

### УДК 656.256.3

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ – ассистент каф. АТС, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, beznarytny.am@gmail.com

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЧИСЛОВОЙ КОДОВОЙ АВТОБЛОКИРОВКИ В ВИДЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГРАФА

*Статью представил д.физ. - мат. н., проф. В. И. Гаврилюк*

### Введение

На сегодняшний день основным средством обеспечения безопасности движения поездов на перегоне остаётся система числовой кодовой автоблокировки (ЧКАБ). Возникновение неисправностей данной системы может резко негативным образом сказываться на выполнении графика движения поездов и другие эксплуатационные показатели работы участков железной дороги.

При безусловной значимости безотказной работы устройств автоблокировки в системе управления движением поездов, её обслуживание проводится по планово-профилактической методике, которая предусматривает жестко определенную периодичность работ по техническому обслуживанию устройств ЧКАБ [1-2]. Такой подход, во многом не обеспечивает выявления предотказных состояний устройств автоблокировки, чем может объясняться возникновение значительного количества отказов, в процессе её эксплуатации.

Повышение эффективности обслуживания автоблокировки может быть достигнуто путем использования автоматизированных средств диагностики [3]. При этом возникает необходимость выделения устойчивых состояний системы ЧКАБ, формализованное описание таких состояний может быть выражено в виде графа.

Таким образом, задача построения графа состояний системы числовой кодовой автоблокировки является актуальной и носит

практический характер для дальнейшего построения диагностического комплекса. Выполнение этой задачи требует проведения анализа характерных отказов системы ЧКАБ и существующей технологии обслуживания устройств автоблокировки.

### Анализ отказов устройств числовой кодовой автоблокировки

Сложность в оценке показателей эффективности работы системы ЧКАБ заключается в том, что обслуживание её основных элементов возложено на сотрудников разных служб. Основным критерием оценки эффективности работы системы ЧКАБ является количество отказов, которые произошли в системе за определенный период времени. Как показывает анализ статистических данных [4-5] одним из ненадежных элементов автоблокировки является рельсовая цепь, это обусловлено сложностью обслуживания элементов рельсовой линии, которые рассредоточены в пространстве. Большинство отказов рельсовой цепи происходят вследствие замыкания изолирующих стыков и других изоляционных элементов 29%, а также из-за обрыва стыковых соединителей 20%. Неисправности, связанные с нарушением регулировки рельсовой цепи составляют 12% случаев, замыкания рельсовой линии через элементы верхнего строения пути и через внешние элементы составляют 16 %, из-за неполадок в аппаратуре рельсовой цепи (РЦ) происходит 10% отказов. Неисправности изоляци-

онных элементов аппаратуры РЦ и неисправности дроссельных перемычек составляют соответственно 3 и 4%. Неисправности обусловленные установкой нетиповых дроссельных перемычек, из-за снижения сопротивления изоляции балласта и по неустановленным причинам составляют по 2% от всех повреждений рельсовых цепей. Распределение причин отказов рельсовых цепей приведено на рис. 1.

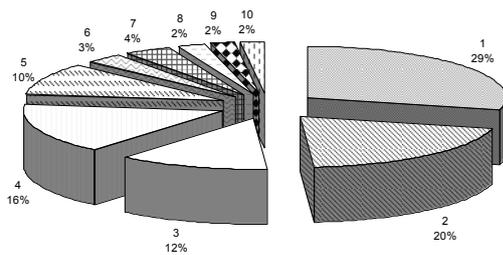


Рис. 1. Распределение причин отказов рельсовых цепей.

В системе числовой кодовой автоблокировки сигнальным током рельсовой цепи является кодированный сигнал автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Это обусловило использование в системе сложных шифрующих и дешифрирующих устройств, быстродействующих реле, электролитических конденсаторов и диодов. Надежность работы этой аппаратуры требует качественного технического обслуживания в определенные периоды времени. Наибольшее количество отказов дешифрирующей аппаратуры возникает вследствие отказа конденсаторов 58% и диодов 16,8%, нарушение временных и коммутационных параметров реле вызывают 13% отказов. Увеличение переходного сопротивления в штепсельных разъемах реле вызывают 8,3% отказов, на прочие и неустановленные причины приходится 3,9 % отказов устройств шифрования и дешифрирования автоблокировки. Распределение причин отказов шифрующей и дешифрирующей аппаратуры автоблокировки приведено на рис. 2.

