

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»

8-9 апреля 2013 года

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.879

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБИЛКИ

Дубинин А. В., Карякин А. Л.
ФГБОУ ВПО «Уральский горный государственный университет»

Автоматизация и механизация производственных процессов – это основное направление развития российской экономики на ближайшие годы. Важнейшим средством электрификации, механизации и автоматизации, основой увеличения производительности машинного оборудования является автоматизированный электропривод, на долю которого приходится более 65 % общественного потребления электроэнергии в стране.

Накоплен обширный теоретический и экспериментальный материал по математическому описанию дробильного комплекса, и дробилки в частности. При этом при автоматизации предложено несколько математических моделей дробилок, в зависимости от различных каналов прохождения входного воздействия.

Более объемлющая задача, которая должна решаться при автоматизации дробилок, связана с оптимизацией всего процесса многостадийного дробления, причем должен присутствовать эффект использования отдельных агрегатов с учетом требований автоматического управления, а не за счет увеличения числа контролируемых параметров, позволяющее, как это часто бывает на практике, не только получать исчерпывающую информацию о процессе, но и застраховываться от возможных сбоев в работе ненадежных устройств.

Необходимо описать устройство управления автоматической системы регулирования производительности дробилки.

Этапы:

1. Построение и описание функциональной схемы АСР производительности дробилки.
2. Определение элементов, входящих в состав устройства управления.
3. Выбор элементов устройства управления.

Прежде чем приступить к разработке функциональной схемы, будет уместно рассмотреть упрощенную схему технологического процесса дробления (рисунок 1).

Основные управляемые параметры – моменты сопротивления на валу двигателя дробилки и выходного конвейера 1, управляющий параметр – угловая скорость вращения вала двигателя входного питателя или производительность питателя. Два контура управления, включающие в себя регуляторы уровня 3 и производительности 4, через промежуточный блок 5, воздействуют на ток подмагничивания однофазных силовых магнитных усилителей 6. Выпрямленное напряжение подается на обмотку якоря двигателя питателя. Если регулируемые величины превысят установленные для них предельные значения, то на блок 5 поступает

сигнал и питатель 2, выполняющий функции исполнительного органа, до тех пор будет снижать свою производительность, пока сигнал не исчезнет.

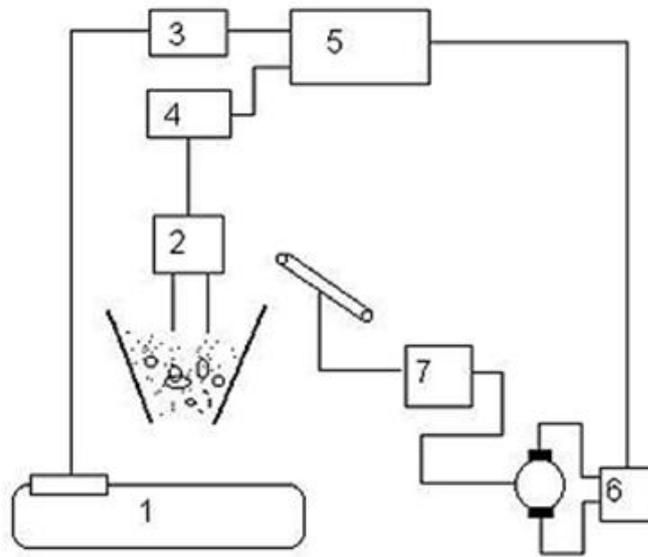
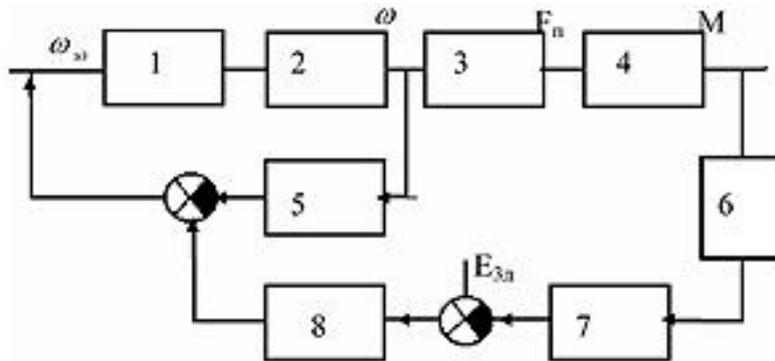


Рисунок 1

Построение и описание функциональной схемы АСР производительности дробилки. При построении функциональной схемы АСР производительности дробилки необходимо использовать принцип параллельной коррекции, так как управляемые параметры не зависят друг от друга. Общий вид схемы приведен на рисунке 2.



1 – УПЭ в АСУ частоты вращения вала электродвигателя; 2 – электродвигатель питателя; 3 – питатель; 4 – приемная камера дробилки; 5 – датчик скорости, максимальная скорость вращения вала; 6 – электрический двигатель, преобразующий массу материала в момент сопротивления, а затем в момент на валу двигателя; 7 – датчик, преобразующий М1ДП в электрический сигнал; 8 – УПЭ в АСУ нагрузки электродвигателя дробилки

Рисунок 2

Комплекс следует рассматривать как поточно-транспортный комплекс. В состав этого комплекса должна войти автоматическая система пуска, причем первым должен быть включен приемный конвейер, затем дробилка и только после этого питатель.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕДАХ

Хазиев В. В.

Научный руководитель Матвеев В. В., канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При проектировании электротехнических комплексов во взрывоопасных средах следует учитывать условия применения и требования нормативных документов [1, 2].

Исходные данные для проектирования заказчик излагает в техническом задании. В нем содержится информация о характеристиках, параметрах и условиях применения комплексов, которые будут эксплуатироваться на данном объекте. На этапе проектирования основными факторами, влияющими на принятие решения выбора оборудования являются: опасности, существующие на объекте (внезапные выбросы, суфлярные выделения горючих газов, пыль и др.), параметры окружающей среды, класс взрывоопасной зоны, характеристики взрывоопасной смеси [3] (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема проектирования электротехнических комплексов для взрывоопасных сред

На основе этих данных проектировщиком проводится идентификация отдельных элементов и всей электроустановки в целом по требованиям к электрооборудованию комплексов [4]:

- электрооборудование, у которого в конструкции наружных частей использованы материалы, содержащие легкие металлы, должны быть установлены так, что бы минимизировать или исключить риск соударения или трения;
- электрооборудование должно быть выбрано и размещаться таким образом, что бы воздействия внешней среды не нарушали вид взрывозащиты;
- для оборудования, излучающего во взрывоопасной зоне, должны обеспечиваться специальные меры безопасности в соответствии с классом зоны;
- вид взрывозащиты должен соответствовать уровню взрывозащиты, определенному для данного класса взрывоопасной зоны;
- группа или подгруппа электрооборудования должна соответствовать категории взрывоопасной смеси;
- максимальная температура поверхности электрооборудования не должна превышать минимальной температуры самовоспламенения газа или пара.

Кроме вышеприведенных мер обеспечения безопасности, отдельные требования предъявляются к оборудованию, которое является потенциальными источниками воспламенения. Такие меры вводят для защиты от искрения: изоляция токоведущих частей; требования к режиму нейтрали; использования систем безопасного сверхнизкого напряжения или защитного сверхнизкого напряжения; электрическое разделение цепей; защита или экранирование установок, образующих горячие частицы или поверхности; уравнивание потенциалов; защита от статического электричества; молниезащита; снижение влияния электромагнитного излучения.

Выполнение требований к электрической защите должны обеспечивать защиты от перегрузок, от токов короткого замыкания, от ненормальных режимов работы. На случай аварии, вне взрывоопасной зоны, должны быть предусмотрены одиночные или дублированные устройства отключения подачи электроэнергии во взрывоопасную зону, кроме случаев, когда электрооборудование должно продолжать работу, для предотвращения дополнительной опасности. В каждой электрической цепи или группе цепей должны быть предусмотрены устройства разъединения.

При проектировании кабельных сетей требуется учитывать характер их прокладки: проложены к подвижному или неподвижному потребителю, способ прокладки, температурный режим. Запрещается использование легко повреждаемых кабелей. Соединения кабелей с оборудованием должно соответствовать уровню взрывозащиты. Все кабели должны быть защищены от горения или обладать нормированными характеристиками по распространению пламени.

Кроме основных мер по обеспечению взрывозащиты электротехнических комплексов следует учитывать требования нормативной документации, которые нужно выполнить при принятии проектных решений. К таким документам относятся: Федеральные нормы и правила, Правила устройства электроустановок, отраслевые правила безопасности и единые правила безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 04.03.2013 №22-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», 2013. 41с.
2. ГОСТ Р ЕН 1127-1-2009. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Ч. 1. Основополагающая концепция и методология. – М.: Стандартинформ, 2010. 40 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60079-0-2011. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2012. 90 с.
4. ГОСТ Р МЭК 60079-14-2008. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж установок. – М.: Стандартинформ, 2009. 167с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО РЕЖИМА У ДВИГАТЕЛЕЙ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА

Симонов И. А., Карякин А. Л.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Развитие горнодобывающей промышленности связано с увеличением использования конвейерного транспорта, который приходит на смену более энергозатратным способам транспортировки. Существует ряд проблем, связанных с эксплуатацией конвейерного транспорта.

Одна из таких проблем – это переход двигателей многоприводных конвейеров в генераторный режим, из-за различия в конструктивных особенностях двигателей и редукторов, выходных параметров пусковой аппаратуры и т. д.

