

шк., 2004.

4. Стенников В.А., Головщиков В.О. Розничный рынок электрической и тепловой энергии – проблемы и перспективы развития // Энергетик. 2019. № 6. С. 3–9.

5. Топливо-энергетический комплекс Иркутской области: современное состояние и перспективы развития / под ред. Б.Г. Санеева, П.А. Воронина. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. - 304с.

УДК 621.3

Коновалов Юрий Васильевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

Павлов Владимир Евгеньевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электропривод и электрический транспорт»,
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
e-mail: pview52@mail.ru*

Дубовец Максим Алексеевич,

*обучающийся группы ЭАПЭб-22-1,
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
e-mail: askthe00233100@mail.ru*

Азенштейн Дмитрий Борисович,

*обучающийся группы ЭАПЭб-22-1,
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
e-mail: augustazh@mail.ru*

ЗАМЕРЫ КОСВЕННЫХ ВЕЛИЧИН ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Konovalev Yu.V., Pavlov V.E., Dubovets M.A., Azenstein D.B.

MEASUREMENTS OF INDIRECT VALUES BY PARAMETERS OF ELECTRIC DRIVES OF MINING EXCAVATORS

Аннотация. Приведены результаты исследования разработанной математической модели и лабораторной установки двигателя подъема карьерного экскаватора, позволяющих с наименьшим вмешательством в систему управления экскаватора получать сигнал тока, пропорционального весу перемещаемой в ковше горной массы.

Ключевые слова: математическое моделирование, лабораторная установка, двигатель подъема, карьерный экскаватор, вес, горная масса.

Abstract. The results of the study of the developed mathematical model and laboratory installation of the lifting engine of a mining excavator, which allow, with the least intervention in the control system of the excavator, to receive a current signal proportional to the weight of the rock mass moving in the bucket are presented.

Keywords: mathematical modeling, laboratory installation, lifting engine, mining excavator, weight, rock mass.

Режимы работы электроприводов определяются их нагрузкой. Поэтому по режимным параметрам приводного электродвигателя можно косвенно оценить параметры нагрузки. Например, существует задача определения веса перемещаемой экскаваторами серии ЭКГ (экскаватор карьерный гусеничный) горной массы. На этих экскаваторах для привода основных механизмов используются двигатели постоянного тока (ДПТ) [1-3].

Электропривода с ДПТ обеспечивают непрерывное управление скоростью механизма во всех режимах с высокими показателями точности и качества регулирования основных координат движения рабочего органа. Поэтому для индивидуального электропривода основных механизмов одноковшовых экскаваторов с емкостью ковша выше 2 м³ в настоящее время применяются двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, управляемые изменением напряжения в

цепи якоря по системе управляемый преобразователь – двигатель (УП-Д). В качестве управляемого преобразователя используют генератор постоянного тока, тогда получается система Г-Д, или тиристорный преобразователь – получается система ТП-Д.

Несмотря на многие преимущества системы ТП-Д (повышенное значение КПД, бесшумность, отсутствие вращающихся частей) в экскаваторном приводе для питания цепей якоря она находит пока еще ограниченное применение. Электропривод по системе ТП-Д совместно с фильтрокомпенсирующими устройствами, необходимыми для улучшения коэффициента мощности и снижения искажений питающей сети, пока имеет более высокие массогабаритные показатели, стоимость и меньшую эксплуатационную надежность, чем система Г-Д. В настоящее время наибольшее применение находит система Г-Д с питанием обмотки возбуждения генератора от тиристорного возбудителя (ТВ-Г-Д).

Одна из возможных схем электропривода экскаватора по системе ТВ-Г-Д приведена на рисунке 1. В этой схеме используется преобразователь UZ с системой импульсного фазового управления, выполненной на магнитном усилителе (МУ) с горизонтальной системой управления тиристорными преобразователями, что позволяет иметь потенциально развязанные входы для каждой из обратных связей. Формирующая положительная связь по напряжению генератора вводится на вход магнитного усилителя возбудителя UZ. Возбудитель также выполняет функцию звена ограничения тока, поэтому на управляющую обмотку магнитного усилителя UZ воздействует сигнал отрицательной связи по току якорной цепи.

