

На правах рукописи

ОЛИВЕТСКИЙ Иван Николаевич

**СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена на кафедре механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

Научный руководитель: Доктор технических наук, доцент
Шевырёв Юрий Вадимович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Соловьев Николай Владимирович
Кандидат технических наук
Трифонов Александр Александрович

Ведущая организация: ОАО «Центргеология»

Защита диссертации состоится 30 июня 2010 года в 14 ч. 30 мин. В аудитории 4-15^Б на заседании диссертационного совета Д.212.121.05 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан « » мая 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Назаров А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

На процесс геологоразведочного бурения влияет множество факторов: тип породоразрушающего инструмента (ПРИ), конструкция скважины, физико-механические свойства пород. Существенными факторами являются осевая нагрузка P на ПРИ, угловая скорость ω ПРИ, объемный расход Q промывочной жидкости или сжатого воздуха, подаваемого в скважину. Если считать, что конструкция скважины, технические средства, тип ПРИ выбраны правильно, то необходимо установить такие значения P , ω , Q , при которых режим бурения будет наивыгоднейшим, т.е. оптимальным. Одна из основных проблем, возникающих при достижении этой цели – необходимость плавного регулирования скорости приводов механизмов буровой установки (БУ) с целью установления требуемых управляемых технологических параметров P , ω и Q . В настоящее время на подавляющем большинстве БУ геологоразведочного бурения применяется нерегулируемый электропривод (ЭП), в связи с чем не представляется возможным добиться требуемого качества управления процессом бурения.

При бурении геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые (ТПИ) доля затрат, связанных с энергоснабжением, подчас достигает 50% от общего финансирования работ. В условиях развития рыночных отношений, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов, энергосбережение в совокупности с выполнением природоохранных мероприятий являются основным направлением повышения эффективности производства. Нерегулируемый ЭП, на долю которого приходится большая часть общих потерь электроэнергии, не позволяет решить проблему энергосбережения.

Другой важнейшей проблемой при бурении геологоразведочных скважин БУ с нерегулируемым ЭП является возникновение значительных динамических нагрузок во время переходных процессов (пуске, приложении нагрузки, прихвате и т.д.), которые носят колебательный характер с большими амплитудными значениями. Это приводит к накоплению усталостных напряжений в материалах передач, их разрушению и быстрому выходу из строя.

Решением этих проблем может явиться применение в качестве привода буровых механизмов плавнорегулируемого ЭП. В настоящее время наиболее перспективным является частотно-регулируемый ЭП переменного тока. Основными преимуществами данного вида привода по сравнению с приводом постоянного тока являются меньшие эксплуатационные расходы, большее значение коэффициента мощности преобразователя частоты по сравнению с управляемым выпрямителем.

Поэтому снижение энергозатрат при геологоразведочном бурении и повышение качества переходных процессов в КБТ на основе использования частотно-регулируемого ЭП является актуальной научной задачей.

Цель работы. Повышение эффективности геологоразведочного бурения на основе снижения энергозатрат и повышения качества переходных процессов в колонне бурильных труб (КБТ).

Идея работы. Снижение энергозатрат при геологоразведочном бурении и повышение качества переходных процессов в КБТ на основе использования частотно-регулируемого ЭП переменного тока.

Задачи исследований.

1. Разработать для ЭВМ модель расчета потребления электроэнергии при бурении геологоразведочных скважин БУ со ступенчатым и частотным регулированием угловой скорости ПРИ, позволяющую уточнить потери мощности в электродвигателе.

2. Установить зависимости потребления электроэнергии БУ при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ, позволяющие обосновать выбор системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения энергетических показателей технологии разведочного бурения.

3. Разработать для ЭВМ модель расчета переходных процессов в системе асинхронный двигатель (АД) - колонна бурильных труб при бурении на ТПИ, учитывающую частотное регулирование скорости АД.

4. Установить закономерности влияния ЭП на переходные процессы в КБТ при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости АД, позволяющие обосновать выбор системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения качества переходных процессов в КБТ.

Методика исследований. В работе использованы методы технологии и техники разведочного бурения; теорий дифференциальных уравнений, автоматического регулирования, автоматизированного ЭП; методы компьютерного моделирования.

Научная новизна.

1. Разработана методика расчёта затрат электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин, позволяющая получить зависимости изменения потерь мощности в электродвигателе от глубины бурения при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ.

2. Установлены зависимости потребления электроэнергии БУ от глубины бурения при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ, позволяющие обосновать выбор системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения энергетических показателей технологии разведочного бурения.

3. Установлены закономерности влияния ЭП на переходные процессы в КБТ при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ,

позволяющие обосновать выбор системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения качества переходных процессов в КБТ.

Достоверность научных положений.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подтверждаются: применением методов технологии и техники разведочного бурения; теорий дифференциальных уравнений, автоматического регулирования, автоматизированного ЭП; компьютерным моделированием, экспериментальными исследованиями на объектах.

Практическая ценность работы.

Разработаны программные средства для ЭВМ, позволяющие рассчитывать затраты электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин и моделировать переходные процессы в КБТ, способствующие принятию рациональных решений на стадиях проектирования и эксплуатации буровых установок с плавнорегулируемым ЭП.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на Международных конференциях: VIII Международной конференции “Новые идеи в науках о Земле” (Москва, 2007); Научно-практическая конференция геоэкологии и инженерногеологические проблемы развития гражданских и промышленных комплексов (Москва, 2008); IX Международной конференции “Новые идеи в науках о Земле” (Москва, 2009).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы пять научных работ.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 95 наименований, содержит 150 стр. машинописного текста, 100 рисунков, 4 таблицы и 1 приложение.