Конвейер рассматривается как многомассовая механическая система с упругими связями. Система построена в соответствии с уравнениями (система приведена для одной приводной станции) [1], [2], [3] с использованием общепринятых обозначений.

$$\left. \begin{aligned} J_{\partial 1} \frac{dw}{dt} &= \left((w_0 - w_{\partial 1} \cdot k_{c1}) \cdot \frac{\beta_1 \cdot k_m}{T_{\Sigma p + 1}} \right) - M_{c\partial 1} - C_1 (w_{\partial 1} - w_{p1} \cdot k_{ocp1}); \\ J_{\partial 2} \frac{dw}{dt} &= \left((w_0 - w_{\partial 2} \cdot k_{c2}) \cdot \frac{\beta_2 \cdot k_m}{T_{\Sigma p + 1}} \right) - M_{c\partial 2} - C_2 (w_{\partial 2} - w_{p2} \cdot k_{ocp2}); \\ J_{\partial 3} \frac{dw}{dt} &= \left((w_0 - w_{\partial 3} \cdot k_{c3}) \cdot \frac{\beta_3 \cdot k_m}{T_{\Sigma p + 1}} \right) - M_{c\partial 3} - C_3 (w_{\partial 3} - w_{p3} \cdot k_{ocp3}); \\ J_{\partial 4} \frac{dw}{dt} &= \left((w_0 - w_{\partial 4} \cdot k_{c4}) \cdot \frac{\beta_4 \cdot k_m}{T_{\Sigma p + 1}} \right) - M_{c\partial 4} - C_4 (w_{\partial 4} - w_{p4} \cdot k_{ocp4}); \\ J_{p1} \frac{dw}{dt} &= C_1 (w_{\partial 1} - w_{p1} \cdot k_{ocp1}) - M_{cp1} - C_5 (w_{p1} - w_{\delta 1} \cdot k_{oc\delta 1}); \\ J_{p2} \frac{dw}{dt} &= C_2 (w_{\partial 2} - w_{p2} \cdot k_{ocp2}) - M_{cp2} - C_6 (w_{p2} - w_{\delta 1} \cdot k_{oc\delta 1}); \\ J_{p3} \frac{dw}{dt} &= C_3 (w_{\partial 3} - w_{p3} \cdot k_{ocp3}) - M_{cp3} - C_7 (w_{p3} - w_{\delta 2} \cdot k_{oc\delta 2}); \\ J_{p4} \frac{dw}{dt} &= C_4 (w_{\partial 4} - w_{p4} \cdot k_{ocp4}) - M_{cp4} - C_8 (w_{p4} - w_{\delta 2} \cdot k_{oc\delta 2}); \\ J_{\delta 1} \frac{dw}{dt} &= C_5 (w_{p1} - w_{\delta 1} \cdot k_{oc\delta 1}) + C_6 (w_{p2} - w_{\delta 1} \cdot k_{oc\delta 1}) + C_m (w_m - w_{\delta 1}) - M_{c1} - C_9 (w_{\delta 1} - w_{\delta 2}); \\ J_{\delta 2} \frac{dw}{dt} &= C_7 (w_{p3} - w_{\delta 2} \cdot k_{oc\delta 2}) + C_8 (w_{p4} - w_{\delta 2} \cdot k_{oc\delta 2}) + C_9 (w_{\delta 1} - w_{\delta 2}) - C_{10} (w_{\delta 2} - w_m) - M_{c2}. \end{aligned} \right\}$$

К рассмотрению был принят магистральный конвейер, со средним углом наклона 12° , резинолентосовой лентой шириной 1200 мм, длиной 1900 м и двумя регулируемыми приводными станциями (номинальная мощность каждой 1400 кВт). На рисунке 1 приводится схема конвейера.

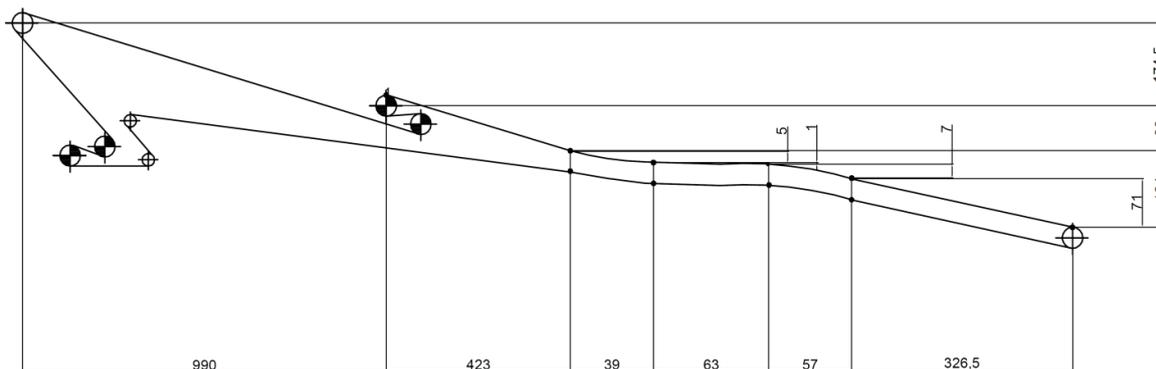


Рисунок 1 – Схема магистрального конвейера

Моделирование производилось в программе Matlab, пакет Simulink.

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Переход в генераторный режим может произойти только при том условии, что конвейер будет порожний.

2. Генераторный режим возможен при выполнении условий:

2.1. Задержка времени пуска одной станции относительно другой, составит больше 1/10 времени, необходимого для того, чтобы усилие от одной приводной станции передалось другой приводной станции. Скорость распространения динамической волны рассчитывается [4]:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где E – модуль упругости ленты, Н/м; ρ – плотность ленты, кг/м³.

2.2. Параметры одного из приводных двигателей будут отличаться от ближайшего на 5 % и более.

2.3. Время выбора зазоров в редукторе у двигателя, конструктивные параметры которого будут отличаться от ближайшего на 5 % и более больше, чем у остальных минимум на 40 %.

2.4. Выходная частота ПЧ двигателя, конструктивные параметры которого будут отличаться от ближайшего на 5 % и более, будет отличаться более чем на 0,4 % от ближайшей выходной частоты ПЧ другого привода. Следует учесть, что выходные частоты ПЧ остальных двигателей должны находиться в пределах $\pm 0,1$ %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев В. И. Теория электропривода: учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
2. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1979. 160 с.
3. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: учебник для студентов вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. 304 с.
4. Запенин И. В., Бельфор В. Е., Селищев Ю. А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1969.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ КОНВЕЙЕРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Бусыгин А. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При автоматизации технологических процессов наиболее часто приходится встречаться с инерционными статическими объектами, переходные характеристики которых имеют специфическую S-образную форму. Наклон, кривизна характеристики и ее расстояние от оси ординат зависят от динамических свойств конкретного объекта.

Одним из таких объектов является конвейер. При первом приближении конвейер можно описать передаточной функцией. Приведение звеньев n -го порядка к апериодическому звену [1].

$$W_O(p) = W'_O(p) \cdot e^{-\tau_O p} = \frac{k_O}{(T_{O_i} p + 1)^n} \cdot e^{-\tau_O p}. \quad (1)$$

Для простоты питание конвейера осуществляется через накопительный бункер, и как следствие – транспортное запаздывание, суть функция от скорости, а также производительность на входе конвейера тоже функция от скорости (см. рисунок 1).

Согласно методике [2] для объектов содержащих чистое запаздывание передаточная функция по каналу « $x_3 - x$ » должна быть равна не единице, а

$$\Phi_3(p) = 1 \cdot e^{-\tau_O p}. \quad (2)$$

Для выполнения условия (2) достаточно, чтобы ПФ УУ была равна

$$W_Y(p) = 1 / W'_O(p). \quad (3)$$

Соответственно ПФ регулятора для объекта с запаздыванием принимает вид регулятора Ресвика

$$W_P(p) = \frac{1}{(1 - e^{-\tau_O p}) \cdot W'_O(p)}. \quad (4)$$

Для повышения запаса устойчивости систем с регулятором (4) в их контур вводят дополнительные корректирующие звенья или ограничиваются неполной компенсацией инерционной части объекта. Естественно, что динамическая точность управления при этом ухудшается.

Идея нейтрализации запаздывания объекта реализуется также с помощью упредителя Смита, которым охватывают типовые регуляторы (см. рисунок 1).

Подставив передаточную функцию объекта (1) в передаточную функцию регулятора (2), идеальную для объектов с запаздыванием и произведя приближенную замену $e^{-\tau_O p} \cong 1 - \tau'_O p$, допустимую в области низких частот, т. е. при медленных воздействиях, получим:

$$W_P(p) = \frac{T'_O p + 1}{k_O \tau'_O p} = \frac{T'_O}{k_O \tau'_O} \left(1 + \frac{1}{T'_O p} \right). \quad (4)$$

Очевидно, что для объекта с инерционной частью первого порядка (1) регулятор Ресвика вырождается в ПИ-регулятор с настроечными параметрами:

$$k_P = \frac{T'_O}{k_O \tau'_O}; \quad T_H = T'_O.$$

Также для сравнения приведена САР с настроенным ПИД регулятором.

