

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

Список литературы

1. Исследования асинхронного электропривода с фазным ротором подъемных установок / Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Поползин И.Ю. Маршев Д.А // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 255-261.
2. Оптимизация характеристик электропривода переменного тока подъемных установок / Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Поползин И.Ю. Маршев Д.А. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 248-255.
3. Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором / Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю // Системы автоматизации AS'2022: труды всерос. науч.–практ. конф. 15-16 декабря 2022 г. – Новокузнецк, 2022. – С. 592-599
4. Электрические машины / Брускин Д.Э. [и др.]. – М. : Высшая школа, 1979. – Ч1. – 288 с.

УДК 681.518.22+681.518.5: 621.313.333

**ИЗМЕРЕНИЕ ДВИЖУЩЕГО МОМЕНТА И МАССЫ ГРУЗА В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ДВУХСКИПОВОЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ
к.т.н. Поползин И.Ю.****Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия**

Аннотация. В статье проведен краткий обзор способов измерения момента асинхронных двигателей, предложен способ измерения момента для асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, а также получены расчетные выражения, позволяющие определить массу поднимаемого груза для двухскаповых подъемных установок с асинхронным электроприводом.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, двухскаповая подъемная установка, шахтный подъем, масса груза, электромагнитный момент.

Для шахтных подъемных установок (ШПУ) важной задачей является определение массы поднимаемого груза. Это связано с задачами повышения энергоэффективности и рентабельности ШПУ, а также с задачами учета и контроля добычи полезного ископаемого.

Простейшим способом определения массы груза является взвешивание скипов. Однако этот способ обладает следующими существенными недостатками:

- необходимость организации весового поста с оборудованием для взвешивания;
- техническая сложность процесса взвешивания;
- высокая погрешность, обусловленная трудностью фиксации скипа в устойчивом положении для взвешивания;
- существенное замедление технологического процесса, и, как следствие, падение производительности ШПУ.

Вследствие приведенных причин в технологическом процессе шахтного подъема следует применять косвенные методы измерения массы груза, основанные на ее вычислении на основании какого-либо измеряемого параметра системы. При этом желательно, чтобы определение массы груза не было связано с дополнительными измерениями и установкой дополнительного оборудования. В свете вышеизложенного оптимальным видится вычисление массы поднимаемого груза на основе параметров электропривода ШПУ. При этом существует прямая связь массы поднимаемого груза и электромагнитного момента, развиваемого приводным двигателем, что обуславливает необходимость в идентификации момента приводного двигателя.

Если для двигателя постоянного тока идентификация момента является сравнительно простой задачей по причине линейной зависимости момента от силы тока якоря, то для асинхронных двигателей (АД) момент нелинейно зависит от токов ротора и статора, что осложняет его идентификацию. При этом прямое измерение момента (с помощью акселерометров и схожих механизмов), как правило, либо невозможно, либо имеет крайне низкую точность.

Существующие в настоящее время технические решения по идентификации момента асинхронного двигателя можно разделить на две группы:

1) Идентификация момента на основе измерения электрических координат АД. Примером таких решений являются [1-8]. В основе всех решений из этой группы лежит измерение токов и напряжений обмоток машины и вычисление момента, исходя из их значений. В решениях данной группы предполагается переход от реальных координат АД к координатам ее двухфазной модели и вычисление момента на основе проекций токов или потокосцеплений двухфазной модели (подобный подход используется при построении бездатчиковых систем векторного управления АД [8]). Его недостатком является необходимость выполнения объемных координатных и угловых преобразований и расчета потокосцеплений, либо использования датчиков Холла для непосредственного измерения потокосцеплений. Второй подход в рамках данной группы решений предполагает идентификацию момента на основе баланса мощности двигателя. Для определения момента в соответствии с этим подходом достаточно измерения тока и напряжения на статоре АД и его скорости, а также априорного знания КПД двигателя либо непосредственного вычисления потерь. Этот подход более удобен, поскольку предполагает меньший объем вычислений по сравнению с описанным выше. Его недостатком является несколько меньшая точность из-за невозможности точно идентифицировать потери в АД.

2) Идентификация момента на основе измерения механических координат двигателя – скорости вращения вала, углового ускорения или ЭДС тахогенератора [9, 10]. Недостатком таких способов является необходимость точного измерения механических координат АД, что затруднительно при использовании акселерометрических датчиков, а также значительная инерционность изменения механических координат.