При анализе причин возникновения не - неисправностей в системах автоблокировки руководством железной принято различать следующие основные причины отказов автоблокировки. Общие эксплуатационные причины, на которые приходится большинство отказов 86,5%.

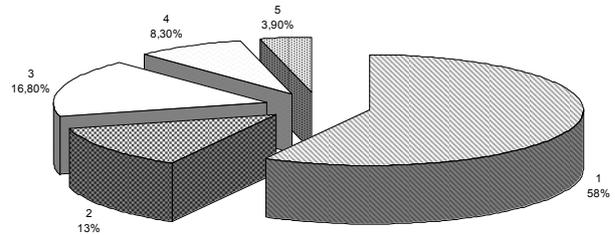


Рис. 2. Распределение причин отказов шифрующей и дешифрирующей аппаратуры автоблокировки

Из них через некачественное выполнение работ по техническому обслуживанию 37,5% , из-за невыполнения сроков проверок 36%, из-за некачественной проверки в ремонтно-технологических участках 6,2%, по вине поставщика оборудования 12,8%, вследствие схемно-конструктивных недостатков 1,2% , нарушение правли выполнения работ и погрешности при их испытании вызывают 2,5 и 2,8% эксплуатационных неисправностей соответственно. Незначительно влияют на работу автоблокировки влияния сторонних организаций 1% и влияние грозовых и коммутационных перенапряжений 2%. Причины отказов, которые не были установлены занимают 10% от общего количества, по прочим причинам происходит 2% отказов в работе устройств автоблокировки. Таким образом, большинство отказов систем автоблокировки происходит вследствие эксплуатационных недостатков, которые могут быть вызваны недостатками системы технического обслуживания, сложности выполнения проверок на сигнальных установках, расположенных на значительном расстоянии от эксплуатационно-ремонтных цехов, недо-

статками системи контролю над виконанням работ по ТО и другими причинами. Из анализа статистических данных можно сделать вывод о необходимости применения средств автоматического диагностирования устройств автоблокировки, для выявления предотказных состояний системы и отдельных её узлов.

### **Выбор вида диагностической модели автоблокировки**

Как известно [6] построение системы технической диагностики требует формализованного описания системы и её отдельных узлов, которое может быть выражено в аналитической, графической, табличной и прочих формах. К математической модели объекта диагностирования выдвигаются следующие основные требования [7]:

1. Модель должна быть обобщенной и во многом абстрактной для того, чтобы ее можно было использовать для различных типов подобных объектов;

2. Модель должна охватывать как возможно большее количество состояний объекта и позволять определять дефекты с любой заданной глубиной диагностирования;

3. Модель должна иметь форму, удобную для технической реализации и автоматизации процесса ее анализа с помощью электронно-вычислительной техники.

Для построения диагностической модели следует проанализировать существующие виды моделей на их пригодность в задании диагностирования системы ЧКАБ. Аналитические модели объекта диагностики (ОД) представляют собой функциональные уравнения, описывающие процесс преобразования входных величин в выходные. В обобщенном виде описываются формулой.

$$z = A \cdot x \quad (1)$$

где  $x, z$  – входные и выходные величины соответственно;  $A$  – оператор преобразо-

вания. На практике оператор является функцией множества внутренних параметров объекта. Аналитические модели активно используются в задачах диагностирования для исследования и оценки технического состояния объектов диагностирования. Несмотря на это, в задачах диагностирования системы автоблокировки использование аналитических моделей осложняется разной физической природой входных и выходных параметров, большим количеством внутренних параметров, подлежащих контролю, сложной структурой сигнальной установки автоблокировки. Приведенные факты осложняют применение аналитических моделей для диагностирования системы числовой кодовой автоблокировки. Использование в качестве диагностической модели дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы, протекающие в объекте, позволяет смоделировать различные неисправности и сформулировать четкие условия работоспособности в наиболее обобщенном виде, как ограничения для перемещения плюсов и нулей на комплексной плоскости. Дифференциальные уравнения позволяют оценить влияние изменения параметра элемента системы на показатели качества ее работы, установить законы и характеристики распределения отклонений параметров. К сожалению, в задачах диагностирования системы автоблокировки использования дифференциальных уравнений в качестве диагностических моделей связано с такими же трудностями, которые характерны для аналитических моделей.