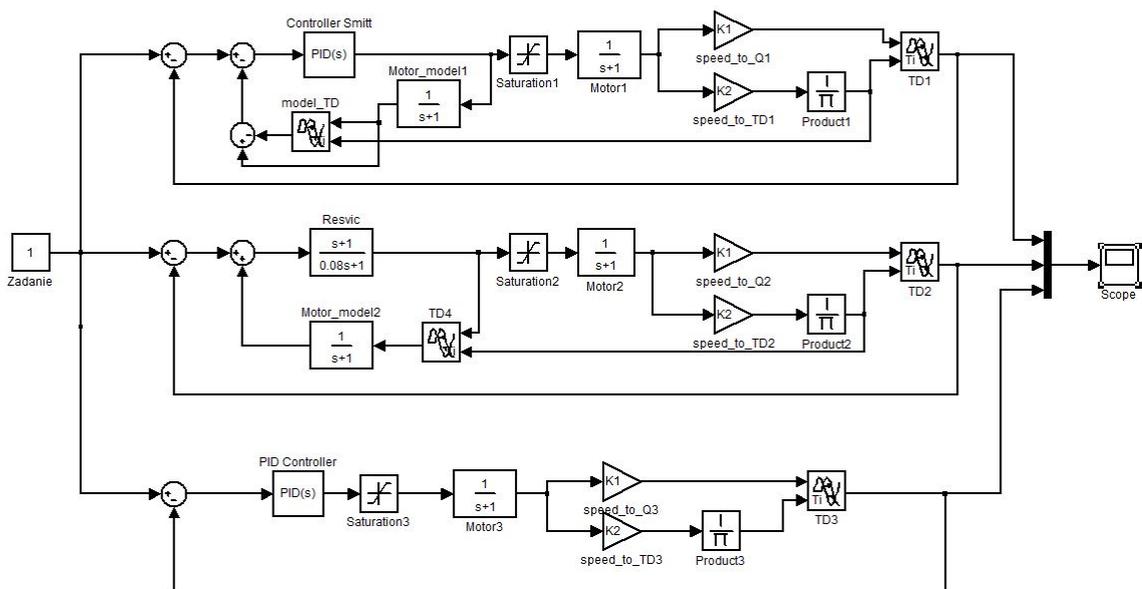


Рисунок 1 – Системы автоматического управления скоростью конвейера

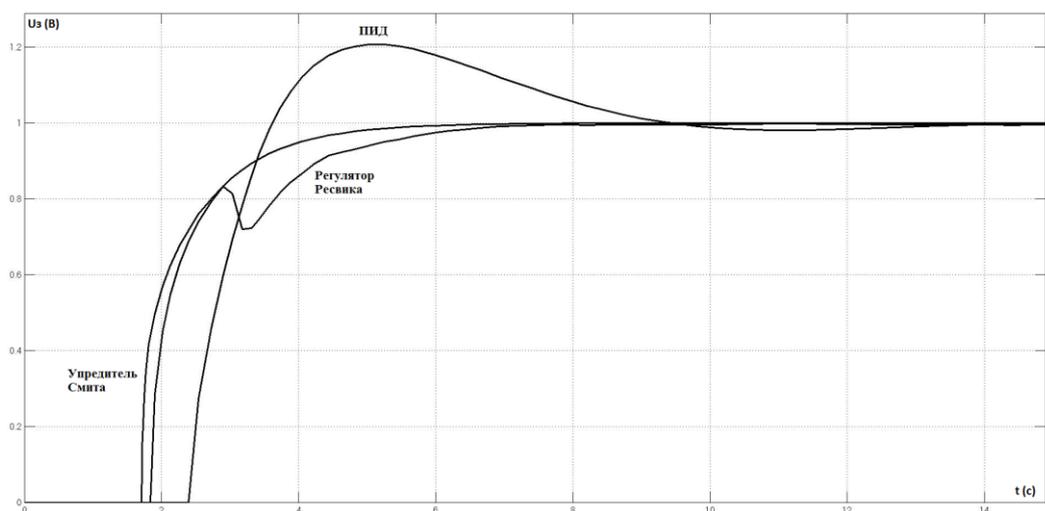


Рисунок 2 – Переходные процессы при малых длинах конвейера

Выводы. При не больших длинах конвейера упредитель Смита полностью повторяет переходной процесс системы без регулирования, с той лишь разницей, что в случае упредителя осуществляется контроль производительности.

В случае значительных длин конвейера регулятор Ресвика показывает наиболее быстрый переходной процесс, а обычный ПИД регулятор практически теряет свои функции (время переходного процесса чрезмерно большое).

Форсирование имеет смысл только на небольших транспортных запаздываниях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриева В. В. Методические указания Синтез системы управления с запаздыванием. – М.: Изд-во МГУ «Горная книга», 2006. 23 с.
2. Лукас В. А. Теория управления техническими системами: учеб. для вузов. 3-е изд. перераб. и доп. – Екатеринбург: УГГА, 2002. 675 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ И БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Галлямов А. И.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Вопросы эффективной работы насосно-силового оборудования в последние годы становятся все более актуальными в связи с ростом тарифов на электрическую энергию, расходы на которую в общей структуре затрат могут быть очень значительными.

Водоснабжение и водоотведение относится к отраслям промышленности с интенсивным использованием насосного оборудования, доля потребляемой насосами электроэнергии составляет более 50 % от общего энергопотребления [2]. Поэтому вопрос снижения затрат на электроэнергию для водоснабжающих организаций заключается, прежде всего, в эффективном использовании насосного оборудования.

Главные причины неэффективного использования насосного оборудования следующие:

1. Переразмеривание насосов, т. е. установка насосов с параметрами подачи и напора большими, чем требуется для обеспечения работы насосной системы.

2. Регулирование режима работы насоса при помощи задвижек.

Основные мероприятия, которые приводят к снижению энергопотребления и его размеры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы снижения энергопотребления в насосных системах

Метод снижения энергопотребления	Размер снижения энергопотребления, %
Замена регулирования подачи задвижкой на регулирование частотным преобразователем	10 – 60
Снижение частоты вращения	5 – 40
Каскадное регулирование при помощи параллельной установки насосов	10 – 30
Подрезка рабочего колеса, замена рабочего колеса	10 – 20
Замена электродвигателей на более эффективные	1 – 3
Замена насосов на более эффективные	1 – 2

Необходимо учитывать, что каждый из этих способов регулирования также следует применять, отталкиваясь от параметров сети, например, доли статической и динамической составляющих. При работе насоса с частотным регулированием на сеть с преимущественной статической составляющей снижение частоты вращения до 83 % от номинала приводит к снижению к.п.д. с 60 до 35 % и выходу рабочей точки за пределы рабочего диапазона [1]. Но работа того же насоса при различных частотах вращения на сеть с преимущественными потерями на трение приводит к тому, что рабочая точка смещается вдоль линии максимального к.п.д., и насос работает в оптимальном режиме на всех частотах. При каскадном регулировании режима работы насосной станции при помощи подключения необходимого количества насосов установленных параллельно, при работе сети с преимущественно статической составляющей суммарная подача увеличивается примерно на одно и то же значение. При работе на сеть с преимущественными потерями на трение, подключение каждого последующего насоса приводит к непропорциональному увеличению суммарной подачи, причем подключение каждого последующего насоса увеличивает подачу на меньшее значение. В связи с этим, применение каскадного регулирования приносит эффект в системах с преимущественной статической составляющей, а применение частотного привода рекомендуется для систем с преимущественными потерями на трение.

Для регулирования режима работы крупных вертикальных насосов, кроме того, используются поворотно-лопастные входные направляющие аппараты (ВНА), устанавливаемые непосредственно перед входом в насос. Поворот лопаток ВНА изменяет

крутизну напорных характеристик насоса, благодаря чему изменение подачи насоса происходит без превышения напоров. Этим и обусловлена энергетическая эффективность такого способа регулирования, которая тем выше, чем ниже расчетный напор.

Многие насосные и установки состоят из нескольких агрегатов и регулируемым электроприводом оборудуются не все. Из двух-трех агрегатов регулируемым электроприводом достаточно оснастить один. Если один преобразователь постоянно подключен к одному из агрегатов, имеет место неравномерное расходование их моторесурса. Для равномерного распределения нагрузки между всеми агрегатами, установленными на станции, разработаны станции группового управления, с помощью которых агрегаты могут поочередно подключаться к преобразователю.

Наряду с регулируемым электроприводом в энергосберегающих системах автоматизированного управления режимами работы насосных и воздуходувных установок находят применение устройства плавного пуска, которые, в отличие от регулируемого электропривода, не рассчитаны на длительную работу. После завершения пуска они отключаются от механизма, пущенного в работу, после чего используются для включения в работу других механизмов.

Регулируемый электропривод не всегда может решить проблемы, возникающие в ходе эксплуатации насосных установок. Проблемы возникают у насосов, обладающих помпажными характеристиками. Применение дросселирования в этом случае недопустимо, так как рабочая точка насоса при этом способе регулирования, перемещаясь по напорной характеристике насоса, все равно попадает в неустойчивую зону работы насоса. Режим помпажа сопровождается не только ударами в гидравлическом тракте агрегата, но и бросками тока в его электрической цепи, в том числе, в частотном преобразователе, поскольку изменение подачи насоса при помпаже сопровождается изменением потребляемой мощности и тока. Названные обстоятельства заставляют прибегать к самому неэкономичному способу регулирования — сбросу части воды из напорных коммуникаций во всасывающие коммуникации. В связи с этим разработан способ регулирования режимов работы насосных установок гидравлическим каскадом, который позволяет рекуперировать энергию сбрасываемой воды в систему энергоснабжения насосной установки. В состав гидравлического каскада входит гидрогенератор, частотный преобразователь, согласующий трансформатор. Использование каскада экономически целесообразно в установках достаточно большой мощности (500кВт и выше). Гидравлический каскад также применим, когда номенклатура регулируемых электроприводов не соответствует условиям их использования в насосной установке. Выход из строя каскада не нарушает работы установки в целом, в то время как выход из строя регулируемого электропривода выводит из строя один или несколько насосных агрегатов.

Наряду с вышесказанными решениями актуально применять станции управления и защиты (СУиЗ) [3], постоянный контроль которых позволяет вовремя заметить отклонения в работе насоса. Необходимо, чтобы станция позволяла контролировать параметры питающей сети и потребляемый ток при работе насоса. СУиЗ представляет собой комплекс решений по защите и безопасному ведению работ с насосными агрегатами и выполняет: защиту электродвигателя от перегрузки, недогрузки по току; защиту электродвигателя от обрыва или перекоса фаз; защиту электродвигателя от повышения, понижения сетевого напряжения; защиту электродвигателя от замыкания на корпус; защиту электродвигателя и насоса от «сухого» хода. Также СУиЗ автоматически поддерживает уровень воды в резервуаре.

Таким образом, выбор способа эксплуатации насосного оборудования должен быть основан на параметрах сети, контроле изменяемых параметров, экономичности и целесообразности в конкретных условиях, безопасности ведения работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.
2. Твердохлеб И. Б., Костюк А. В. Энергоэффективная эксплуатация насосного оборудования [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hms-pumps.ru/art/articles/category/3/message/31/>.
3. Станция управления насосами и защиты электродвигателей СУиЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hms-pumps.ru/syz.shtml>.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРИЕМНОГО БАКА ДРОБИЛКИ

Ельняков А. А.