Автор выражает благодарность за научные консультации при работе над диссертацией к.т.н. доценту кафедры механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ РГГРУ А.П. Жернакову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Научной основой формулирования целей и задач послужили работы Е.А. Козловского, С.И. Наугольнова, В.В. Алексеева, А.М. Лимитовского, Д.Н. Башкатова, Н.В. Соловьёва, М.И. Григорьева, С.А. Хачатуряна, Е.Д. Хромина, Б.М. Парфёнова, Б.М. Ребрика, В.С. Федорова, Б.М. Плюща, В.П. Зиненко, И.С. Калинина, В.Г. Кардыша, А.Н. Кирсанова, Н.И. Корнилова, В.И.

Мацейчика, В.В. Симонова, Е.К. Юнина и др., посвящённые совершенствованию технологии разведочного бурения.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертации, постановке цели и задач работы.

В первой главе проведен анализ существующих приводов БУ; анализ влияния привода на энергетические показатели процесса бурения. Рассмотрены классы колебаний возникающих при переходных процессах в КБТ и проанализированы методы их улучшения. Посредством частотно-регулируемого ЭП можно снизить энергозатраты и повысить качество переходных процессов в КБТ.

Во второй главе изучено влияние изменения частоты напряжения на электромеханические и энергетические характеристики АД. Разработана программа на ЭВМ, позволяющая определить параметры Т – образной схемы замещения нерегулируемого и частотно-регулируемого АД по данным, приведенным в техническом формуляре или каталоге. Построены электромеханические характеристики АД при регулировании угловой скорости путём изменения частоты питающего напряжения. Разработана уточнённая методика определения потерь мощности в электродвигателе при регулировании угловой скорости АД.

Третья глава посвящена разработке модели для ЭВМ системы КБТ – ЭП. Проведен анализ параметров КБТ с целью определения коэффициентов модели для ЭВМ. Математически описаны динамические процессы в колонне и ЭП БУ. На основе метода структурных схем разработаны модели КБТ и ЭП БУ для ЭВМ.

В четвертой главе на примере трех различных геолого-технических нарядов определены затраты электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин. Произведен расчет и сравнительный анализ энергетических показателей привода БУ при частотном регулировании угловой скорости ПРИ и регулировании с использованием коробки переключения передач (КПП). При ступенчатом регулировании затраты электроэнергии в среднем на 13% больше чем при частотном. Проведено сравнение результатов расчёта затрат электроэнергии на бурение по методике, приближённо учитывающей потери мощности в электродвигателе, и по уточненной методике.

В пятой главе произведены исследования и анализ переходных процессов для двух систем: нерегулируемый асинхронный электродвигатель – колонна бурильных труб (НАЭ – КБТ); частотно регулируемый асинхронный электродвигатель – колонна бурильных труб (ЧРАЭ – КБТ). Возможность частотно-регулируемого электропривода увеличить время пуска способствует снижению динамических нагрузок, тем самым уменьшает колебания упругого момента в сечениях КБТ до 30%.

В шестой главе приведены результаты экспериментальных исследований переходных процессов пуска КБТ при частотном и ступенчатом регулировании угловой скорости ПРИ.

В заключении приведены основные выводы по диссертационной работе.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие защищаемые положения:

1. Предложенная методика исследования затрат электроэнергии на бурение при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ позволяет учесть уточненные потери мощности в электродвигателе.

В работе для расчёта затрат мощности на бурение применяется методика Всесоюзного научно-исследовательского института экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС) утвержденной министерством геологии СССР в 1989г.

Методика ВИЭМС позволяет выполнить расчет норм расхода электроэнергии на один метр вращательного бурения геологоразведочных скважин на ТПИ. Однако в данной методике расчет потерь мощности в электродвигателе осуществляется приближенно:

$$\Delta P_{ДВ} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot \left[1 + 2.5 \cdot \left(\frac{P_B}{P_H} \right) \right]. \quad (1)$$

где: P_H – номинальная мощность электродвигателя, кВт; P_B – мощность бурового станка при бурении, кВт.

Данное выражение не позволяет учитывать электрические, механические и магнитные потери в АД при регулировании угловой скорости электродвигателя.

Поэтому для оценки потерь мощности в частотно-регулируемом ЭП разработана уточнённая методика, которая учитывает электрические, механические и магнитные потери в АД при регулировании угловой скорости электродвигателя.

Чтобы определить уточненные потери мощности в электродвигателе при бурение геологоразведочной скважины необходимо знать такие параметры АД, как активные и индуктивные сопротивления Т – образной схемы замещения (СЗ) АД. Как правило, в каталожных данных активные и индуктивные сопротивления АД не приводятся. Поэтому в работе предложена методика определения активных и индуктивных сопротивлений АД по данным, приведенным в каталогах, таким как номинальный ток статора, коэффициенты мощности и полезного действия для номинальной (100%) нагрузки, номинальный и максимальный моменты.

Аналитическое нахождение сопротивлений Т – образной схемы замещения по каталожным данным затруднительно. Поэтому был реализован на ЭВМ алгоритм решения нелинейной системы уравнений (2) – (6), полученной на основе уравнений Т – образной схемы замещения:

$$M(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2н}, Z_{\mu}) = M_n; \quad (2)$$

$$M_{\kappa}(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2н}, Z_{\mu}) = M_{\kappa n}; \quad (3)$$

$$S_{\kappa}(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2н}, Z_{\mu}) = S_{\kappa n}; \quad (4)$$

$$\cos \varphi(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2H}, Z_\mu) = \cos \varphi_H; \quad (5)$$

$$3 \cdot I_{\mu H}^2 \cdot R_\mu = 0.66 \cdot \left[\left(\frac{P_H}{\eta_H} - P_H - 0.005 \cdot \frac{P_H}{\eta_H} \right) - 3 \cdot (I_{1H}^2 \cdot R_1 + I_{2H}^2 \cdot R_2') \right]. \quad (6)$$