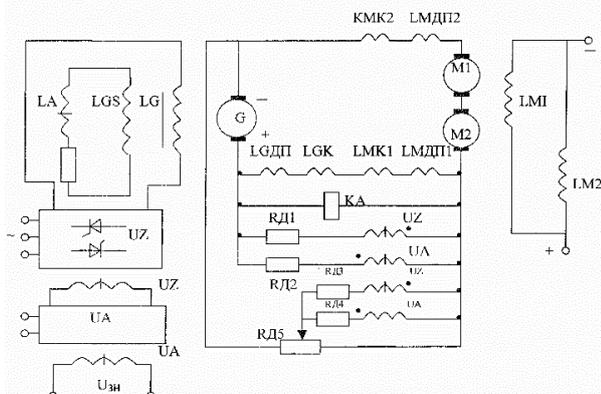


Рисунок 1 – Схема электропривода экскаватора по системе ТВ-Г-Д

Задающая обмотка МУ возбудителя UZ получает питание от регулятора напряжения UA, функции которого выполняет реверсивный магнитный усилитель. Магнитные усилители возбудителя UZ и UA работают за счет изменения индуктивности рабочей цепи при различной степени насыщения сердечников, что приводит к регулированию величины напряжения и к изменению угла выходного напряжения. Величина напряжения изменяется от нуля при ненасыщенном усилителе до напряжения максимального U_{\max} , при этом угол управления $\alpha = 90^\circ$ до $\alpha = 0$ при насыщенном сердечнике. На обмотку управления UA действует сигнал задания напряжения – U_{zn} для повышения жесткости механической характеристики двигателя за счет стабилизации напряжения генератора. В системе управления действует отрицательная обратная связь по напряжению (ОН) в регуляторе UA, и положительная обратная связь по току (ОТ). Для электропривода механизма поворота обратная связь по току, как правило, не применяется. Это вызвано необходимостью демпфирования колебания ковша после выхода на установившуюся скорость, чему способствует пониженная жесткость механической характеристики.

Обычно положительная связь по току устанавливается из расчета, чтобы напряжение на выходе генератора, на рабочем участке, при изменении нагрузки оставалось постоянным. Для электропривода подъема и тяги, желательнее меньшее заполнение экскаваторной характеристики с коэффициентом отсечки $K_{omc} = 0,7 \dots 0,8$. Поэтому положительная обратная связь по напряжению ОН возбудителя UZ делается слабее, что приводит к уменьшению K_{omc} . В схеме, кроме того, предусмотрена гибкая отрицательная обратная связь по ЭДС генератора ОГ в регуляторе UA [2].

С целью обоснованности данного решения предварительно было выполнено математическое моделирование процессов в электроприводе экскаватора. Математический аппарат базируется на уравнениях электрического и механического равновесия для системы генератор-двигатель.

В соответствии с этими уравнениями, разработана структурная схема двух массовой механической системы привода подъема, представленная на рисунке 2, где схема а) – без учета переменных потерь, и б) – с учетом переменных потерь.