Научный руководитель Елисеев В. В., канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Технологический процесс обогащения характеризуется накоплением жидких и сыпучих сред в емкостях с последующим их расходом по отдельным технологическим потокам. В связи с этим при автоматизации процессов необходимо решать задачи контроля запасов сред и материалов в емкостях объемного и массового расхода их. Кроме того, для реализации управления процессами необходим контроль качественных показателей потоков – плотности, гранулометрического состава, содержания полезных компонентов.

Перегрузка дробилки по количеству материала в пасти дробилки возникает, если производительность по исходной руде превышает максимально возможный расход через дробилку при данной ширине разгрузочной щели.

Из возможных регулирующих воздействий (производительность по исходной руде, частота качаний подвижного дробящего элемента и ширина разгрузочной щели) в настоящее время используется только одно — изменение производительности дробилки по исходной руде с воздействием на частоту вращения привода питателя, как наиболее просто технически реализуемое. Все применяемые схемы управления дробилками основаны на использовании этого управляющего воздействия.

При автоматическом управлении процессом дробления используют следующие принципы [1]:

а) стабилизация производительности дробилки по исходной руде изменением частоты вращения привода питателя ($Q=\text{const}; n=\text{var}$);

б) стабилизация мощности, потребляемой электроприводом дробилки, изменением частоты вращения привода питателя ($P=\text{const}; n=\text{var}$);

в) стабилизация суммарного сигнала производительности и мощности с воздействием на частоту вращения привода питателя ($U_Q+U_P=\text{const}; n=\text{var}$);

г) стабилизация уровня руды в пасти дробилки с воздействием на частоту вращения привода питателя ($H=\text{const}; n=\text{var}$).

Рассмотрим особенности применения этих принципов, используя статические характеристики дробилки по каналам «производительность — мощность» и «производительность — уровень загрузки» (рисунок 1).

Стабилизация уровня руды в пасти дробилки. Стабилизация уровня руды обеспечивает максимальную загрузку дробилки независимо от крупности и физико-механических свойств руды. Если спроектировать точки A_2, F_2, B_2 , соответствующие максимальному уровню руды для различной ее крупности, на статические характеристики мощности (точки A_1, F_1, B_1), можно видеть, что при стабилизации уровня ($H_3=H_m=\text{const}$) мощность, потребляемая приводом дробилки будет изменяться по кривой $A_1F_1B_1$. При этом при дроблении крупной руды производительность дробилки равна производительности, достигаемой при стабилизации производительности, и больше производительности, достигаемой при стабилизации мощности. При дроблении мелкой и мягкой руды производительность дробилки равна производительности при стабилизации мощности и больше производительности при стабилизации питания. Однако преимущества этого принципа управления не реализуются из-за отсутствия технических средств непрерывного контроля уровня руды в пасти дробилки. Применяемые для этих целей гамма-реле не позволяют осуществлять непрерывное регулирование. Релейный режим работы питателя дробилки приводит к преждевременному износу его привода и не позволяет регулировать производительность, чтобы мощность соответствовала кривой $A_1F_1B_1$ или близкой ей. Это приводит к недоиспользованию возможностей дробилки.

Автоматический контроль запасов сыпучих и жидких сред осуществляется по уровню их в емкостях.

Уровень жидких и сыпучих сред – один из немногих параметров процессов обогащения, измерение которого может быть осуществлено относительно несложными приборами, имеющими общепромышленное назначение, что позволяет удовлетворить требованиям автоматизации на обогатительной фабрике (ОФ). Под жидкими средами понимается пульпа, вода, реагенты, пенный слой и другие продукты. Сыпучие среды - это руда, дробленый продукт, высушенный концентрат и т. д.

Рисунок 1 – Графики зависимости $P=f(q)$ и $H=f(q)$ для пояснения принципов управления процессом дробления

Уровень сыпучих сред контролируется в бункерах, дробилках, мельницах сухого измельчения, перегрузочных узлах, разгрузочных камерах сушильных установок.

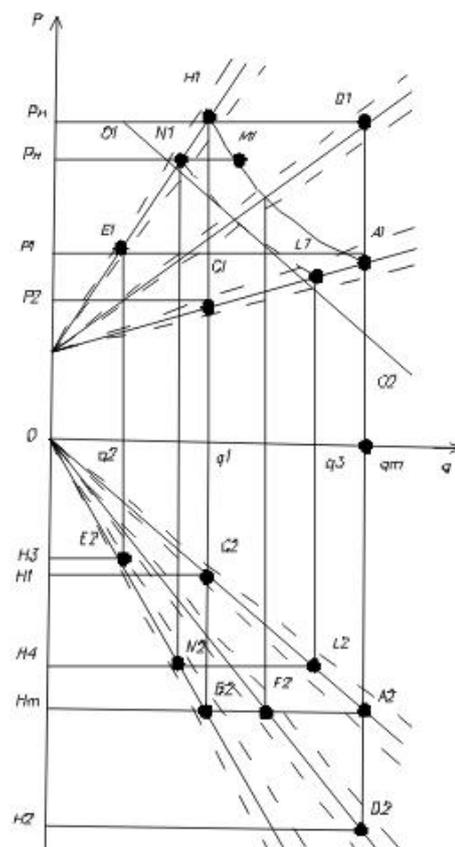
Для контроля уровня применяются сигнализаторы уровня, осуществляющие дискретный контроль одного или нескольких значений уровней, и уровнемеры, реализующие непрерывный контроль уровня в определенном диапазоне.

Устройства и способы измерения уровня реализованы на основе различных физических принципов, имеют разнообразные конструктивные и методические решения, поэтому их можно разделить на следующие группы [2]:

- механические;
- электромеханические;
- электрические;
- радиометрические;
- акустические;
- оптические.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троп А. Е., Козин В. З., Прокофьев Е. В. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. 303 с.
2. Прокофьев Е. В. Автоматизация обогатительных фабрик: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 121 с.



КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРЯМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛОПАТЫ

Корюков А. А.

Научный руководитель Карякин А. Л., д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Карьерный экскаватор представляет собой сложный динамический объект с взаимосвязанными между собой электромеханическими системами главных приводов, осуществляющих перемещение в пространстве рабочего органа. Проведение экспериментов и наблюдений на реальном экскаваторе, позволяющих получить наиболее полное представление о процессах, происходящих во время выполнения рабочего цикла, сопряжено с определенными трудностями. Достойной альтернативой такому методу получения данных является имитационное моделирование. Кроме того, оно позволяет получить данные для проектируемого, еще не существующего объекта.

Для получения наблюдений вектора состояния электромеханической системы главных приводов электрического карьерного экскаватора с рабочим оборудованием «прямая механическая лопата» была реализована его имитационная модель средствами MATLAB [1]. Модель предназначена для наблюдения динамики электромеханического комплекса карьерного экскаватора при выполнении им рабочего цикла путем решения дифференциальных уравнений методами Рунге-Кутты. В модели учтены нелинейности, обусловленные изменением точки схода подъемного каната с головных блоков и вращением следового подшипника. Также учитывается изменение моментов инерции главных приводов за счет изменения массы породы в ковше и изменение угла наклона поворотной платформы при вращении, обусловленное наклоном ходовой тележки. Сложность переходных процессов привела к необходимости реализации параллельных вычислений [2] на заранее сконфигурированном вычислительном кластере [3]. Интегрирование дифференциальных уравнений проводится последовательно, поэтому технология кластерных вычислений используется именно для параллельных вычислений, когда каждая рабочая сессия MATLAB моделирует отдельный рабочий цикл.

В модели решаются следующие задачи: определение положения рабочего оборудования с использованием инструментов искусственного интеллекта, вычисление усилий в механизмах главных приводов (обратная задача по отношению к определению массы породы в ковше [4]), позиционирование рабочего оборудования экскаватора.

Структура модели приведена на рисунке 1. Блок формирования сигналов задания выполняет функции машиниста: по информации о положении в пространстве рабочего органа, транспортного сосуда (отвала), геометрической форме забоя и степени заполнения ковша он подает системе управления электроприводами адекватные команды управления в виде вектора



сигналов задания u . Система электропривода обрабатывает возмущения, заданные вектором M_c и возвращает вектор угловых скоростей ω .

Рисунок 1 – Структура модели одноковшового экскаватора

Посредством передаточных механизмов движение передается рабочему органу, положение которого задается вектором l (длиной подъемного каната, вылетом рукояти и углом поворота платформы).

На следующем этапе осуществляется расчет положения рабочего оборудования во внешней системе координат, определяемого матрицей P и вычисление вектора статических усилий M_c в главных электроприводах.

Параметрами модели являются геометрические размеры элементов рабочего оборудования, их массы, параметры механических передач (коэффициенты полезного действия, передаточные числа, моменты инерции и т. п.) и технологические характеристики экскаватора (емкость ковша, максимальные и минимальные значения высоты и радиуса разгрузки, радиуса черпания на уровне стояния, высоты черпания и т. п.). Параметры обстановки (координаты точек разгрузки, начала копания, верхней бровки забоя) генерируются случайным образом в зависимости от технических характеристик экскаватора, указанных в его файле данных. Физические свойства пород, определяющие сопротивление грунта копанию задаются во внешнем файле с характеристиками пород.