где: R_1, R_2', R_μ – активные сопротивления фаз статора, ротора и ветви намагничивания; η_H – номинальный КПД; M_H – номинальный момент; $\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности; M_K – критический момент; $Z_1 = R_1 + j \cdot x_1 \cdot a$; $Z_\mu = R_\mu + j \cdot x_\mu \cdot a$; $Z_{2H} = R_2' / S_H + j \cdot x_2 \cdot a$; x_1, x_2, x_μ – индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора, ротора и ветви намагничивания; S_H – номинальное скольжение; S_{KH} – критическое скольжение в номинальном режиме; $I_{1H}, I_{2H}, I_{\mu H}$ – номинальные токи статора, ротора и ветви намагничивания; U_1 – напряжение статорной цепи; $M(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2H}, Z_\mu)$, $M_K(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2H}, Z_\mu)$, $S_K(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2H}, Z_\mu)$, $\cos \varphi(\dot{U}_1, Z_1, Z_{2H}, Z_\mu)$ – аналитические зависимости для номинального момента, критического момента, критического скольжения, коэффициента мощности, полученные на основании Т – образной схемы замещения.

Решением нелинейной системы уравнений являются значения сопротивлений Т – образной СЗ.

При помощи разработанной программы определены сопротивления Т – образной СЗ АД с короткозамкнутым ротором 4АМР250М6, рекомендуемого для установки на вращатель БУ ЗИФ-1200МР. Используя полученные данные, построены естественные характеристики данного АД при частотном регулировании для следующих частот: 5, 25, 50 Гц (рис.1).

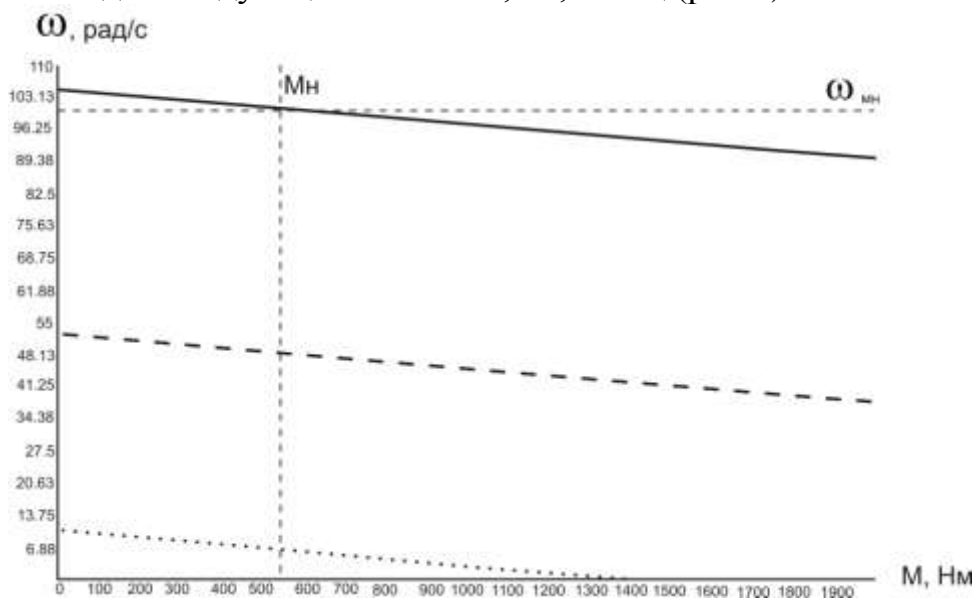


Рис.1 – Естественные характеристики электродвигателя 4АМР250М6

Знание величин активных и индуктивных сопротивлений Т – образной СЗ позволяют выполнить расчет уточненных потерь мощности в АД при частотном и ступенчатом регулировании угловой скорости:

$$\Delta P_{\text{дв}} = P(\omega_M; \omega_1; \psi_2) - P_B; \quad (7)$$

$$\Delta P_{\text{дв}} = P(\omega_M; \omega_1; U_1) - P_B \cdot i_{\text{КП}}. \quad (8)$$

где: $P(\omega_M; \omega_1; \psi_2)$ – активная мощность на статоре при частотном регулировании угловой скорости АД; $P(\omega_M; \omega_1; U_1)$ – активная мощность на статоре при ступенчатом регулировании угловой скорости АД; $i_{кп}$ – передаточное число КПП.

Подставив формулы (7), (8) вместо формулы (1) в методику ВИЭМС получим уточненную методику расчета затрат электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин.

Проведя сравнительный расчет затрат электроэнергии на бурение типовой скважины по уточненной методике и методике ВИЭМС, получены зависимости затрат электроэнергии W от глубины бурения L при частотном и ступенчатом регулировании угловой скорости ПРИ (рис 2 - 3).

