

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 9 - 2023

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2023. - № 9. – 390 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоемких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 6-9 июня 2023 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМЫ 1С: ДОКУМЕНТООБОРОТ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК NAUMEN SERVICE DESK.....	253
Матюшкин Г.В., д.т.н. Кулаков С.М.....	253
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	253
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПИРОЛИЗА И ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY	258
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А.	258
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	258
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СКИПОВОГО ПОДЪЕМА ЦР6х3,2/0,75 АБАКАНСКОГО РУДНИКА	261
д.т.н. Островляничик В.Ю., к.т.н. Кубарев В.А., Маршев Д.А., к.т.н. Поползин И.Ю.....	261
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	261
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ И ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ.....	267
д.т.н. Островляничик В.Ю., к.т.н. Кубарев В.А, Маршев Д.А., к.т.н. Поползин И.Ю.....	267
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	267
ИЗМЕРЕНИЕ ДВИЖУЩЕГО МОМЕНТА И МАССЫ ГРУЗА В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ДВУХСКИПОВОЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ... ..	272
к.т.н. Поползин И.Ю.....	272
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	272
О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЕЛИЧИНАМ ПРИВОДА С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАНАТАХ	276
к.т.н. Кипервассер М.В., к. ф.-м.н., Хаимзон Б.Б., к.т.н. Симаков В.П.	276
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	276
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATHLAB/SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	280
Стищенко К.П., к.т.н. Кипервассер М.В.	280
Сибирский государственный индустриальный университет. г. Новокузнецк, Россия.....	280
ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ МОЩНОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 кВ.....	286
Бедарев М.А., Коновалов О.В., Мамонтов Д.Н., к.т.н. Кипервассер М.В.....	286
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	286
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УГОЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРАНАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ.....	291
^{1,2} д.т.н. Зеньков И. В., ³ Мулюшкина А.А.	291
1 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	291
2 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Красноярск, Россия.....	291
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия	291
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА	294
к.т.н. Кузнецова Е.С., Усова Э.А., Комарова О.В., Качурин А.С.	294
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.....	294
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	298
¹ к.т.н. Кузнецова Е.С., ² Кузьмина С.Ю., ³ Кузьмин С.А.....	298

10. Бычков Е.В., Христич И.П. Измерение крутящего момента на валу асинхронного электродвигателя // Нефть и газ. – 1998. – № 3. – С. 107–109.

11. Шахтный подъем / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром; под общ. ред. Б. А. Грядущего и В. А. Корсуна. – Донецк : ООО «Юго-Восток ЛТД», 2007. – 624 с.

УДК 622.67

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЕЛИЧИНАМ ПРИВОДА С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАНАТАХ

к.т.н. Кипервассер М.В., к. ф-м.н., Хаимзон Б.Б., к.т.н. Симаков В.П.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы влияния волновых процессов в канатах шахтных подъемных установок (ШПУ) на электрические величины электропривода при возникновении аварийной ситуации зависания сосуда и напуска каната. Составлено совместное описание электрической и механической подсистем ШПУ с электроприводом постоянного тока и учётом волновых процессов в канатах.

Ключевые слова: подъемный канат, шахтная подъемная установка, волновые процессы, электропривод постоянного тока.

Диагностика аварийных ситуаций для шахтных подъемных установок (ШПУ) является одной из приоритетных задач при их эксплуатации. Своевременное и точное распознавание места возникновения и характера аварийной ситуации позволяет уменьшить время срабатывания защитных устройств, снизить тяжесть последствий аварии.

При проектировании и настройке электроприводов шахтных подъемных установок, а также схем защиты, как правило, механическая часть ШПУ рассматривается как одномассовая система [1]. При таком рассмотрении учёт упругости канатов и волновых процессов в них не выполняется. Известно, что, при значительных длинах подъемных канатов динамические нагрузки в канатах, возникающие при разгоне, замедлении привода и по другим причинам, обуславливают волновой характер деформации каната и колебания внутренних напряжений в нём [2, 3]. Последнее приводит к колебаниям момента на валу, отклонению тахограммы привода от заданной и величины токов электродвигателей от расчётных значений. В свою очередь такие отклонения могут привести к некорректной работе схемы управления и защиты электропривода. В этой связи при разработке систем управления и защиты электроприводом ШПУ желательнее учитывать волновые явления в канатах ШПУ.