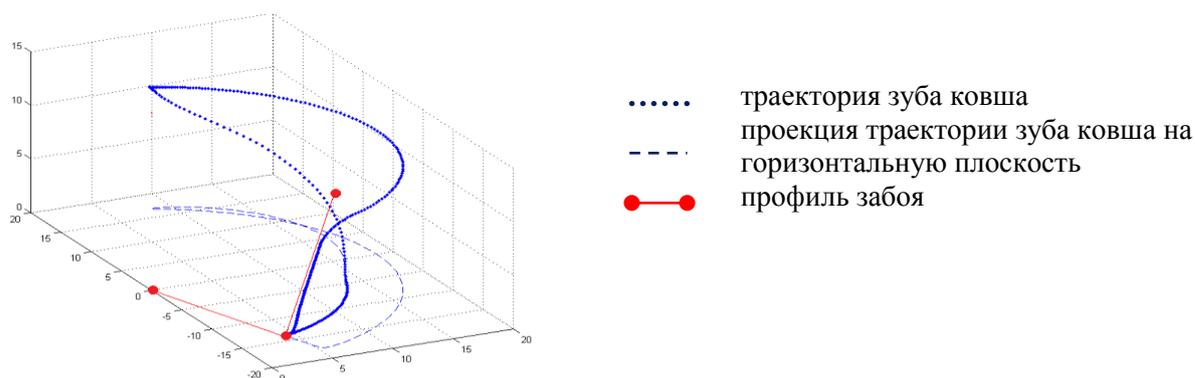


Рисунок 2 – Траектория перемещения зуба ковша ЭКГ-18

Модель была опробована с параметрами экскаватора ЭКГ-12А, работающего в забое с породами IV категории по трудности экскавации согласно [5]. В результате получена траектория движения зуба ковша, изображенная на рисунке 2. Таким образом, получена комплексная имитационная модель, реализованная на языке программирования MATLAB, позволяющая получить переходные процессы вектора состояния электромеханической системы главных приводов карьерного экскаватора при выполнении им операций рабочего цикла в заданных горно-технологических условиях, учитывающая все значительные нелинейности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корюков А. А. Моделирование рабочего цикла карьерного экскаватора в MATLAB // Научный вестник МГГУ. 2012. № 2 (35). С. 86-90.
2. Parallel Computing Toolbox™ User's Guide, The MathWorks Inc., 2008, 556 p.
3. MATLAB® Distributed Computing Server System Administrator's Guide, The MathWorks Inc., 2008, 73 p.
4. Бабенко А. Г., Полузадов В. Н., Дружинин А. В. Измерение массы полезного груза, перемещаемого подъемно-транспортной машиной циклического действия // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 4. С. 106-114.
5. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Часть 4 [Текст]: Экскавация и транспортирование горной массы автосамосвалами: Утв. Гос. ком. СССР... Постановлением Н 52/3-70 от 3 февр. 1988 г. – М.: Научно-исследовательский ин-т труда, 1989. 21 с.: табл.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ ЖИЛЫ ГИБКОГО КАБЕЛЯ ГОРНЫХ МАШИН

Кочемазов Ф. А.

Научный руководитель Стариков В. С., канд. техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Практика эксплуатации защитного заземления в условиях карьеров показала, что недостаток центрального заземления – возможность обрыва сети заземления, особенно заземляющей жилы гибкого кабеля. В связи с этим для повышения электробезопасности актуально применять непрерывный автоматический контроль целостности заземляющей сети, особенно на карьерах с малым числом экскаваторов и при низкой проводимости грунтов. Существующие устройства контроля различаются принципами работы, техническими параметрами и схемными решениями. Четкая и обоснованная классификация рассматриваемых систем позволяет наметить пути создания новых, более совершенных способов и устройств контроля параметров защитного заземления, удовлетворяющих требованиям безопасности. В электрических сетях карьеров должен осуществляться автоматический контроль целостности заземляющего проводника. Это предполагает создание контролируемой цепи, одним из элементов которой является заземляющий проводник; выбор источника питания контролируемой цепи; выбор устройства, контролирующего целостность заземляющего проводника.

Контролируемая цепь может быть создана заземляющим и контрольным проводниками. Контрольным проводником могут служить дополнительные проводники; экран кабеля; земля; силовые проводники, присоединенные через фильтр нулевой последовательности к заземляющему проводнику и контрольному устройству; силовой проводник, присоединенный к заземляющей жиле и контрольному устройству через фильтр токов промышленной частоты [2].

Контроль целостности заземляющей сети может осуществляться также без контролируемого проводника.

Как контрольный сигнал могут быть использованы источники постоянного тока, тока промышленной частоты, частоты, отличающейся от промышленной сверхвысоких частот.

Контроль параметров контролируемой цепи может осуществляться следующими способами [1]:

- 1) контроль сопротивления заземляющего проводника путем измерения силы тока, протекающего по заземляющему проводнику, и напряжения источника питания;
- 2) контроль сопротивления заземляющего проводника мостовым методом;
- 3) контроль сопротивления заземляющего проводника с помощью радиолокационного устройства;
- 4) контроль сигнала сверхвысокой частоты при использовании заземляющего проводника в качестве линии поверхностной волны.

Применение определенного способа создания контролируемой цепи, способа осуществления контроля параметров контролируемой цепи, а также вида источника контрольного сигнала обусловлено условиями эксплуатации и требованиями, предъявляемыми к устройству.

Исходя из анализа конструкций и работы известных устройств непрерывного контроля заземляющей сети передвижных электроустановок, сформирован ряд основных требований к ним:

- надежность функционирования и небольшая мощность;
- самоконтроль исправности устройства; безотказность действия и чувствительность при изменении сопротивления естественного контакта машины с грунтом в широких пределах;
- работоспособность при отсутствии напряжения в питающей сети;
- устройства не должны снижать параметры сопротивления изоляции питающей сети;

- отсутствие помех и режимов в сети, приводящих к ложной работе устройств релейной защиты, автоматики и телемеханизации;
- устройства не должны вносить в контур заземления дополнительного сопротивления;
- термическая стойкость к токам короткого замыкания.

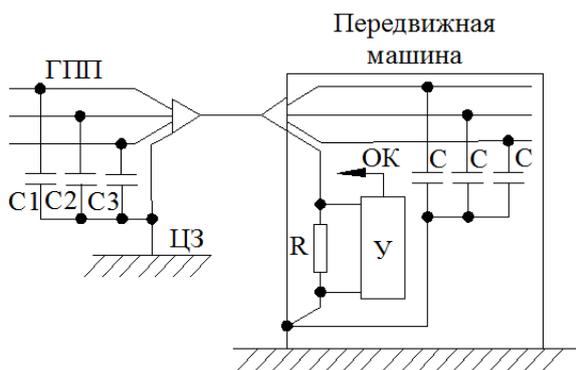
В зависимости от масштаба контроля устройства могут быть подразделены на устройства контроля целостности заземляющей жилы гибкого кабеля, устройства контроля непрерывности заземляющей цепи и системы, контролирующие параметры заземляющих устройств на карьере.

Разработка устройств контроля целостности заземляющей сети должна проводиться в соответствии с реальными условиями эксплуатации электрических сетей (наличие или отсутствие э.д.с, наводимых в контролируемой цепи, э.д.с, вызванных блуждающими постоянными токами; малые или больше сопротивления самозаземления электромеханического оборудования; вид и конструкция линии электропередачи от источника питания до потребителя). В качестве примера рассмотрим, как осуществляется автоматический контроль целостности цепи заземления карьерных установок. Устройства, контролирующие непрерывность заземляющей цепи, контролируют исправность заземления на всем протяжении от центрального заземлителя до передвижной электроустановки, а также и целостность заземляющей жилы кабеля. При этом в зону действия устройств контроля непрерывности заземляющей цепи попадают заземляющие магистрали (тросы) карьера и ответвления от магистралей к ПП, а в некоторых случаях переходные сопротивления местных заземлителей и контактов между грунтом и опорной поверхностью оборудования. Необходимость контроля целостности магистрального заземляющего троса диктуется тяжелыми условиями его эксплуатации, связанными с частым ремонтом сетей и производством взрывных работ в карьерах.

Устройство использует в качестве оперативного напряжения составляющую нулевой последовательности напряжения сети (рисунок 1). На стороне ГПП собрана несимметричная звезда конденсаторов, а на каждой передвижной машине установлена симметричная звезда конденсаторов, которые подключены к питающей сети. Концы заземляющей цепи подключают к нейтрали этих звезд через резистор R сопротивлением около 0,5 Ом; по цепи протекает сравнительно небольшой контрольный ток.

Рисунок 1 – Схема устройства контроля непрерывности заземляющей цепи с использованием составляющей нулевой последовательности

В нормальном режиме падение напряжения на резисторе от протекания контрольного тока подается на усилитель $У$, который соединен со схемой управления через выключатель. При неисправности заземляющей цепи напряжение на резисторе уменьшается, и усилитель подает сигнал на отключение передвижной электроустановки от питающей сети.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чеботаев Н. И. Электрификация горного производства. Ч. 1. Безопасность при эксплуатации электротехнических устройств горного производства: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006. 138 с.: ил.
2. Щуцкий В. И., Волотковский С. А., Чеботаев Н. И. Электрификация открытых горных работ. – М.: Недра, 1987. С. 332.

ЗАЩИТА ОТ КАСАНИЯ КОВШОМ ЭКСКАВАТОРА КОНТАКТНОГО ПРОВОДА

Прокофьев А. Н.

Научный руководитель Стариков В. С., канд. техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Основной особенностью работы контактной сети в условиях карьеров является появление в ней КЗ с большими токами замыкания (замыкание провода контактной сети на рельс вблизи тяговой подстанции) и КЗ с малыми токами, сравнимыми с токами нагрузки (обрыв контактного провода и падение его на землю, замыкание контактного провода на землю через горную массу в думпкаре, касание ковшом экскаватора контактного провода)* [1].

В условиях карьеров устраивается общая непрерывная сеть защитного заземления. В момент касания ковшом экскаватора контактного провода тяговой сети возникает опасность выхода из строя экскаваторного кабеля и нарушения непрерывности сети заземления карьера, а также опасность поражения электрическим током из-за появления опасного потенциала на корпусах электромеханического оборудования. Кроме того, растекание тока из заземляющей сети в грунт приводит к резкому увеличению интенсивности и зоны распространения блуждающих токов, что может привести к преждевременному воспламенению электродетонаторов. Эти обстоятельства, возникающие при эксплуатации карьерного электровозного транспорта, вызывают необходимость выполнения защиты от опасных последствий касания ковшом экскаватора контактного провода или при его падении на землю.

