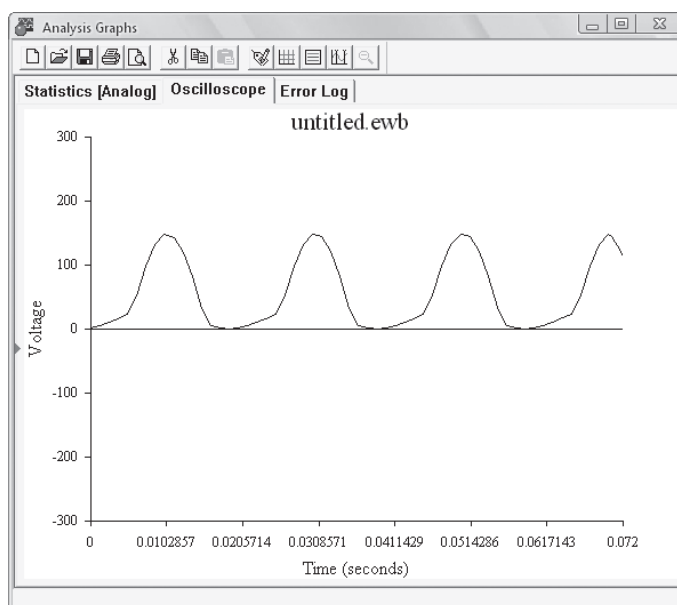


Рис. 3. График напряжения в линейных проводах:

a – при нахождении стрелки в нормальном положении; *б* – при обрыве линейных проводов

площадь фигуры, ограниченной функцией на интервале $[0; T]$:

$$S_{\Phi} = \sum_{j=1}^k U(t_j) \frac{T}{k}. \quad (2)$$

Точность определения площади зависит от точности воспроизведения функции $U(t)$.

Для повышения точности вычислений площадь фигуры представим как сумму площадей прямоугольника и треугольника:

$$S_{\Phi} = S_{\Delta} + S_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где S_{Δ} – площадь прямоугольного треугольника, катеты которого $U(t_2) - U(t_1)$ и

$\frac{T}{k}$; $S_{\Delta} = \frac{T(U(t_2) - U(t_1))}{2k}$; $S_{\text{пр}}$ – площадь прямоугольника со сторонами $U(t_1)$ и $\frac{T}{k}$; $S_{\text{пр}} = \frac{TU(t_1)}{k}$.

Подставляя значения в (2), получим площадь фигуры, ограниченной функцией на интервале $[0; T]$:

$$S_{\Phi} = \sum_{j=1}^k \frac{T(U(t_{j+1}) - U(t_j))}{2k} + \sum_{j=1}^k \frac{TU(t_j)}{k}. \quad (4)$$

Используя модель, приведенную на рис. 4, и получая осциллограммы напряжений в контрольной цепи в различных ТС и СТ, вычислим амплитуды и площади фигур, ограниченных графиком напряжения. Получится множество ДП – каждому ТС и СТ устройства соответствует определенная амплитуда и определенная площадь. Поскольку множество ДП состоит из двух

элементов, диагностической областью будет являться двухмерная фигура – плоскость (частный случай описанной выше n -мерной области). Ее графическим представлением является координатная плоскость, по осям которой отложены величины параметров, являющихся ДП, – амплитуда и площадь. Поскольку рабочие параметры схемы управления СЭП могут изменяться в некоторых пределах, причинами чего являются колебания питающего напряжения (по нормативам $\pm 10\%$), изменения параметров окружающей среды (температура воздуха, наличие осадков), ДП являются не точки, а некоторые диапазоны значений параметров (в эксперименте принято ± 10 от расчетного значения). На рис. 5 приведены ДО, характеризующие различные ТС и СТ контрольной схемы СЭП: область О1 соответствует плюсовому, О2 – минусовому положениям стрелки (т. е. соответственно СТ C_1, C_2), О3 – обрыву