В [2, 4] предлагаются эквивалентные схемы разбиения головных и уравнивающих канатов на некоторое количество частей, представляющих собой массы, соединённые вязкоупругими связями. В [5] приведены результаты изучения динамических процессов в канатах шахтных подъемных установок без учёта и с учётом упругости каната, получено математическое описание динамических процессов колебательного характера в канатах подъемников небольшой глубины подъема (до 150 м). В [6] получены уравнения динамического процесса для одноконцевой подъемной машины с учётом того, что канат разделён на некоторое количество распределённых масс, связанных упруго-диссипативными элементами. Это позволило определить динамические нагрузки, действующие на барабан, шкив, груз, а также на каждый отрезок каната во время пуска машины, ее работы и торможения. При больших длинах каната появляются большие погрешности в определении динамических усилий в канатах. У современных шахтных подъемов высота подъема более 1000 м, поэтому время распространения упругих волн существенно и пренебрегать им

нельзя. Движение отдельных сечений следует рассматривать более строго, а именно, учитывать, что массовые и деформационные характеристики распределены по длине упругого элемента [2, 4].

Известно, что одной из опасных аварийных ситуаций для ШПУ барабанного типа является зависание спускаемого сосуда и напуск подъёмного каната. В [7] предлагается использовать для диагностики аварийных ситуаций технологических механизмов контроль электрических величин электропривода. Учёт влияния волновых процессов для подобных ситуаций рассматривался в [8].

При составлении описания механизм подъёмной установки представляется в виде трёхмассовой системы с гибкими связями. Электропривод по схеме «генератор - двигатель» с тиристорным возбудителем генератора представляется в виде двухконтурной системы подчинённого регулирования. Регуляторы скорости и тока приняты пропорциональными. Регулирование потока двигателя не предусматривается. Структурная схема электропривода при реакции на изменение момента на валу приведена на рис. 1.

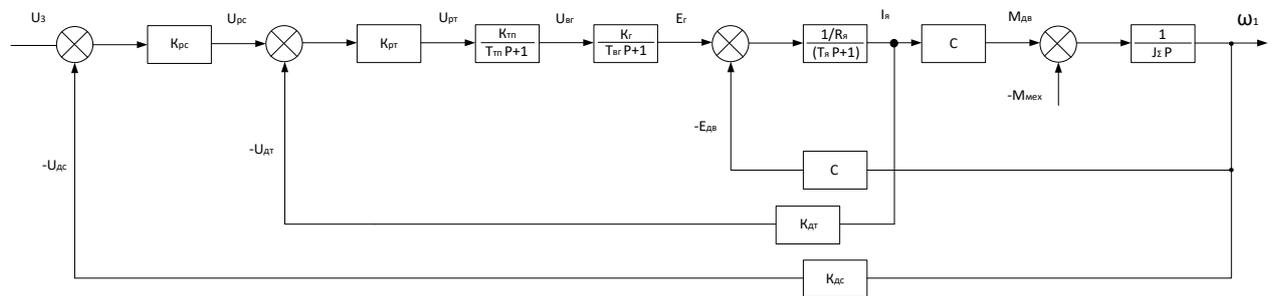


Рис. 1. Структурная схема электропривода

Система уравнений шахтного подъема является сложной системой уравнений электромеханики, включающей уравнения механики, уравнения электромагнитной подсистемы и уравнения взаимосвязи электромагнитной и механической подсистем.

Первоначально рассмотрим статическую задачу.

Обозначим массу сосуда m , площадь поперечного сечения каната S , плотность каната ρ , модуль Юнга каната E

Пусть неподвижный сосуд подвешен на канате длиной l (в ненагруженном состоянии). Обозначим x координату точки каната в ненагруженном состоянии с началом отсчета от сосуда; $u_s(x)$ – абсолютное удлинение; $\varepsilon_s(x) = \frac{du_s}{dx}$ – относительное удлинение каната; $\sigma_s(x)$ – напряжение; S – площадь сечения каната в ненагруженном состоянии; $F_s(x)$ – сила растяжения каната. Тогда координата x – координата конкретной физической точки каната. При этом $F_s(0) = mg$.