Снижение опасности электропоражения персонала при касании ковшом экскаватора контактного провода может быть достигнуто с помощью защитных устройств, которые можно разделить на три основных класса (направления):

- защитные устройства, не допускающие касания ковшом экскаватора контактного провода, находящегося под напряжением;
- защитные устройства, отключающие тяговую сеть при касании ковшом экскаватора контактного провода;
- устройства, ограничивающие распространение опасности аварии при касании ковшом экскаватора контактного провода.

К устройствам первого направления относятся устройства, обеспечивающие исключение возможности опасного приближения ковша экскаватора к контактному проводу или снятие рабочего напряжения с контактного провода забойной тяговой сети на время погрузки полезного ископаемого экскаватором.

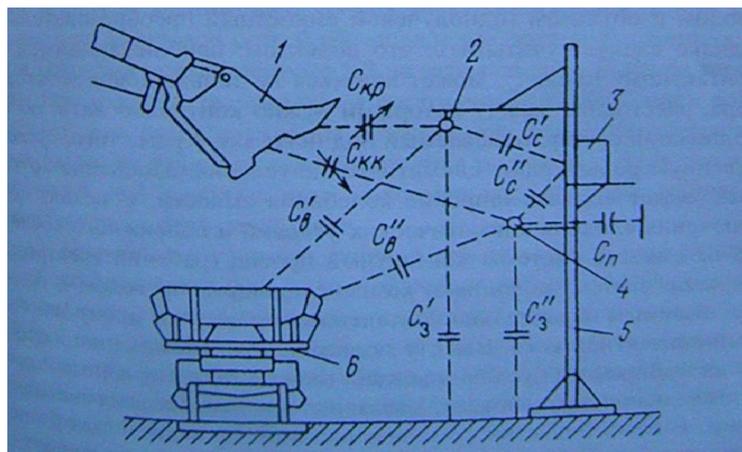
Из устройств защиты, не допускающих непосредственного касания ковшом экскаватора контактного провода, заслуживает внимание устройство, использующее емкостный принцип построения защиты (рисунок 1).

Устройство защиты представляет собой уравновешенный двухплечевой емкостный преобразователь расстояния, который включается в дифференциальную измерительную схему. При включении проводов, выполняющих роль чувствительных элементов, в противоположные плечи измерительной схемы значения емкостей взаимно компенсируются, сигнал на выходе устройства будет зависеть от разности $C_{кр} - C_{кк}$, т. е.

$$U_{ВЫХ} \sim C_{кр} - C_{кк} = \Delta C_0,$$

где $C_{кр}$ — емкость между контактным проводом и ковшом экскаватора; $C_{кк}$ — емкость между компенсационным проводом и ковшом экскаватора; ΔC_0 — разность емкостей проводников относительно ковша экскаватора.

* Чеботаев Н. И. Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ. – М.: Горная книга, 2006. 468с.: ил.



C'_3 и C''_3 – емкость проводников относительно поверхности земли; C'_c и C''_c – емкость соединительных кабелей; $C'_в$ и $C''_в$ – емкость проводов относительно вагона; C_n – подстроенный конденсатор для выравнивания емкостей обоих проводников.

Рисунок 1 – Положение экскаватора относительно контактного и компенсационного проводов

Как видно из рисунка 1, провод, используемый в качестве рабочего электрода, и земля как обкладки конденсатора создают емкость C'_3 , которая зависит от диаметра контактного провода 2, высоты его подвески над землей и длины.

При приближении к рабочему электроду такого конденсатора постороннего объекта емкость последнего изменяется, что дает возможность измерять расстояние между указанным электродом и объектом (однолучевой емкостный преобразователь). Однако следует учитывать, что объектом, приближающимся к контактному проводу, может являться не только ковш экскаватора, расстояние между которыми нужно контролировать, но и подвижной состав, подаваемый под погрузку. Кроме того, существенную роль играют климатические условия, изменение которых может вызвать широкие колебания емкости. С целью исключения влияния климатических условий и подвижного состава на емкость системы контактный провод (рабочий электрод) — земля систему дополняют компенсационным проводом 4, подвешиваемым параллельно контактному проводу на длину забойной контактной сети. Высоту подвески компенсационного провода выбирают из условия воздействия на него случайных объектов, например человека, оказавшегося непосредственно под ним. Высота подвески компенсационного провода может быть принята 3-3,5 м в зависимости от высоты подвески контактного провода.

Контактный и компенсационный провода, входящие в двухлучевой емкостный преобразователь, включаются в дифференциальную измерительную схему преобразующего устройства, с выхода которого подается сигнал $U_{вых}$ на отключение коммутационного аппарата, снимающего рабочее напряжение с контактного провода.

К устройствам второго направления относится ряд защит различного принципа действия. В частности, могут быть применены устройства защиты, реагирующие на скорость нарастания тока в переходном процессе, на разность токов в контактном проводе и рельсах или величину тока, протекающего по заземляющему контуру карьера. Принципиально возможно применение различных устройств, создающих искусственное замыкание тяговой сети с рельсами и заземляющим контуром в момент касания ковшом экскаватора контактного провода с целью увеличения аварийного тока.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГОРНЫХ МАШИН

Шамаль М. А., Карякин А. Л.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Электротехнические комплексы (ЭТК) горных машин являются сложными техническими системами, которые в процессе своей эксплуатации, с точки зрения числа отказов, проходят три основные стадии: приработку, нормальную эксплуатацию и износ. Если число отказов и длительность стадии приработки могут быть уменьшены за счет сокращения количества дефектов, возникающих на этапе проектирования, изготовления и монтажа систем ЭТК, то продлить срок нормальной эксплуатации ЭТК можно за счет использования эффективных методов технического обслуживания (ТО), в основе которых лежат методы технической диагностики [1].

Прогнозирование технического состояния ЭТК является одной из трех задач, решаемых в процессе технического диагностирования. Возможность оценки технического состояния ЭТК в будущем обеспечена положениями теории надежности [1]. На рисунке 1 представлена упрощенная структурная схема функционирования технической системы в период эксплуатации [1]. Согласно теории надежности, техническое состояние ЭТК есть результат двух видов взаимодействия: взаимодействие элементов внутри системы и взаимодействие элементов системы и окружающей среды.

Согласно модели функционирования ЭТК, представленной на рисунке 1, прогнозирование его технического состояния можно выполнить на основе прогнозирования вектора значений непрерывных диагностических сигналов $X(t)$, который необходимо привести к дискретному виду путем квантования по времени:

$$\mathbf{X}(k) = \mathbf{X}(t)h(t), \quad (1)$$

где $h(t)$ – последовательность единичных импульсов с периодом времени T . Задание периода квантования аналоговых сигналов необходимо для определения периода упреждения d дискретных последовательностей.



Рисунок 1 – Общая модель процесса функционирования электротехнического комплекса

На рисунке 2 представлена структурная схема системы прогнозирования дискретных диагностических последовательностей. Основной особенностью системы является разложение входной последовательности на компоненты с требуемыми свойствами, которые определяются свойствами найденной нами весовой функции [2]. Целевую функцию системы можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} e_l^h = f(d_l, p_l) \rightarrow \min \\ e_L^\Sigma = f(L, l) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (2)$$

где e_l^h – ошибка прогнозирования компонентов разложения, e_L^Σ – ошибка прогнозирования входной последовательности. Согласно (2), оптимизируемыми параметрами для прогнозирования компонентов является размерность p_l предиктора $H_{l,k}$ и интервал упреждения d_l , а для системы в целом необходимо найти оптимальное число L^* фильтров $W_{l,k}$ и число компонентов l^* , используемых в прогнозировании.

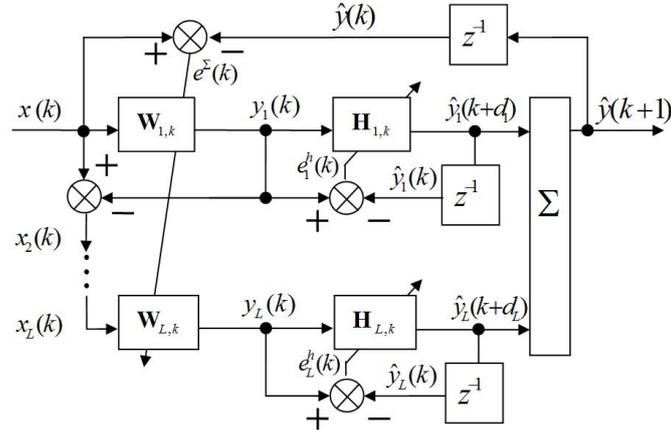


Рисунок 2 – Общая модель процесса прогнозирования дискретных диагностических сигналов электротехнических комплексов

На рисунке 3 и в таблице 1 представлены результаты прогнозирования сопротивления изоляции якорной цепи электропривода механизма подъема экскаватора ЭШ-40.100.

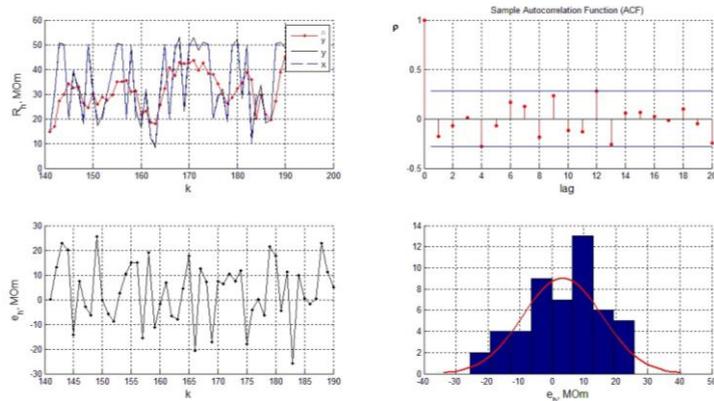


Рисунок 3 – Результаты прогнозирования сопротивления изоляции якорной цепи электропривода подъема экскаватора ЭШ-40.100

Таблица 1 – Результаты прогнозирования сопротивления изоляции

Параметр	L^*	l^*	$\sigma(e^\Sigma)$	$\mu(e^\Sigma)$
Значение	46	38	12,375	3,305

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проников А. С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
2. Шамаль М. А., Карякин А. Л. Аппроксимация динамических рядов моделью на основе радиальной базисной сети. // Изв. вузов. Горный журнал. 2006. № 6. С. 33-37.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ЗАЩИТНЫХ БЛОКИРОВОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Коломников А. А.