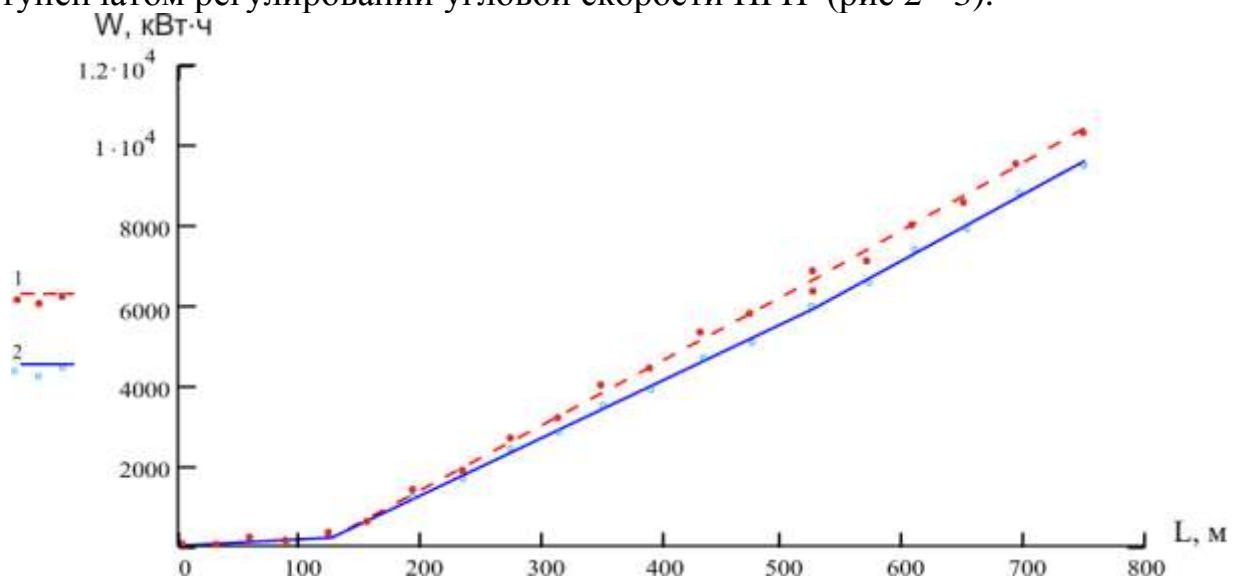


Рис.2 – Зависимости затрат электроэнергии от глубины бурения при частотном регулировании угловой скорости ПРИ

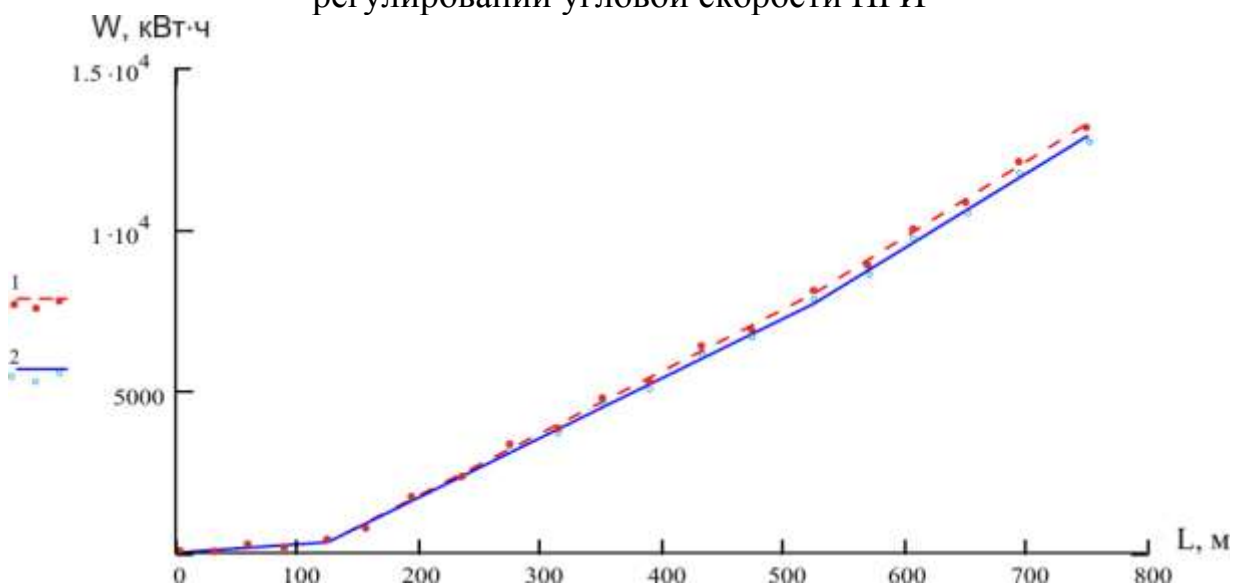


Рис.3 – Зависимости затрат электроэнергии от глубины бурения при ступенчатом регулировании угловой скорости ПРИ

На рис. 2 - 3 кривая 1 – представляет собой зависимость уточненных затрат электроэнергии на бурение, кривая 2 – представляет собой зависимость затрат электроэнергии на бурение рассчитанные по методике ВИЭМС.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что расчет по методике ВИЭМС занижает затраты электроэнергии в среднем до 3% при ступенчатом регулировании угловой скорости и до 9 % при частотном.

Таким образом разработана модель, позволяющая уточнить расчет затрат электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин.

2. Зависимости потребления электроэнергии БУ при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ являются основой выбора системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения энергетических показателей технологии разведочного бурения.

Используя предложенную в работе методику расчета затрат электроэнергии на бурение при ступенчатом и частотном регулировании скорости ПРИ, проведено сравнение потребления электроэнергии БУ при частотном регулировании скорости и ступенчатом с использованием КПП.

Расчеты производились для типовой скважины глубиной бурения 1000м, для четырех интервалов: 0 - 5 м, 5 – 55 м, 55 – 500 м, 500 – 1000 м. По полученным результатам расчетов построены зависимости уточненных затрат электроэнергии от глубины бурения при ступенчатом и частотном регулировании скорости ПРИ (рис 4).