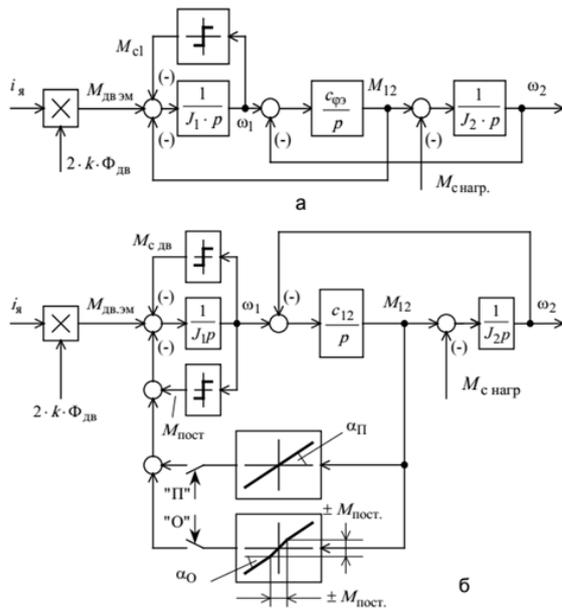


Рисунок 2 – Структурная схема двух массовый механической системы привода подъема экскаватора серии ЭКГ

В соответствии с этой структурной схемой и с использованием возможностей структурного и имитационного моделирования программного продукта MathLab, разработана модель двухдвигательного электропривода экскаватора ЭКГ, блочная структура которой приведена на рисунке 3.

Разработанный математический аппарат, применительно к экскаватору серии ЭКГ, позволил смоделировать весь цикл погрузки для электропривода подъема экскаватора. На полученных осциллограммах, представленных на рисунке 4, отражаются скорость электродвигателя, ток якоря, ток возбуждения и момент на валу двигателя.

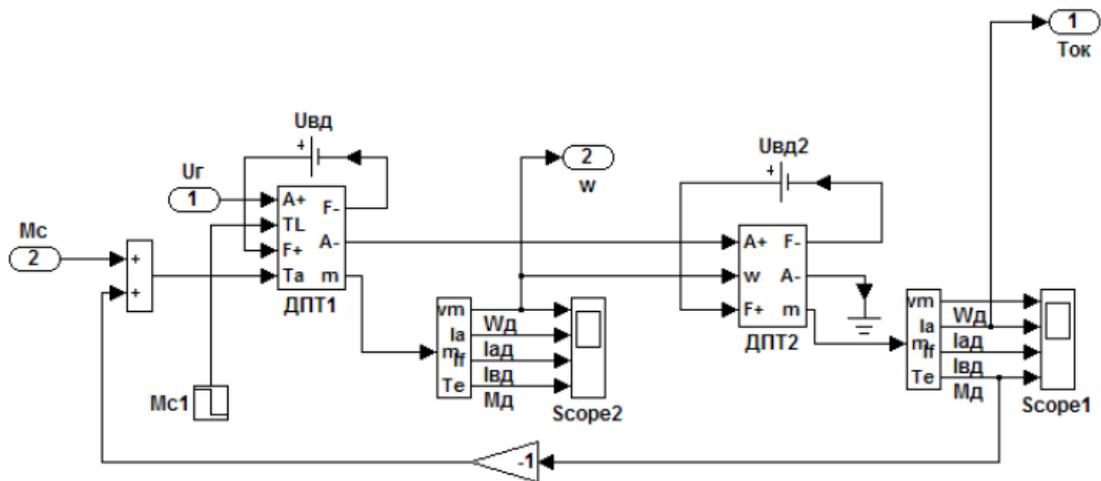


Рисунок 3 – Блочная структура модели двухдвигательного электропривода экскаватора ЭК

Для проверки адекватности разработанной математической модели в лаборатории современных систем электроприводов кафедры ЭиЭТ ИРНИТУ проведены исследования на двигателе постоянного тока с независимым возбуждением, как и у экскаватора ЭКГ. Модель, внешний вид которой показан на рисунке 5, позволяет, в соответствии с циклом погрузки экскаватора, нагружать исследуемый электродвигатель и снимать параметры, пропорциональные весу перемещаемого угла. Для выделения тока в рассматриваемом цикле работы, который несет адекватную информацию, определяемую весом перемещаемой горной массы, и преобра-

зования данного тока в сигнал, пропорциональный весу, разработана схема и программа на базе аппаратных средств Arduino [4, 5].