Научный руководитель Карякин А. Л. д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 15 сентября 2009 № 753 «Об утверждении технического регламента о безопасности машин и оборудования» (с изменениями от 18 октября 2010 г., 24 марта 2011 г.) утвержден технический регламент о безопасности машин и оборудования [2], и перечень машин и оборудования, подлежащих обязательной сертификации. В техническом регламенте изложены требования к безопасности машин и оборудования и их электроприводам, что делает актуальным вопрос о переработке алгоритмов управления электроприводов электрических мостовых кранов.

В соответствии с техническим регламентом главный подъем мостового крана должен содержать следующие защиты и блокировки: защита от превышения допустимой нагрузки, защита от чрезмерного опускания крюка, защита от чрезмерного поднятия крюка, кнопка аварийной остановки. В таблице 1 приведены защиты и блокировки для электропривода главного подъема крана мостового электрического грузоподъемностью 10 т.

Таблица 1 – Защиты и блокировки

Наименование привода	Функция контроля	Тип выключателя
Главный подъем	Аварийный выключатель рычажный, отключающий контактор механизмов подъемов в крайнем нижнем положении	КУ703АУ2 ТУ 16-526.059-75
	Аварийный выключатель рычажный, отключающий контактор механизмов подъемов в крайнем верхнем положении	КУ703АУ2 ТУ 16-526.059-75
	Ограничитель нагрузки крана. Прибор электронный с панелью оператора, отключающий механизмы подъема при превышении допустимой нагрузки и регистрирующий параметры работы механизмов подъема крана	ОНК-160М с датчиком усилия, установленным под барабан механизма подъема с регистратором параметров производства ОАО «Арзамаскранприбор»
	Кнопка аварийной остановки, отключающая контактор механизма подъема, при ее нажатии.	Грибовидная кнопка аварийный останов 1Н3 IP65. Производитель: SIEMENS

В соответствии с техническим регламентом главный подъем мостового крана будет содержать следующие режимы работы: Q_1 – выключен, Q_2 – работа на подъем, Q_3 – работа на спуск, Q_4 – стоп, Q_5 – авария. Управляющие сигналы: U_1 – включение двигателя на подъем, U_2 – включение двигателя на спуск, U_3 – сброс аварии, U_4 – включение/выключение главного контактора, U_5 – аварийный стоп. Обратные связи: r_0 – командоаппарат в нулевом положении, r_1 – конечный выключатель верхнего уровня, r_2 – конечный выключатель нижнего уровня, r_3 – перегруз. В соответствии с [1] составлена диаграмма переходов, которая изображена на рисунке 1. В таблице 2 приведены все возможные переходы.

Из состояния Q_1 (выключен) можно перейти в режим Q_4 (стоп) при включении главного контактора и при условии, что командоаппарат стоит в нулевом положении. Затем перейти в режим Q_2 (подъем) или Q_3 (спуск), при подаче сигнала U_1 или U_2 соответственно, но при условии, что командоаппарат находится не в нулевом положении (r_0). Перейти в режим Q_4 (стоп) после подъема или спуска можно, переведя командоаппарат в нулевое положение.

Если во время подъема или спуска сработал один из датчиков крайнего верхнего или крайнего нижнего положений, либо сработал датчик грузоподъемности, либо была нажата кнопка U_5 (аварийный стоп), то привод переходит в режим Q_5 (авария). Из режима Q_5 (авария) в режим Q_4 (стоп) переход возможен только после нажатия кнопки U_3 (сброс аварии).

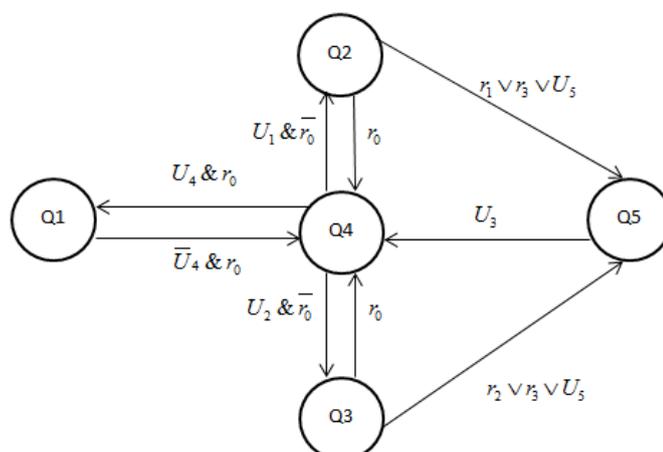


Рисунок 1 – Диаграмма переходов

Таблица 2 – Таблица переходов

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
$U_4 \cdot r_0$	-	-	-	1	-
$\bar{U}_4 \cdot r_0$	4	-	-	-	-
$U_1 \cdot \bar{r}_0$	-	-	-	2	-
r_0	-	4	4	-	-
$U_2 \cdot \bar{r}_0$	-	-	-	3	-
U_3	-	-	-	-	4
$r_1 \vee r_3 \vee U_5$	-	5	-	-	-
$r_2 \vee r_3 \vee U_5$	-	-	5	-	-

Переходы, не указанные в таблице, электропривод не выполняет.

Функции переходов:

$$Q_4 \cdot (U_4 \cdot r_0) \rightarrow Q_1,$$

$$Q_4 \cdot (U_1 \cdot \bar{r}_0) \rightarrow Q_2,$$

$$Q_4 \cdot (U_2 \cdot \bar{r}_0) \rightarrow Q_3,$$

$$Q_1 \cdot (\bar{U}_4 \cdot r_0) \vee (Q_2 \cdot r_0) \vee (Q_3 \cdot r_0) \vee (Q_5 \cdot U_3) \rightarrow Q_4,$$

$$(Q_2 \cdot (r_1 \vee r_3 \vee U_5)) \vee (Q_3 \cdot (r_2 \vee r_3 \vee U_5)) \rightarrow Q_5.$$

Составленный алгоритм управления мостовым краном удовлетворяет требованиям технического регламента, содержит все необходимые защиты и блокировки, и режимы работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпов Ю. Г. Теория автоматов. Санкт-Петербург [Текст]; 2003-208с;
2. Технический регламент: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gost.ru>.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Осипов П. А., Карякин А. Л.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Повысить производительность одноковшового экскаватора возможно путем организации обратной связи между машинистом и процессом экскавации. С этой целью экскаватор оснащают информационной системой, одним из основных показателей в которой является масса горной породы в ковше. Измерение массы возможно средствами электропривода на основе косвенных методов измерения [1].

Современный экскаваторный электропривод выполняют по системам ПЧ-АД или ТрП-Д. Сигналы электропривода, которые используются в информационной системе, являются цифровыми. В связи с этим, возникает задача выбора методов восстановления сигналов.

Постановка задачи. Измерение массы породы в ковше производится по статическому моменту электропривода механизма подъема ковша, который вычисляется в режиме реального времени. Электропривод механизма подъема ковша карьерного экскаватора ЭКГ-12А с вместимостью ковша 12 м³ выполнен по системе ТрП-Д и содержит: двигатель постоянного тока независимого возбуждения и транзисторный преобразователь. Из системы управления электроприводом данные поступают с частотой 20 мс и разрядностью 10 бит: I_a – ток якоря двигателя постоянного, А; U_a – напряжение якоря, В; I_e – ток возбуждения, А.

Момент статического сопротивления рассчитывается с помощью основного уравнения движения электропривода, преобразованного к виду: $M_C = M_{ЭД} - J \frac{d\omega}{dt}$.

Электромагнитный момент и скорость электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения вычисляется следующим образом:

$$M_{ЭД} = k \cdot \Phi \cdot I_a, \quad \omega = \frac{Y_a}{k \cdot \Phi} - M_{ЭД} \frac{R_a}{(k \cdot \Phi)^2},$$

где Φ – магнитный поток обмотки независимого возбуждения, Вб; R_a – суммарное сопротивление обмотки якоря, Ом; k – конструктивный коэффициент двигателя.

В вычислении статического момента участвует ток якоря I_a , напряжение якоря U_a и I_e ток возбуждения. Ток возбуждения изменяется в малых пределах и считается стабилизированным. Ток и напряжение якоря в течение динамического процесса на нескольких тактах квантования остаются неизменными (рисунок 1), за счет наличия погрешности дискретизации и возмущений в канале передачи данных. Поэтому в производной угловой частоты вращения появляется высокочастотная составляющая большой амплитуды, которая вносит значительную погрешность в вычисление статического момента.

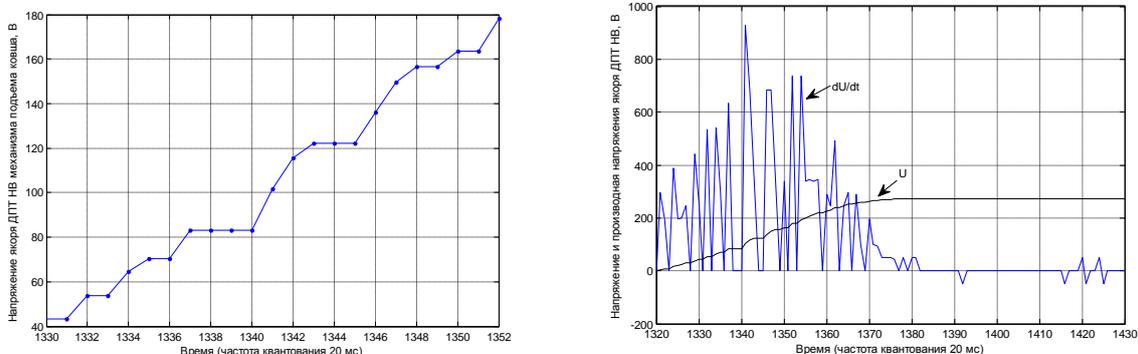


Рисунок 1 – Увеличенный фрагмент зависимости напряжения и производной по напряжению якоря двигателя постоянного тока механизма подъема ковша в процессе разгона

Методы восстановления сигналов в системах реального времени. Для восстановления сигнала на участках с нулевой производной рассмотрим методы линейной интерполяции и цифровой фильтрации.