Задача идентификации момента также может быть решена разными способами для двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) и с фазным ротором (АДФР). Для АДФР, широко используемых в электроприводе ШПУ, идентификация момента значительно проще, поскольку прямому измерению доступен ток ротора.

Рассмотрим, как может быть идентифицирован момент АДФР. Связь момента и скорости АД определяется уравнением его механической характеристики:

$$M = \frac{3U_1^2 R'_2}{\omega_0 s [(R_1 + R'_2/s)^2 + X_K^2]}, \quad (1)$$

где M – электромагнитный момент АД; U_1 – фазное напряжение на статоре машины; R'_2 – активное сопротивление роторной цепи, приведенное к статору; ω_0 – синхронная скорость; s – скольжение; R_1 – активное сопротивление цепи статора; X_K – индуктивное сопротивление короткого замыкания.

Скольжение определяется по следующему выражению:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (2)$$

где ω – текущая скорость вращения ротора АД.

В соответствии с законом Ома для роторной цепи АД, ток фазы ротора определяется в соответствии со следующим выражением:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + X_K^2}}, \quad (3)$$

где I'_2 – приведенный ток ротора АД.

Подставив (3) в (1) и проведя преобразования, получим:

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s [(R_1 + R_2'/s)^2 + X_K^2]} = \frac{3I_2'^2 [(R_1 + R_2'/s)^2 + X_K^2] R_2'}{\omega_0 s [(R_1 + R_2'/s)^2 + X_K^2]} = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s}. \quad (4)$$

Выражение (4) описывает связь между электромагнитным моментом и приведенным током ротора АД. Для установления связи между моментом и током ротора учтем, что для АДФР (с учетом одинакового числа фаз в обмотках статора и ротора и равенства их обмоточных коэффициентов) коэффициент приведения роторных величин к статорным может быть определен как:

$$k = \frac{w_2}{w_1}, \quad (5)$$

где w_1, w_2 – соответственно, число витков в статорной и роторной обмотках, которое является постоянным и известно априорно.

С учетом (5), выражение (4) примет вид:

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{k \omega_0 s}. \quad (6)$$

Для АДКЗ измерение тока ротора невозможно. Поэтому воспользуемся следующим соображением: большую часть времени двигатель ШПУ работает в установившемся режиме с номинальной или близкой к ней скоростью и с номинальной нагрузкой. Это объясняется тем, что наибольшую часть времени технологического цикла установки сосуда движутся в стволе равномерно, а подъемный двигатель из соображений максимальной эффективности выбирается так, чтобы при этом он работал в номинальном режиме. В установившемся номинальном режиме для определения момента АДКЗ можно воспользоваться следующим выражением, которое следует из формулы для определения полезной мощности на валу АД:

$$M = \frac{3U_1 I_1 \eta_n \cos \varphi_n (1-s)}{\omega}, \quad (7)$$

где I_1 – ток фазы статора АДКЗ; η_n – номинальный КПД двигателя; $\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности двигателя.

Таким образом, выражения (6) и (7) позволяют идентифицировать момент АД с использованием измеряемых величин. Для нахождения связи между моментом АД и массой поднимаемого в двухскиповой ШПУ груза воспользуемся уравнением М.М. Фёдорова для динамики двухскиповой ШПУ [11]:

$$m_\Sigma \frac{d^2 z}{dt^2} - (q_\Gamma - q_Y)(H - 2z)g + (m_1 - m_2)g = F, \quad (8)$$

где $m_\Sigma = \frac{J_\Sigma}{R^2}$ – суммарная приведенная масса установки; J_Σ – суммарный момент движущихся частей установки; R – радиус барабана; $F = \frac{M}{R}$ – движущее усилие привода; $z = \uparrow \varphi R$ – положение сосудов в стволе; φ – угол поворота барабана; g – ускорение свободного падения; H – высота подъема; q_z, q_Y – массы одного метра головных и уравновешивающих канатов соответственно; m_1, m_2 – массы груженого и порожнего скипов соответственно.