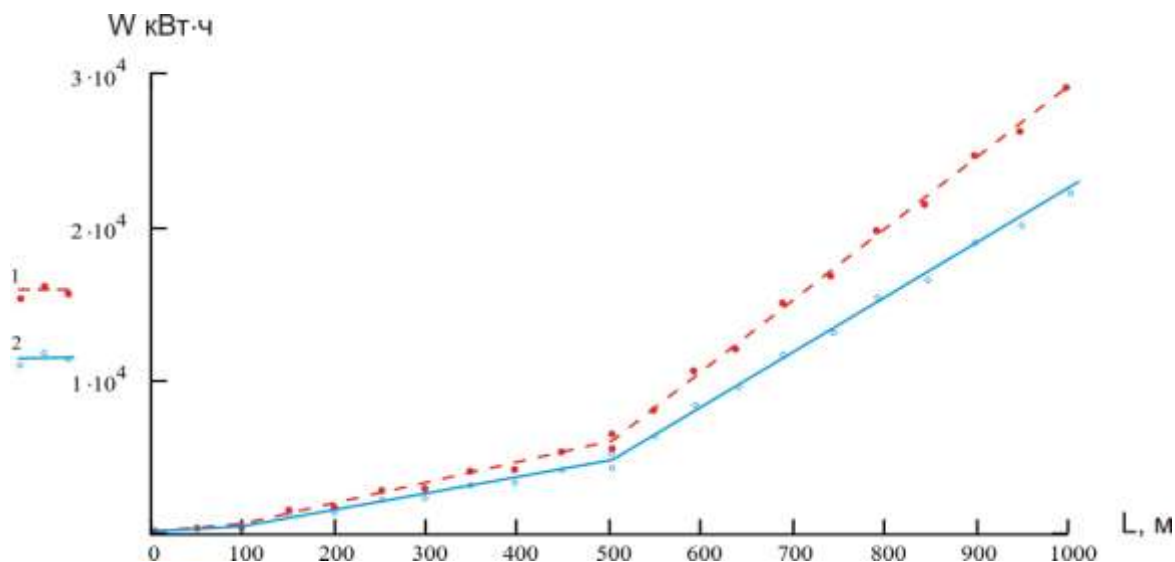


Рис.4 – Зависимости уточненных затрат электроэнергии от глубины бурения для скважины глубиной 1000 м

На рис. 4 кривая 1 – представляет собой зависимость затрат электроэнергии на бурение при ступенчатом регулировании скорости, кривая 2 – представляет собой зависимость затрат электроэнергии на бурение при частотном регулировании скорости. Из приведенных зависимостей видно, что

при ступенчатом регулировании скорости затраты электроэнергии на бурение скважины выше до 13%.

На основе полученных зависимостей выполнен расчет срока окупаемости частотно-регулируемого ЭП. На рис. 5 представлен график зависимости срока окупаемости частотно-регулируемого ЭП от числа пробуренных скважин в год.

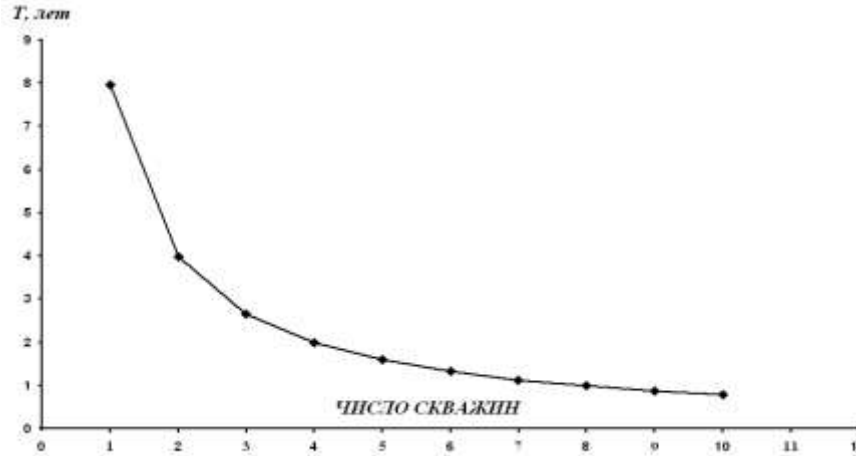


Рис.5 – График зависимости срока окупаемости оборудования от числа пробуренных скважин в год

Анализ графика позволяет сделать вывод, что при бурении четырех и более скважин срок окупаемости менее двух лет.

Полученные зависимости затрат электроэнергии от глубины бурения геологоразведочных скважин позволяют обосновать выбор системы частотно-регулируемого ЭП как средства повышения энергетических показателей технологии разведочного бурения.

3. Модель системы АД – колонна бурильных труб, учитывающая частотное регулирование угловой скорости АД, позволяет установить закономерности влияния ЭП на переходные процессы в КБТ.

При частотном регулировании угловой скорости АД используется закон управления, реализующий стабилизацию потокосцепления ротора ($\Psi_2 = \text{const}$):

$$\psi_2 = U_1 \cdot \frac{(x_\mu \cdot z_2 - z_\mu \cdot x_2)}{[\omega_1 \cdot (z_1 \cdot z_2 + z_1 \cdot z_\mu + z_\mu \cdot z_2)]} \cdot \tag{9}$$

В этом случае механические характеристики АД подобны характеристикам двигателя постоянного тока (ДПТ). Система автоматического регулирования скорости АД выполнена по принципу векторного управления.

При стабилизации потокосцепления ротора и частотном регулировании угловой скорости в работе получены дифференциальные уравнения АД:

$$\begin{aligned} U_{1y} &= i_y R_\Delta + L_\Delta \frac{di_{1y}}{dt} + C_\Delta \omega; \\ M_{ДВ} - M_C &= J \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \tag{10}$$

где: $M_{дв}$ – момент на валу электродвигателя; M_c – момент сопротивления; $L_э$ – эквивалентная индуктивность; $R_э$ – эквивалентное активное сопротивление; J – момент инерции ротора; ω – угловая скорость вращения ротора; $C_э$ – электромеханический коэффициент электродвигателя; i_{1y} – активная составляющая тока статора.