На основе результатов статистического эксперимента можно построить регрессивную зависимость обобщенного показателя качества работы объекта от ряда диагностических параметров. Наличие регрессивной зависимости позволяет решать как задачи диагностирования так и задачи управления технического объекта. Сложность их применения заключается в необходимости

проведения длительных статистических экспериментов на достаточно большом количестве объектов. Проведение такого эксперимента на сигнальных установках автоблокировки усложняется их размещением вдоль железнодорожной линии и сложной системой обслуживания элементов железнодорожной инфраструктуры. Статистические данные [4-5], не дают возможности построить регрессивную модель из-за низкой детализации анализа неисправностей.

Для объектов диагностирования имеющих блочно-функциональную структуру широко используются логические модели. При построении логической модели каждому блоку функциональной схемы ставится в соответствие совокупность логических блоков таким образом, чтобы выход сигнала каждого логического блока характеризовался только одним параметром. Если значение входа (или выхода) блока принадлежит множеству допустимых значений, то это значение принимается равным «1», если множеству недопустимых значений, то «0» [8]. Точность такой модели зависит от уровня декомпозиции системы. Логические модели позволяют решать практически все задачи диагностирования как замкнутых так и разомкнутых систем, но только тех, которые могут быть причинены в виде функциональной схемы. Система автоблокировки имеет блочную структуру и может быть выражена в виде функциональной схемы, поэтому логические модели пригодны для использования в задачах диагностирования системы ЧКАБ.

Модели, которые представлены в виде графов в пространстве состояний дают возможность учесть топологические особенности структуры ОД и связей с внешней средой. Таким образом, граф - модель позволяет представить достаточно подробно причинно - следственные связи объекта диагностирования с учетом всех взаимосвязей между параметрами.

### **Построение граф-модели системы числовой кодовой автоблокировки**

Система числового кодового автоблокировки построена по блочному принципу, таким образом, её диагностическая модель может быть выражена в виде функциональной схемы и может быть разделена на конечное множество элементов путем декомпозиции, поэтому, что для построения диагностической модели системы ЧКАБ предлагается использовать граф-модель заданный в пространстве состояний объекта диагностирования. Граф-модель ОД может быть выполнена на двух уровнях. На системном уровне в основу построения модели положены разделения сложной структуры ОД на отдельные системы различного уровня соподчинения. Анализ такой модели позволяет получить качественную и количественную оценку влияния параметров отдельных систем на обобщенные технико-экономические показатели работы объекта диагностирования. На элементном уровне модель отражает множество элементов и связей между ними. Элементами здесь выступают простые конструктивно или функционально законченные части системы [8].

Так как систему ЧКАБ возможно представить в виде совокупности отдельных конструктивных элементов, то целесообразным строить граф-модель именно на элементном уровне. В граф-модели системы ЧКАБ узлами модели выступают следующие параметры объекта диагностирования. Входные величины  $X_1, X_2$ , которые действуют на систему автоблокировки, выходные величины  $Y_1, Y_2$ , изменяющиеся под воздействием входных величин и внутренних параметров  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , и шумы, которые имеют случайный характер и могут влиять на изменение состояния системы. Также множество внутренних параметров, для большей определенности, предлагается разделить на следующие подмножества. Параметры процесса функционирования -

это характеристики процессов, составляющих основной процесс функционирования ОД. Вспомогательные параметры  $B_1, B_2, \dots, B_n$  - это другие величины процессов, не участвующих в реализации главного процесса функционирования автоблокировки. Структурные параметры  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - это физические и электрические параметры деталей и элементов ОД. Дефекты - это несоответствие значений внутренних параметров, заранее установленным нормативно-технической документацией.

В граф - модели выделяют следующие виды вершин: ключевые - от которых исходит хотя бы две дуги, тупиковые - вершины, в которые входит по крайней мере одна дуга, но никакой не исходит, смешанные - в которые входит и выходит хотя бы по одной дуге, изолированные - в которые не

входит и не выходит ни одной дуги [9-10]. Построенная таким образом граф - модель оказывается достаточно громоздкой, что затрудняет ее анализ, поэтому она нуждается в упрощении по следующим правилам:

1. Если информация о ключевой или смешанную вершину отображается в какой-либо вершине, то такие вершины можно сократить;

2. Если любая из вершин множества входных величин имеет только одну исходную дугу, то она не может быть сокращена;

3. Если в графе только одна вершина характеризует входную величину, то она не может быть сокращена. Полученная таким образом граф - модель системы ЧКАБ приведена на рис. 3.