Тогда

$$F_s(x) = \rho g S x + mg. \tag{1}$$

Со стороны сосуда на якорь действует сила

$$F_s(l) = \rho g S l + mg. \tag{2}$$

Закон Гука $\sigma_s = E \varepsilon_s$, сила $F_s = \sigma_s S$. Тогда

$$\varepsilon_s(x) = \frac{du_s}{dx} = \frac{\rho g}{E} x + \frac{mg}{ES}. \tag{3}$$

Следовательно,

$$\frac{d^2 u_s}{dx^2} = \frac{\rho g}{E}. \tag{4}$$

Примем $u_s(0) = 0$. Тогда

$$u_s(x) = \frac{\rho g}{2E} x^2 + \frac{mg}{ES} x = \frac{gx}{E} \left(\frac{\rho}{2} x + \frac{m}{S} \right). \tag{5}$$

Тогда полное растяжение каната

$$u_s(l) = \frac{gl}{E} \left(\frac{\rho}{2} l + \frac{m}{S} \right). \quad (6)$$

В других величинах

$$u_s(l) = \frac{gl}{D} \left(\frac{\rho \pi d^2}{8} l + m \right). \quad (7)$$

Здесь $D = ES$; $S = \pi \frac{d^2}{4}$; d – диаметр каната.

Будем считать, что канат намотан на барабан в уже растянутом состоянии, и это состояние удерживается на валу силой трения. Тогда при равномерном вращении вала канат тоже будет двигаться без дальнейшей деформации, и сосуд будет двигаться равномерно.

Координату x будем теперь отсчитывать вдоль статически растянутого каната. Понижением плотности каната при этом можно пренебречь.

С противоположной стороны на вал наматывается канат противовеса. Соответствующая сила

$$F_{1s}(l_1) = \rho_1 g S_1 l_1 + m_1 g. \quad (8)$$

Здесь все величины с индексом 1 относятся к противовесу.

Тогда из условия равновесия

$$M_{сдв} = F_s(l)R - F_{1s}(l_1)R_1, \quad (9)$$

где $M_{сдв}$ – момент приводного электродвигателя при статическом нагружении; R – радиус барабана.

При этом канат движется со скоростью $u_s = v_3$ (скорость задания), и значит, ток в якоре и напряжение на обмотке электродвигателя определяются по формулам

$$\begin{aligned} i_{с\grave{a}} &= \frac{M_{сдв}}{C_e}; \\ E_{с\grave{r}} &= L \frac{di_{с\grave{a}}}{dt} + i_{с\grave{a}}R + C_e \frac{v_3}{R}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $E_{с\grave{r}}$, $i_{с\grave{a}}$ – э.д.с. генератора и ток якорной цепи при движении с постоянной скоростью v_3 ; $M_{сдв}$ – момент двигателя при статическом нагружении, C_e – магнитная постоянная двигателя; R, L – активное сопротивление и индуктивность якорной цепи электромашин системы «Г–Д».

Постановка динамической задачи. Примем статическое состояние растянутого каната за начальное, Тогда

$$\begin{aligned} F_n(x, t) &= F(x, t) + F_s(x), & u_n(x, t) &= u(x, t) + u_s(x), \\ \varepsilon_n(x, t) &= \varepsilon(x, t) + \varepsilon_s(x), & \sigma_n(x, t) &= \sigma(x, t) + \sigma_s(x), \\ i_{п\grave{я}}(x, t) &= i_{я}(x, t) + i_{с\grave{я}}(x), & E_{п\grave{я}}(x, t) &= E_{г}(x, t) + E_{с\grave{r}}(x), \\ v_n(x, t) &= v(x, t) + v_3(x), & M_{п\grave{дв}}(x, t) &= M_{дв}(x, t) + M_{сдв}(x). \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь индексом «п» помечены полные величины, а динамические величины не помечены.

В случае резкой (будем считать, мгновенной) остановки сосуда в момент времени 0 получим при $t > 0$

$$\frac{\partial u_n}{\partial t}(0, t) = 0 \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial t}(0, t) = -v_3. \quad (12)$$

Вращение вала продолжится, канат продолжит разматываться, в нижней части растяжение станет уменьшаться. Волна сжатия каната (относительно равновесно растянутого состояния) пойдет вверх.