Для решения дифференциальных уравнений в работе используется структурный метод моделирования. Структурный метод моделирования реализуется на основе представления дифференциальных уравнений в виде динамических звеньев с указанием связей между ними.

Структурная схема АД при $\Psi_2 = \text{const}$, в виде динамических звеньев, представлена на рис. 6.

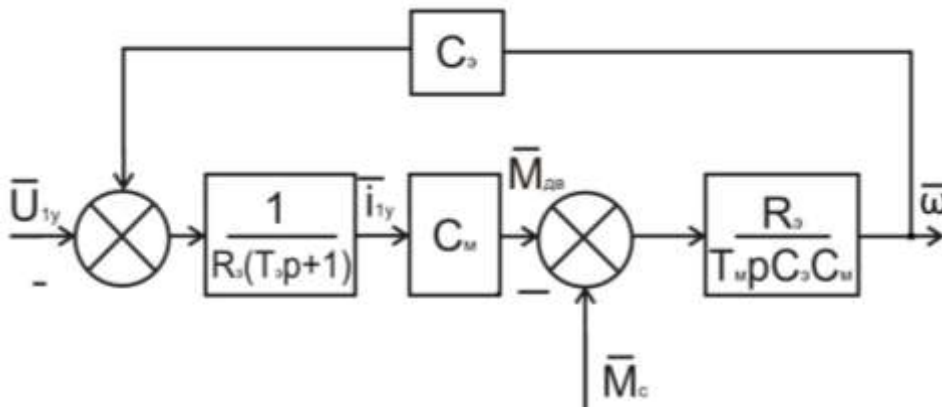


Рис.6 – Структурная схема АД при $\Psi_2 = \text{const}$ в виде динамических звеньев

Уравнения КБТ в общем случае описываются дифференциальными уравнениями в частных производных:

$$\begin{aligned} J_0 \frac{\partial \omega}{\partial t} &= -h_0 \omega - \frac{\partial M}{\partial x}; \\ \frac{\partial M}{\partial t} &= -C_0 \frac{\partial \omega}{\partial x}. \end{aligned} \quad (11)$$

где: J_0 – момент инерции КБТ; C_0 – жесткость КБТ; h_0 – коэффициент вязкого трения КБТ; ω – угловая скорость КБТ; M – вращательный момент КБТ.

Теория таких систем обладает большим арсеналом аналитических методов анализа их динамических характеристик. Однако они реализуются в инженерных расчётах для частных случаев, например при исключении из исходных уравнений одного из важных параметров механической системы – коэффициента вязкого трения первого рода, т.е. при пренебрежении диссипацией энергии. Часто подобного рода допущения не только уменьшают точность расчётов, но иногда и искажают качественную картину исследуемого процесса. Так как граничными условиями для механизма с распределёнными параметрами являются обыкновенные дифференциальные уравнения ЭП, то решение задачи ещё более усложняется. Поэтому наиболее полное исследование переходных процессов в КБТ возможно только на ЭВМ.

В этом случае КБТ удобно разбить на участки длиной Δx , что позволяет перейти к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для каждого участка. Для решения уравнений используется структурный метод моделирования. Участок КБТ длиной Δx в виде динамических звеньев представлен на рис.7.

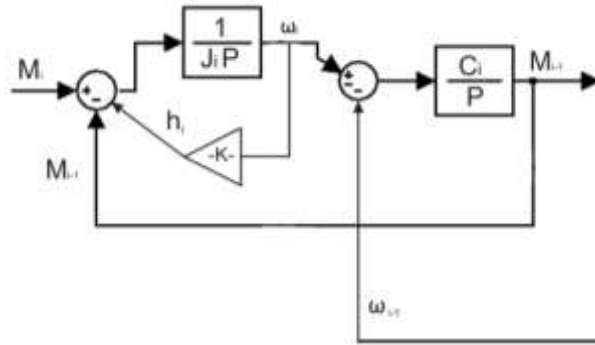


Рис.7 – Структурная схема участка КБТ в виде динамических звеньев

Структурные схемы АД и одного участка КБТ позволили получить структурную схему КБТ учитывающую частотное регулирование угловой скорости АД (рис.8).