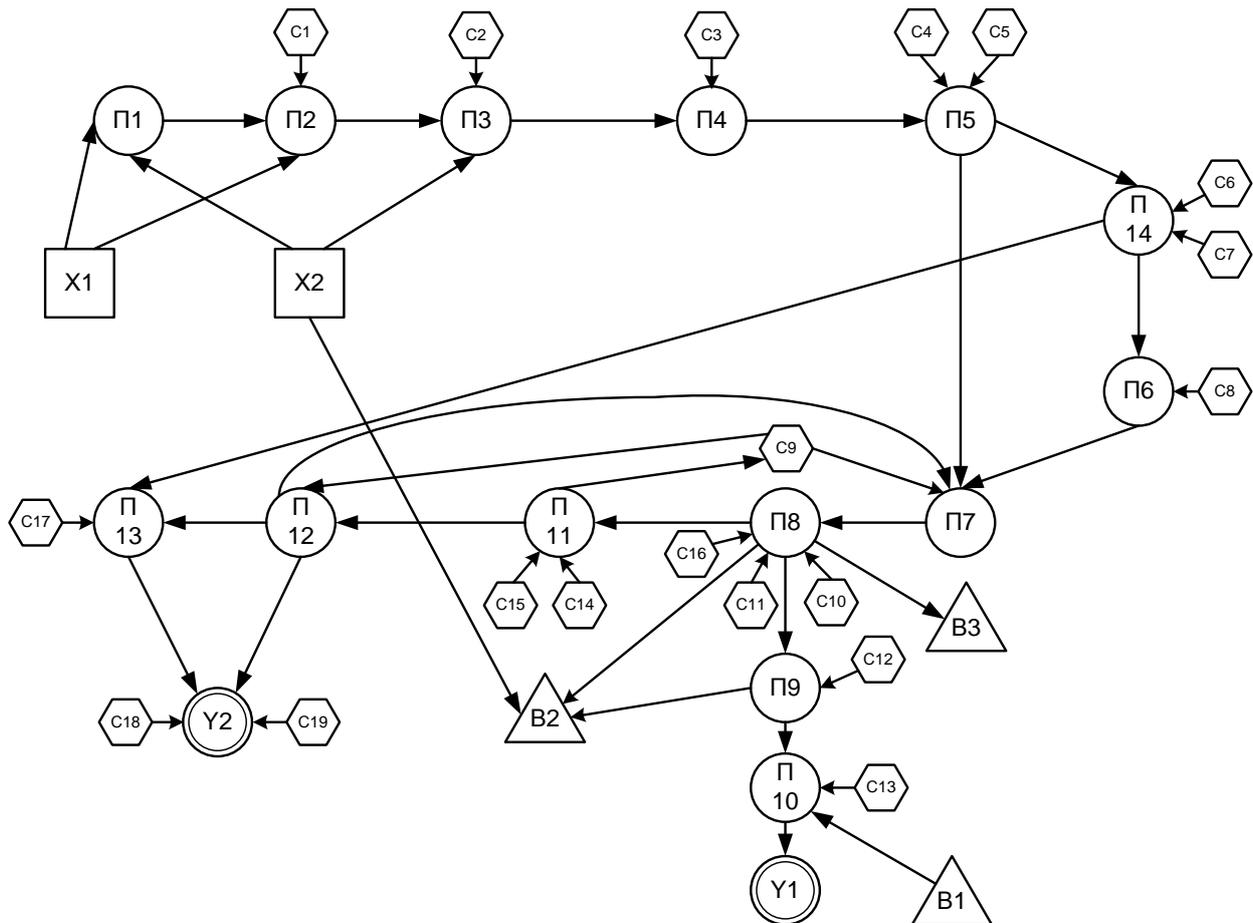


Рис. 3. Граф-модель системы числовой кодовой автоблокировки

На представленной на рис. 3 граф-модели системы ЧКАБ приняты следующие сокращения:

X1 - напряжение питания предыдущей сигнальной установки автоблокировки;

X2 - состояние рельсовой линии;

П1 - напряжение на входе дроссель-трансформатора;

П2 - напряжение на выходе дроссель-трансформатора ;

ПЗ - напряжение на входе защитного блок-фильтра;

П4 - состояние реле направления;

П5 - состояние импульсного реле;

П14 - состояние аварийных реле;

П6 - напряжение на входе дешифратора автоблокировки;

П7 - асинхронность работы импульсного и транзиттерного реле;

П8 - состояние сигнальных реле Ж и З;

П9 - состояние огневых реле;