Если торможение считать не мгновенным, то естественно принять линейный закон изменения скорости нижнего конца каната (в системе отсчета, связанной с канатом):

$$\frac{\partial u}{\partial t}(0, t) = \begin{cases} -v_3 \frac{t}{t_1}, & t < t_1 \\ -v_3, & t \geq t_1 \end{cases}. \quad (13)$$

Здесь t_1 – время торможения. При $t_1 \ll \frac{l}{c}$ торможение можно считать мгновенным. Если же эти времена сравнимы, то процесс замедления следует учитывать. Также за время $\frac{l}{c}$ длина каната увеличится на $l \frac{v_3}{c}$, то есть возмущение достигнет барабана с некоторым

дополнительным запаздыванием, и общая длина каната несколько увеличится. Однако, так как $\frac{v_3}{c} \ll 1$, то этими изменениями длины и времени запаздывания можно пренебречь, и считать, что возмущение достигает барабана в момент $t_0 = \frac{l}{c}$ при длине каната l , равной длине каната в момент начала торможения.

Канат отличается от стержня тем, что его можно считать стержнем только в растянутом состоянии. Сжатую канат почти не сопротивляется, а изгибается. Когда растяжение станет равным 0, по канату пойдет волна изгиба. Но скорость волны изгиба значительно меньше скорости волны сжатия, и вначале до якоря дойдет волна сжатия. Скорость распространения волны сжатия $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$. Силы, действующие на барабан со стороны канатов сосуда и противовеса

$$F = ES\varepsilon(l), F_1 = ES\varepsilon_1(l_1). \quad (14)$$

Волна сжатия описывается волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0, \quad (15)$$

с начальными и граничными условиями

$$u(x, 0) = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t}(0, t) = -v_3. \quad (16)$$

Динамические уравнения

$$\frac{J}{R} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(l, t) = F(t)R - F_1(l_1, t)R_1 - M_{дв}(t). \quad (17)$$

Для противовеса

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} = 0, \quad (18)$$

с граничными условиями

$$ES \frac{\partial u_1}{\partial x_1}(0, t) = m_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}(0, t); \quad ES \frac{\partial u_1}{\partial x_1}(l_1, t) = F_1(l_1, t). \quad (19)$$

При этом выполняется условие

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial t} u(l, t) = \frac{1}{R_1} \frac{\partial}{\partial t} u_1(l_1, t) = \omega(t). \quad (20)$$

Электрическая часть уравнений.

$$\begin{aligned} i_{я}(t) &= \frac{1}{C_e} M_{дв}(t), \quad E_2(t) = L \frac{di_{я}(t)}{dt} + R_{яц} i_{я}(t) + \frac{C_e}{R} \frac{\partial u(l, t)}{\partial t}, \\ U_{pc}(t) &= k_{pc}(U_3 - U_{oc\omega}(t)), \quad U_{пт}(t) = k_{пт}(U_{pc}(t) - U_{дт}(t)), \\ T_{тп} \frac{dU_{тп}(t)}{dt} + U_{тп}(t) &= k_{тп} U_{пт}(t), \quad T_{вг} \frac{dE_2(t)}{dt} + E_2(t) = k_2 U_{тп}(t), \\ U_{oc\omega_1}(t) &= \frac{k_{дс}}{R} \frac{\partial u(l, t)}{\partial t}, \quad U_{дт}(t) = k_{дт} i_{я}(t). \end{aligned} \quad (21)$$

где $E_2, i_{я}$ – э.д.с. и ток якоря приводного электродвигателя; $M_{дв}$ – момент двигателя; U_3 – напряжение задания на входе пропорционального регулятора скорости; $U_{oc\omega}$ – напряжение обратной связи по скорости; U_{pc}, k_{pc} – выходное напряжение и коэффициент усиления регулятора скорости; $k_{пт}, U_{пт}$ – коэффициент усиления и напряжение на выходе регулятора тока; $U_{тп}, k_{тп}, T_{тп}$ – напряжение на выходе, коэффициент усиления и постоянная времени тиристорного преобразователя; $E_2, k_2, T_{вг}$ – э. д. с., коэффициент усиления и постоянная времени генератора постоянного тока; $k_{дт}, k_{дс}$ – коэффициенты передачи датчиков тока и скорости.