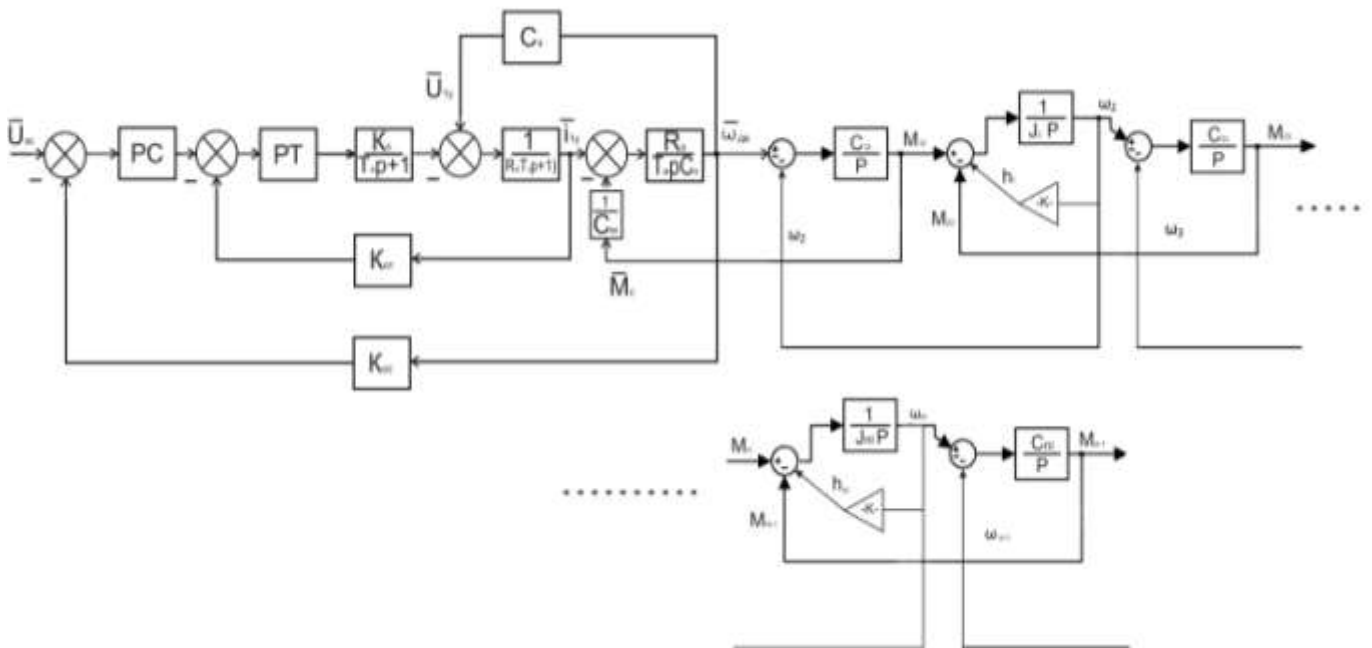


Рис.8 – Структурная схема КБТ, учитывающая частотное регулирование угловой скорости АД

Структурные схемы КБТ при частотном и ступенчатом регулировании угловой скорости ПРИ были реализованы в виде моделей на ЭВМ.

При моделировании КБТ разбивается на определенное количество участков как показано на рис.8. Критерием числа участков является точность моделируемых процессов. Количество участков может быть определено с помощью разработанной модели, в которой моделируются переходные процессы в колонне при различном числе участков.

На рис.9 показаны переходные процессы в КБТ при её «разбиении» от одного до десяти участков. Длина КБТ взята равной 1000 м.

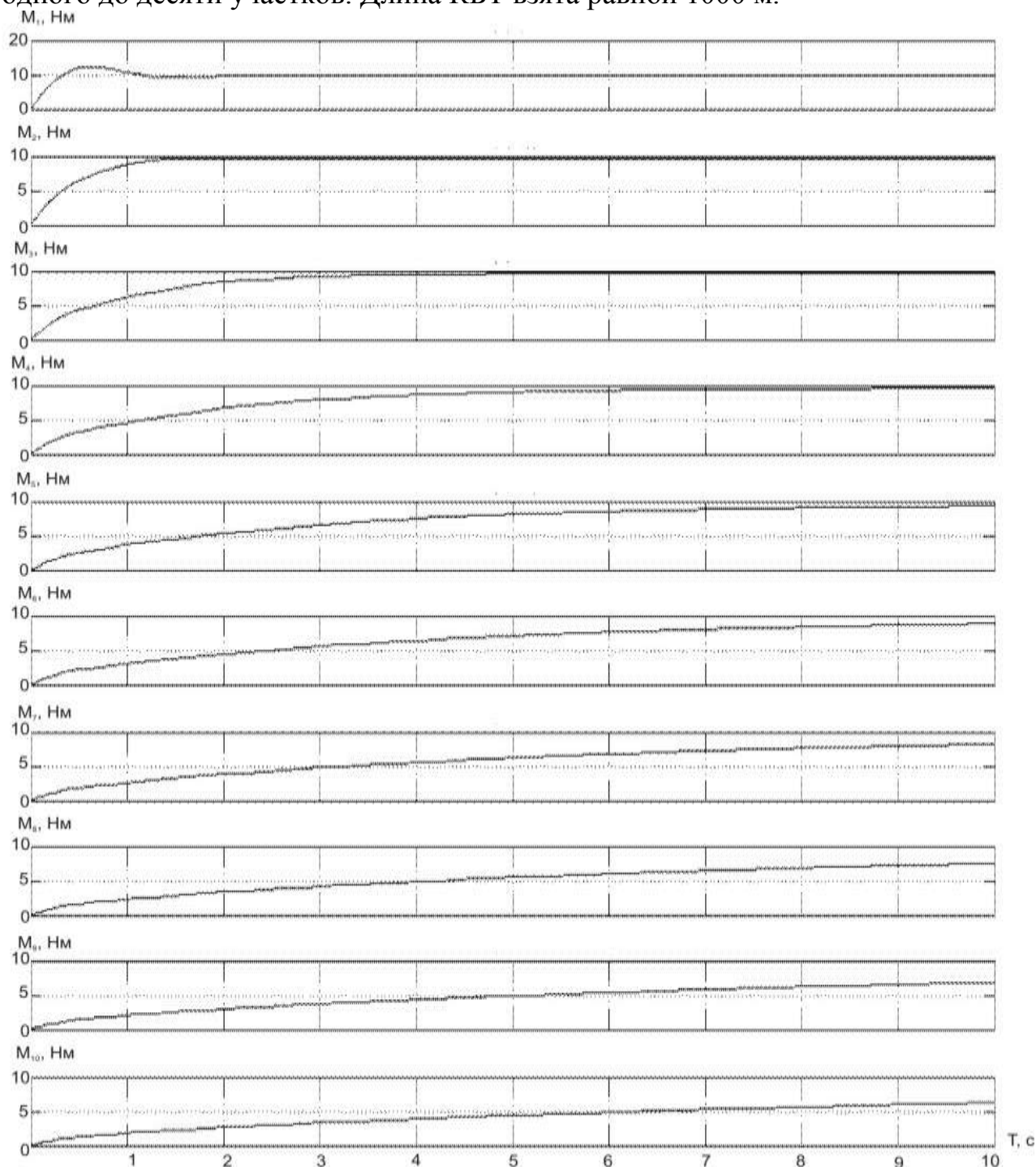


Рис.9 – Переходные процессы в КБТ, представленной различным числом участков (от 1 до 10)

Как видно из рисунка, при увеличении числа «разбиений» переходные процессы в КБТ практически перестают отличаться. В рассматриваемом случае можно сделать вывод, что для получения достаточной точности моделирования переходных процессов при глубине бурения 1000 м КБТ достаточно разбить на 10 участков.