В данной схеме сигнал тока снимается с помощью датчика тока ACS712 и подается на плату Arduino в соответствии с рисунком 6. Датчик тока подключается к нагрузке в разрыв цепи через колодки под винт. Для работы с датчиком используется библиотека TroykaCurrent, которая переводит значения выхода датчика в миллиамперы. В листинге на рисунке 7 представлен фрагмент программы, загруженной в контроллер Arduino для измерения постоянного тока.

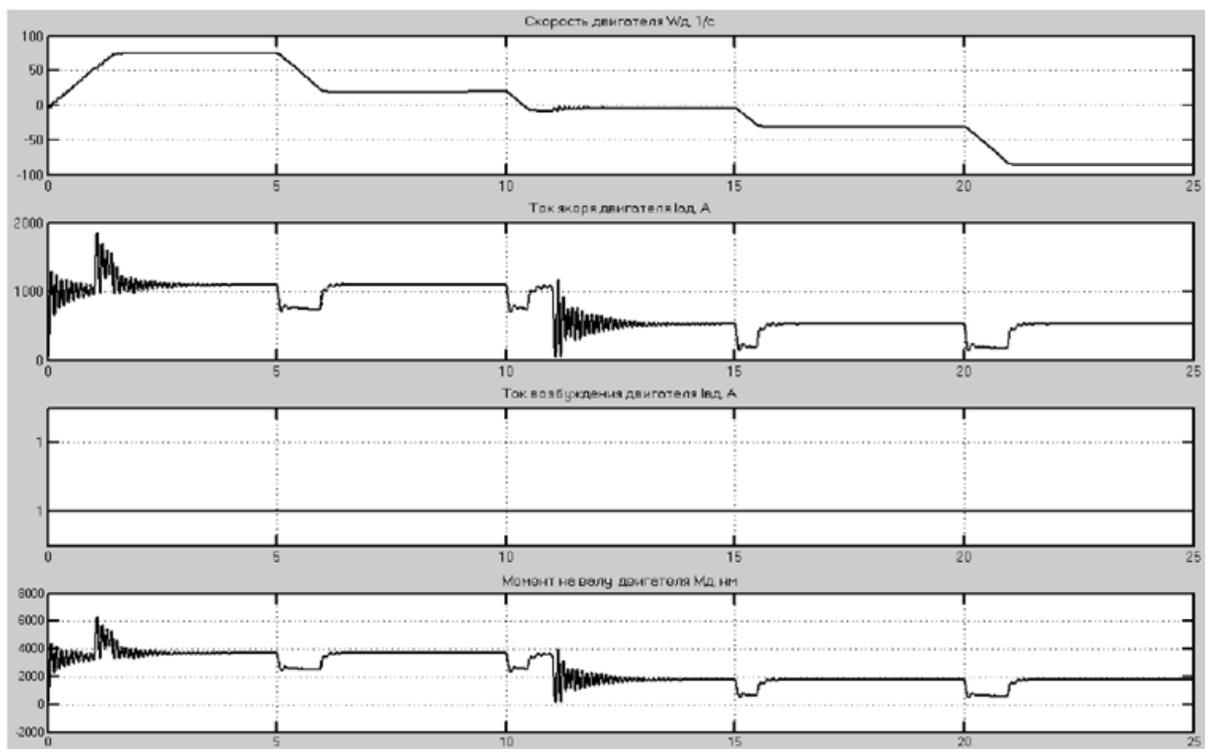


Рисунок 4 – Осциллограммы скорости, тока якоря, тока возбуждения и момента на валу двигателя за цикл погрузки-разгрузки

Этот ток выводится на индикаторную панель и передается на микроконтроллер. Программа позволяет выделить необходимую токовую нагрузку и, с учетом математически и экспериментально обоснованных коэффициентов, получить сигнал, пропорциональный весу угля в ковше и вывести его на монитор машиниста экскаватора.