Будем решать задачу с помощью преобразования Лапласа по времени. Тогда получим следующую систему уравнений и граничных условий

$$\begin{aligned} u_L''(x, p) - \frac{p^2}{c^2} u_L(x, p) &= 0, \quad pu_L(0, p) = -\frac{v_3}{t_1} \frac{1}{p^2} (1 - e^{-pt_1}), \\ \frac{J}{R} p^2 u_L(l, p) &= ESu_L'(l, p)R - E_1 S_1 u_{1L}'(l_1, p)R_1 - M_{двL}(p), \\ \frac{1}{R} pu_L(l, p) &= \frac{1}{R_1} pu_{1L}(l_1, p) = \omega_L(p), \end{aligned} \quad (22)$$

$$u''_{1L}(x, p) - \frac{p^2}{c_1^2} u_{1L}(x, p) = 0, \quad E_1 S_1 u'_{1L}(0, p) = m_1 p^2 u_{1L}(0, p).$$

$$i_{яL}(p) = \frac{1}{c_e} M_{двL}(p),$$

$$E_{гL}(p) = L p i_{яL}(p) + R_{ящ} i_{яL}(p) + \frac{C_e}{R} p u_L(l, p),$$

$$T_{тп} p U_{тпL}(p) + U_{тпL}(p) = k_{тп} U_{ггL}(p), \quad T_{вг} p E_{гL}(p) + E_{гL}(p) = k_{г} U_{тпL}(p), \quad (23)$$

$$U_{ос\omega_{1L}}(p) = \frac{k_{дс}}{R} p u_L(l, p), \quad U_{ос\omega_{1L}}(p) = \frac{k_{дс}}{R} p u_L(l, p), \quad U_{дтL}(p) = k_{дт} i_{яL}(p).$$

Вывод. Полученная система позволяет решить задачу определения отклонения электрических величин привода при зависании сосуда с учётом волновых процессов в канате. Решение возможно на интервале времени до появления изгиба каната, то есть развития собственно напуска. Для фиксации зависания сосуда достаточно проследить за поведением характеристик процесса в начальные моменты времени порядка t_1 .

Список литературы

1. Завозин Л.Ф. Шахтные подъемные установки. – М.: Изд-во «Недра», 1975. – 368 с.
2. Степанов А.Г., Корняков М.В. Динамика машин: монография. – 2-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 412 с.
3. Шахтный подъем: науч.-произв. издание / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром: общ. ред. Б.А. Грядущий, В.А. Корсун. – 2-3 изд., перераб. и доп. – Киев: Альфа Реклама, 2017. – 600 с.
4. Степанов А.Г. Динамика шахтных подъёмных установок. – Пермь : УрО РАН, 1994. – 263 с.
5. Осипова Т.Н., Хорошилов О.Н., Писарцов А.С. Динамика подъемной установки с учетом упругости каната // Машинобудування. – 2017. – №19. – С. 96-102.
6. Сребная Е.Г., Кондрахин В.П. Математическое моделирование динамических процессов в одноконцевой подъемной машине канатами большой длины // Подъемно-транспортное оборудование и логистика: V регион. студ. конф., 20-21 мая 2015 г. – Донецк: ДонНТУ, 2015.
7. Об использовании метода контроля состояния машин технологических агрегатов по энергетическим параметрам привода / А.Н. Савельев, М.В. Кипервассер, Д.С. Аниканов, В.Е. Реморов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 12. – С. 31-33.
8. Кипервассер М.В. Влияние волновых процессов в канатах шахтных подъёмных установок на электрические величины электропривода / М.В. Кипервассер, Б.Б. Хаимзон // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 261-265.

УДК 621.311, 621.331

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATHLAB/SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Стишенко К.П., к.т.н. Кипервассер М.В.

Сибирский государственный индустриальный университет. г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматривается разработка модели на базе компьютерной программы Matlab/Simulink, позволяющей исследовать искажения токов и напряжений в

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 23.05.2023 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 23,18 Уч.-изд. л. 24,74 Тираж 1000 экз. Заказ 114

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