При равномерном движении сосудов в стволе вторая производная положения по времени (ускорение) равна 0. Кроме того, разность масс груженого m_1 и порожнего m_2 определяет массу поднимаемого груза m_Γ . С учетом этих соображений для участков равномерного движения скипов (8) примет вид:

$$-(q_Y - q_\Gamma)(H - 2z)g + m_\Gamma g = \frac{M}{R}. \quad (9)$$

Выразим из (9) массу поднимаемого груза:

$$m_\Gamma = \frac{M/R + (q_Y - q_\Gamma)(H - 2z)g}{g}. \quad (10)$$

Очевидно, что масса транспортируемого груза не зависит от положения сосудов в стволе. Таким образом, для определения массы груза достаточно произвести расчет лишь один раз за цикл подъема. Для облегчения вычислений расчет следует производить в тот момент, когда статические напряжения ветвей каната в точках набегания и сбегания равны, т.е. в момент времени, когда скипы совмещаются. В большинстве ШПУ это условие

эквивалентно достижению скипами точки $z=H/2$ (середины ствола). В точке совмещения выполняется условие $H - 2z = 0$, и (10) принимает вид:

$$m_{\Gamma} = \frac{M/R}{g}. \quad (11)$$

Подставив выражения (2) и (6) в выражение (11), получим выражение, позволяющее определить массу поднимаемого груза для привода ШПУ на основе АДФР, измеряя только скорость вращения вала двигателя и ток ротора:

$$m_{\Gamma} = \frac{3I_2^2 R_2'}{kg\omega_0 s R}. \quad (12)$$

Подставив в (11) выражение (7), получим расчетную формулу для массы груза в приводе на основе АДКЗ (либо АДФР, когда недоступно измерение тока ротора):

$$m_{\Gamma} = \frac{3U_1 I_1 \eta_{ДВ} \cos \varphi (1-s)}{\omega g R}. \quad (13)$$

Вывод. Таким образом, полученные в данной работе выражения (12) и (13) позволяют реализовать расчет массы груза в двухскиповых ШПУ с асинхронным приводом, использующий только величины, поддающиеся измерению, и заранее известные параметры подъемного оборудования, и не требующий сложных преобразований и вычислительных операций, причем вычисление может быть произведено при любом способе управления скоростью двигателя.

Список литературы

1. Пат. 4616719 США, G01L 3/00 324/107; 364/483. Method of Measuring Torque of an AC Motor / Dennis H. Braun ; заявитель и патентообладатель Eaton Corporation. – заявл. Oct. 7, 1986.
2. А.с. SU 1 631 322 А1. Устройство для измерения электромагнитного момента асинхронного двигателя / М.Я. Кривицкий, С.В. Поносов, А.В. Рот ; заявитель и патентообладатель Пермский политехнический институт. – № SU 1 631 322 А1; заявл. 09.01.89 ; – опубл. 28.02.91, Бюл. № 8. – 4 с.
3. А.с. SU 1 645 856 А1. Устройство для измерения электромагнитного момента асинхронного двигателя / М.Я. Кривицкий, С.В. Поносов, А.В. Рот ; заявитель и патентообладатель Пермский политехнический институт. – № SU 1 645 856 А1 ; заявл. 09.01.89 ; – опубл. 30.04.91, Бюл. № 16. – 4 с.
4. Rahman A., Mohiuddin A.K.M., Daud B.M. Electromagnetic Contactless Torque Transducer: Torque Measurement and Shaft Impediment Approach // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2019 . – Vol. 7. – Iss 6S. – P. 298-303.
5. Irie H., Katayama T. A Simple Method for Detecting Torque of an Induction Motor with a Synchronous Rectifier Circuit // Electrical Engineering in Japan. – 1999 . – Vol. 126. – No 3. – P. 83-90.
6. Silva W.L., Lima A.M.N., Oliveira A. A Method for Measuring Torque of Squirrel-Cage Induction Motors Without Any Mechanical Sensor // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2015 . – Vol. 4. – Iss. 5. – P. 1223 – 1231.
7. Хацевский К.В., Деметьев Ю.Н., Умурзакова А.Д. Модель асинхронного электродвигателя для измерения механических координат // Омский научный вестник. – 2013. – №3 (123). – С. 200–204.
8. Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю. Модель асинхронного двигателя для бездатчиковых информационно-управляющих систем автоматизированного электропривода // Вестник Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. – 2016. – №1(113). – С. 110 – 119.
9. Buinac R., Tomljenovic V. Determination of torque-speed characteristics of induction motor in electric machinery education // Information & Communication Technology Electronics & Microelectronics (MIPRO), 2013 : 36 International Convention. – 2013. – P. 765-769.

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 учета и с учетом 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 учетом того, что канат разделен 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