Таким образом в лабораторных условиях разработана прототипированная модель двигателя подъема экскаватора ЭКГ, которая позволяет с наименьшим вмешательством в систему управления экскаватора получать сигнал тока, пропорциональный весу перемещаемой в ковше горной массы.

Если дополнительные экспериментальные исследования в реальных условиях покажут нестабильность напряжения, то в схему будет введен датчик напряжения и выделен сигнал мощности.

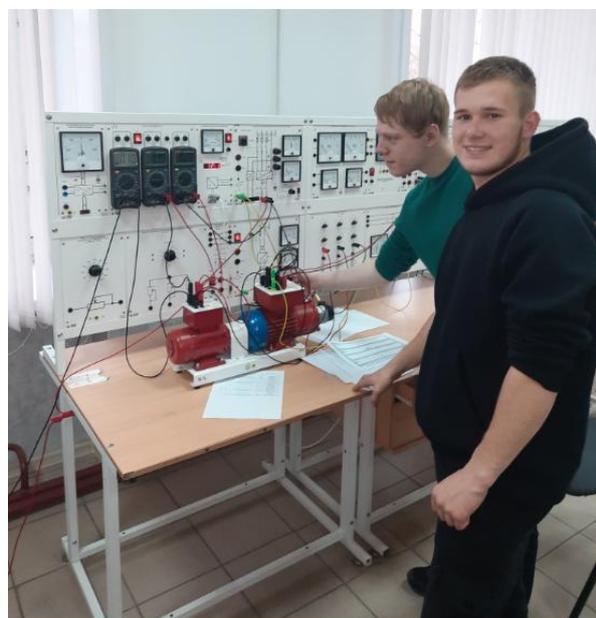


Рисунок 5 – Прототипированная модель двигателя подъема экскаватора ЭКГ

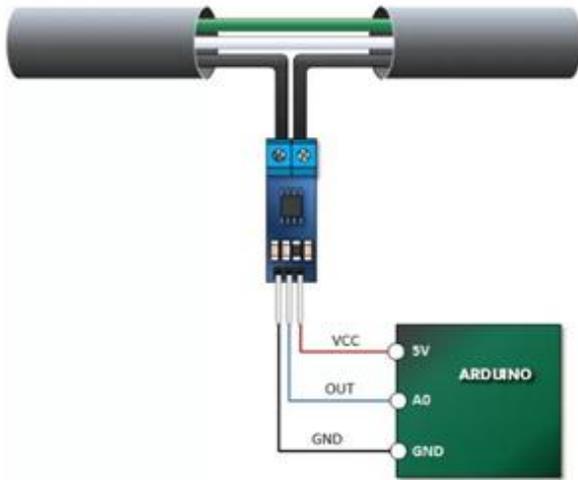


Рисунок 6 – Подключение датчика тока ACS712 к плате Arduino

```

1 // пин подключения контакта OUT
2 #define PIN_OUT A0
3 // подключение библиотеки
4 #include <TroykaCurrent.h>
5
6 // создание объекта
7 ACS712 dataI(PIN_OUT);
8
9 void setup()
10 {
11 // Запуск последовательного порта
12 Serial.begin(9600);
13 }
14
15 void loop()
16 {
17 // вывод показаний в последовательный порт
18 Serial.print("I = ");
19 Serial.print(dataI.readCurrentDC());
20 Serial.println(" A");
21 delay(1000);
22 }
    
```

Рисунок 7 – Фрагмент программы, загруженной в контроллер Arduino для измерения постоянного тока

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. – М.: Недра, 2003. – 591 с.
2. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седаков Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов. Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра», 1975. 312 с.
3. Дроздова Л.Г. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт: учеб. пособие / Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 235 с.
4. Плата Arduino Nano v 3.0: распиновка, схемы, драйвер. [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/> (обращение 02.11.2022).
5. Датчик тока ACS712. [Электронный ресурс] URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-toka-acs712/> (обращение 30.10.2022).