П10 - напряжение на лампах светофора;

П11 - режим работы кодового путевого транзиттера ;

П12 - режим работы транзиттерного реле;

П13 - напряжение на выходе питающего трансформатора;

У1 - показания проходного светофора;

У2 - напряжение на выходе питающего дроссель-трансформатора;

В1 - состояние реле ДСН;

В2 - код системы частотного диспетчерского контроля;

В3 - состояние реле извещения;

С1 - сопротивление изоляции сигнальной обмотки дроссель-трансформатора;

С2 - состояние LC контура защитного блок-фильтра;

С3 - состояние линии направления (Н-ОН);

С4 - тип контактов импульсного реле;

С5 - состояние выпрямляющего элемента импульсного реле;

С6 - наличие напряжения питания аппаратуры релейного шкафа;

С7 - состояние предохранителей ПХ - ОХ 20А;

С8 - напряжение на выходе схемы выпрямления дешифратора автоблокировки;

С9 - состояние реле ПТ дешифратора;

С10 - заряд конденсаторов С1 и С2 дешифратора;

С11 - работа схемы реле-счетчиков;

С12 - состояние нитей накаливания ламп светофора;

С13 - наличие питания сигнальной цепи;

С14 - работа кодового путевого транзиттера;

С15 - наличие питания кодового путевого транзиттера;

С16 - состояние вспомогательного реле В дешифратора;

С17 - состояние обмоток питающего трансформатора;

С18 - сопротивление сигнальной обмотки дроссель-трансформатора питающего конца РЦ;

С19 - сопротивление изоляции кабельной линии дроссель-трансформатора питающего конца РЦ.

Таким образом, разработанная граф-модель системы числовой кодовой автоблокировки, отражает основные структурные элементы объекта диагностирования, взаимосвязь между ними и влияние внутренних параметров на функционирование объекта.

### Выводы

В статье приведена модель системы числовой кодовой автоблокировки, представленная в виде функционального графа. Данная модель показывает логические связи между элементами системы, которые разделены на несколько подмножеств, по их функциональному назначению. Также граф-модель позволяет учесть собственные параметры элементов системы и возможное влияние на них внешних факторов. Предлагаемая модель может быть использована для дальнейшего выявления диагностических признаков и разработки алгоритма диагностирования при построении системы технической диагностики и мониторинга системы числовой кодовой автоблокировки.

### Библиографический список

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування ЦШ-0060 [Текст]: Затв. Наказ Державної адміністрації залізничного транспорту 07.10.2009 № 090-ЦЗ. – К., 2009. – 69 с.
2. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування (ЦШ-0042) [Текст]: Затв. Наказ № 347-ЦЗ 26.04.2006 р./Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Транспорт України – 2006. – 560 с.
3. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст]/ И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240.
4. Розподіл відмов пристроїв СЦБ по видах систем, об'єктах та причинах на ДП «Придніпровська залізниця» затв. Начальником служби сигналізації та зв'язку В. П. Яловенко.
5. Бойник, А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст]/ под ред. А. Б. Бойника. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
6. Дмитренко, І. Е. Техническая диагностика и автоконтроль [Текст]/ І. Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.
7. Киреев, А. Н. Диагностика транспортных средств: конспект лекций [Текст] / А. Н. Киреев Луганск: издательство Восточнoукраинского национального университета. – 2007. – 37 с.
8. Портягин, Н. Н. Теория и методы диагностики судовых электрических средств автоматизации [Текст] / Н. Н. Портягин, Г. А. Пюкке. – Петропавловск-Качатский: КамчатГТУ, 2003. – 112 с.
9. Дубов, А. В. Определение информационной модели объекта диагностики, заданного сигнальными графами функциональных элементов [Текст] / А. В. Дубов // Управление большими системами № 30. – М.: ИПУ РАН, 2010.– С. 212-219.
10. Самаров, К. Л. Элементы теории графов. Динамическое программирование. Сетевое планирование [Текст]/ К. Л. Самаров. – М.: Резольвента, 2009. – 112 с.

**Ключові слова:** числове кодове автоблокування, діагностування, граф-модель, об'єкт діагностування, параметри процесу функціонування.

**Ключевые слова:** числовая кодовая автоблокировка, диагностика, граф-модель, объект диагностирования, параметры процесса функционирования.

**Key words:** automatic block system of numeric codes, diagnosis, graph model, the object of diagnosing, process parameters of functioning.

Надійшла до редколегії 05.09.2012