Метод линейной интерполяции (рисунок 2) описывается следующим алгоритмом:

Если $dU/dt \neq 0$, то новое значение запоминается в переменную U_1 .

Если на следующем такте квантования $dU/dt = 0$, то к значению счетчика шага h добавляется 1. Если $dU/dt \neq 0$, то новое значение запоминается в переменную U_1 и интерполяция не производится.

Если на следующем такте квантования $dU/dt \neq 0$, то новое значение запоминается в переменную U_2 и производится линейная интерполяция промежуточных значений по выражению

$$U_{i+1} = U_i + \frac{U_2 - U_1}{h}.$$

Цифровой фильтр конструируется на основе аperiодического звена первого порядка с использованием аппроксимации Тастина [2]:

$$F_{i-1} = A \cdot f_i + B \cdot f_{i-1} + C \cdot F_{i-1},$$

где $A = \frac{T}{2 \cdot T_f + T}$, $B = \frac{T}{2 \cdot T_f + T}$, $C = \frac{2 \cdot T_f - T}{2 \cdot T_f + T}$ – коэффициенты уравнения фильтра;

T – шаг квантования по времени, $20 \cdot 10^{-3}$ с; T_f – постоянная времени фильтра, с.

Постоянная времени фильтра выбирается равной шагу квантования для обеспечения минимальной фазовой задержки.

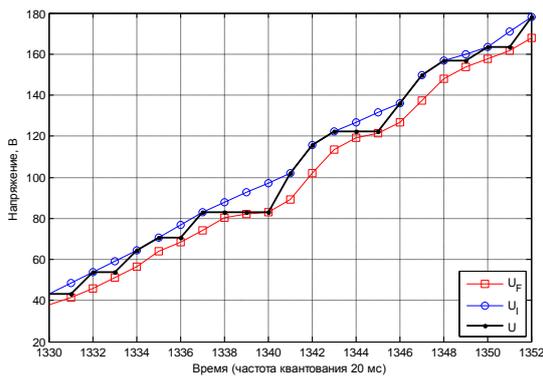


Рисунок 2 – Напряжение обмотки якоря U , интерполированный сигнал напряжения обмотки якоря U_1 , фильтрованный сигнал напряжения обмотки якоря U_F

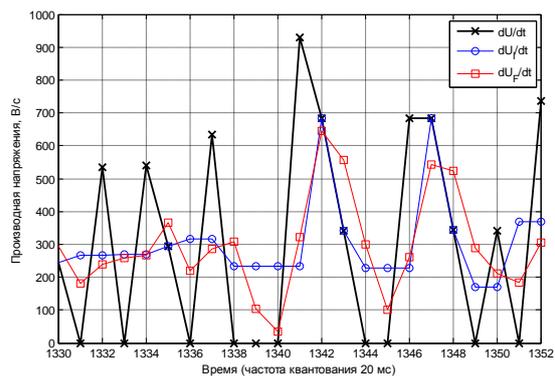


Рисунок 3 – Производная сигнала напряжения обмотки якоря dU/dt , производная фильтрованного значения напряжения dU_F/dt и интерполированного dU_1/dt

С целью оценки качества восстановления сигнала представлены графики (рисунок 3) производных напряжения для различных методов.

Заключение. Использование цифровых фильтров вносит фазовый сдвиг, что уменьшает точность вычислений. Интерполяционный метод не вносит фазовых задержек, однако для его реализации в системе реального времени необходимы буферные массивы, что повышает сложность реализации метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карякин А. Л. Метод измерения статического тока электропривода // Изв. вузов. Горный журнал. 2002. – № 2.
2. Бабенко А. Г. Цифровые системы управления: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 325 с.: ил.

ВЛИЯНИЕ ВИДА ФУНКЦИЙ АКТИВАЦИЙ НЕЙРОНОВ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ОШИБКУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Дегтярёв Е. А.

Научный руководитель Карякин А. Л., д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет»

Использование методов искусственного интеллекта для решения задач прогнозирования временных рядов находит практическое применение в современной электроэнергетике. Применение нейросетевых моделей в программах для составления заявок на приобретение электроэнергии позволяет существенно снизить погрешность между заявленными и потребленными объемами, и, соответственно, затраты предприятия на штрафы при их значительном рассогласовании.

В теории нейронных сетей [1-4] не дается рекомендаций по выбору функций активации нейронов применительно к различным структурам сетей, поэтому в данной работе ставилась задача рассмотреть возможные варианты архитектур нейронных сетей с различными функциями активации, проанализировать полученные в ходе экспериментов данные, обобщить полученный результат и выявить общие закономерности.

Экспериментирование проводилось на данных, полученных от ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий» для цеха агломерации. Предварительно весь совокупный объем факторов, оказывающий влияние на потребление электроэнергии, был изучен с помощью корреляционного анализа, на основе которого были выявлены наиболее значимые переменные.

Элементы теории вероятности и математической статистики позволяют обратиться к правилу трёх сигм [5], из которого следует: вероятность того, что абсолютная величина отклонения превысит утроенное среднее квадратичное отклонение, очень мала, а именно равна 0,0027 или 0,27 %. Поэтому сравнение сетей производилось по величинам математического ожидания и утроенного стандартного отклонения.

В результатах экспериментов, определен верхний предел изменения относительной ошибки прогноза на тестовом множестве (предельная относительная ошибка прогноза на тестовом множестве), т.е. $\bar{x} + 3\sigma$, где \bar{x} — среднее значение относительной ошибки прогноза на тестовом множестве, определяемое формулой, о. е.:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (1)$$

в которой x_i — значение относительной ошибки прогноза на тестовом множестве для i -ого опыта, о. е.; N — общее число опытов (наблюдений).

Стандартное выборочное отклонение рассчитывалось в соответствии со следующим выражением, о. е. [6]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

Были построены графики зависимости $(\bar{x} + 3\sigma)$ от вида функции активации и номера опыта, т.к. в первую очередь нас интересует максимально возможная ошибка прогноза, а не то, какова доля величин, принимающих участие в ее формировании. Для определения средней относительной ошибки прогноза на тестовом множестве во всех экспериментах проводилось 30 опытов.

При синтезе сетей для каждого типа архитектуры руководствовались одними и теми же принципами, обеспечивая тем самым одинаковый порядок формирования структур сетей:

число нейронов во входном слое сети принимается равным числу входных переменных, число нейронов в промежуточном слое сети определяется в соответствии с формулами (4) и (5) [3]:

$$\frac{mN}{1+\log_2 N} \leq L_w \leq (N+m)(n+m+1)+m, \quad (4)$$

где m — размерность выходного сигнала, ед.; N — число элементов обучающей выборки, шт.; n — размерность входного сигнала, ед.; L_w — необходимое число синаптических весов.

Оценив необходимое число весов, можно рассчитать число нейронов в скрытых слоях:

$$L = \frac{L_w}{n+m}. \quad (5)$$

Были рассмотрены следующие функции активации нейронов: *logsig* – логарифмическая (сигмоидальная); *purelin* – линейная; *tansig* – гиперболический тангенс (сигмоидальная).

По полученным в результате опытов таблицам можно оценить влияние вида функций активации нейрона на величину прогноза для однослойных сетей (\bar{x} , σ , $\bar{x} \pm 3\sigma$, $\bar{x} + 3\sigma$). Число возможных вариантов сетей для одного типа архитектуры (числа слоев) в зависимости от вида используемых функций активации нейронов определялось с помощью элементов комбинаторики.

Результаты, полученные в ходе опытов при одно-, двух- и трехслойных сетях. Предельные относительные ошибки прогноза на тестовом множестве $\bar{x} + 3\sigma$ для однослойной и двухслойной сети (при отдельных вариантах комбинаций функций активации нейронов по слоям) находятся, примерно, на одном уровне и меньше, по отношению к ошибке прогноза трехслойной сети, на $0,2 \div 0,3$ %.

Не все сочетания функций активации, для нейронов входного, промежуточного и выходного слоев, приемлемы с точки зрения точности выдаваемого результата. Для двух- и трехслойных сетей сочетание функций активации нейронов *purelin*, для всех слоев, дает минимальную величину отклонения.

Среди трехслойных сетей наилучшим образом обобщать результат на новые наблюдения способны сети, имеющие нейрон в выходном слое с линейной функцией активации, затем следуют сети с логарифмическими функциями активации, наихудшие результаты показывают сети с гиперболическим тангенсом в качестве функции активации выходного нейрона сети. Можно уверенно говорить о том, что сети, имеющие в выходном слое сети нейрон с линейной функцией активации, способны с достаточной степенью точности прогнозировать значение потребления электроэнергии.

Установлено, что число входных переменных слабо влияет на предельную относительную ошибку прогноза для первых пяти наблюдений. Для последующих наблюдений сеть с 16 входными переменными показывает лучшие результаты. Изменение числа предикторов меняет устойчивость сетей, с точки зрения числа возможных вариантов их построения, дающих приемлемые результаты. Более устойчивыми оказались сети с 14 и 16 предикторами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Пер. с англ. Н. Н. Куссуль и А. Ю. Шелестова. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.: ил. – Парал. тит. англ.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. 452 с: ил.
3. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с.: ил.
4. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.: ил.
5. Баврин И. И. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 2005. – 160 с: ил.
6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. 272 с.: ил.