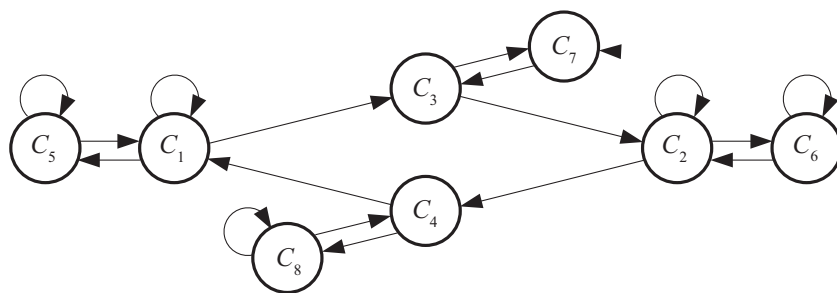


Рис. 4. Граф состояний схемы управления СЭП

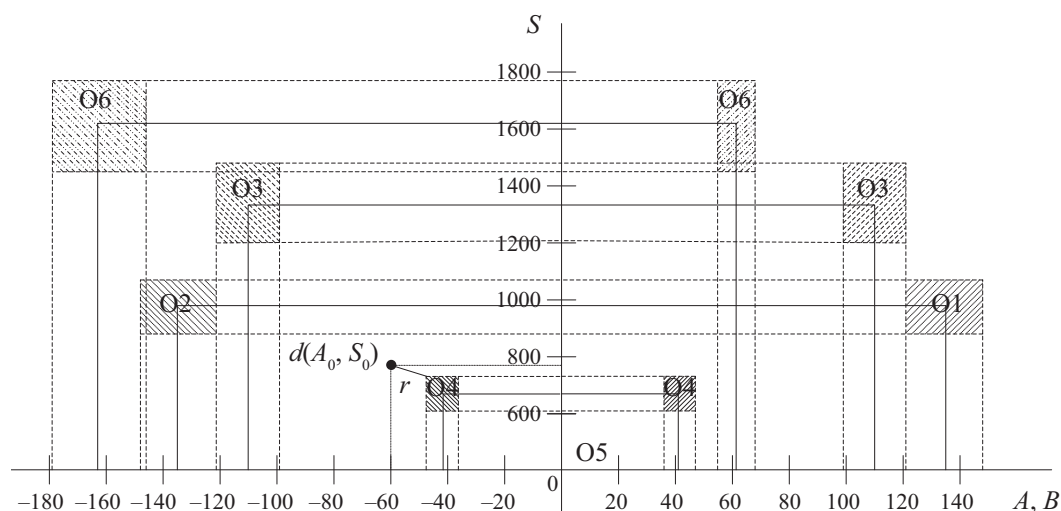


Рис. 5. Диагностическая плоскость схемы управления СЭП

в контрольной цепи, О4 – короткому замыканию VD1, R3, О5 – отсутствию питания ПХКС – ОХКС, О6 – короткому замыканию элементов C1, R1 (разные проявления СТ C_5 , C_6). При этом ДО не пересекаются, что позволяет обеспечить надежное распознавание различных ТС и СТ.

ТС и СТ схемы с использованием ДО на рис. 5 анализируются по алгоритму, приведенному на рис. 1, при этом формула (1) будет иметь вид:

$$r = \sqrt{(A_0 - A_x)^2 + (S_0 - S_x)^2}. \quad (5)$$

Заключение

Предложенный метод позволяет определять ТС и СТ СЖАТ и может применяться в различных СТДМ, что подтверждается не только расчетами и результатами моделирования, но и практическими экспериментами.

В дальнейшем способ может совершенствоваться для ситуаций, когда расстояние до различных ДО одинаково и требуется дополнительный анализ для определения ТС и СТ, основанный, например, на вероятности возникновения того или иного состояния.

Библиографический список

1. **Техническая** эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Вл. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, А. А. Прокофьев ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 336 с.
2. **Надежность** систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шамапов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
3. **Понятие** предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 12. – С. 6–8.

УДК 537

А. Д. Корчагин

Центр инновационного развития ОАО РЖД, Москва, Россия

А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов

Петербургский государственный университет путей сообщения, Санкт-Петербург, Россия

«ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ» НАМАГНИЧИВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Выполнен сопоставительный анализ стационарных и импульсного способов намагничивания сверхпроводников. Представлено физическое обоснование метода «топологического» намагничивания, достоинством которого является применение внешнего источника магнитного поля с относительно малой индукцией. Показано, что «топологический» метод «накачивания» магнитного потока позволяет намагничивать объемные высокотемпературные сверхпроводники по месту их штатной установки.

высокотемпературный сверхпроводник, топология, намагничивание.