На разработанной модели системы АД – КБТ проведены исследования и анализ переходных процессов в КБТ для двух вариантов: НАЭ – КБТ; ЧРАЭ – КБТ. Моделирование проводилось для следующих глубин бурения: 1000; 500 и 100 метров. Результаты исследования переходных процессов фиксировались в виде графиков, на которых записывались величины, характеризующие динамику КБТ и ЭП, такие как: $U(T)$ – изменение напряжения питающей сети от времени переходных процессов, В; $I_c(T)$ – изменение тока статора от времени переходных процессов, А; $\omega_{дв}(T)$ – изменение частоты вращения приводного двигателя от времени переходных процессов, рад/с; $M_{дв}(T)$ – изменение момента приводного двигателя от времени переходных процессов, Нм; $\omega_k(T)$ – изменение частоты вращения коронки от времени переходных процессов, рад/с; $M_1(T) \div M_5(T)$ – изменение упругого момента в различных сечениях КБТ, на которые разделена КБТ (нумерация идет от устья скважины к забою), от времени переходных процессов, Нм.

Процесс пуска при бурении скважин за счет наличия КБТ является одним из тяжелых режимов для электропривода. При исследовании процесса пуска в моделях принимались нулевые начальные условия. Процесс пуска производился вхолостую совместно с КБТ, при поднятой над забоем коронкой.

Переходные процессы при пуске колонны в системе НАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м представлены на рис.10.

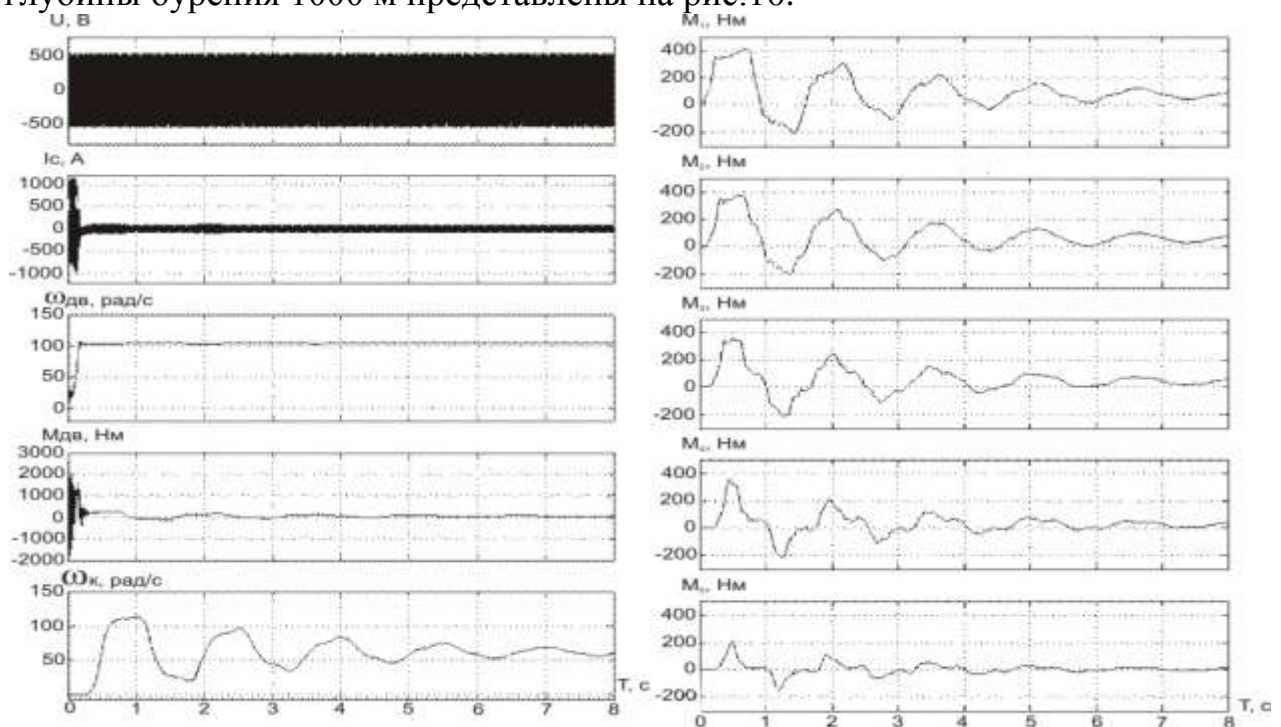


Рис.10 – Переходные процессы при пуске колонны в системе НАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м

При пуске электродвигателя происходит значительный бросок тока статора (1000 А) и момента приводного двигателя (3000 Нм). Быстрый разгон приводного электродвигателя (0,2 с) при пуске, а значит и верхнего сечения КБТ вызывает значительные колебательные процессы частоты вращения в нижнем сечении КБТ – график $\omega_k(T)$.

На графике $M_{об}(T)$ видны значительные броски момента при пуске электродвигателя, которые приводят к распространению колебаний момента приводного двигателя по КБТ от устья скважины к забою. Максимальная амплитуда колебаний достигает 600 Нм.

Пуск вхолостую в системе ЧРАЭ – КБТ при глубине бурения 1000 м представлен на рис.11.

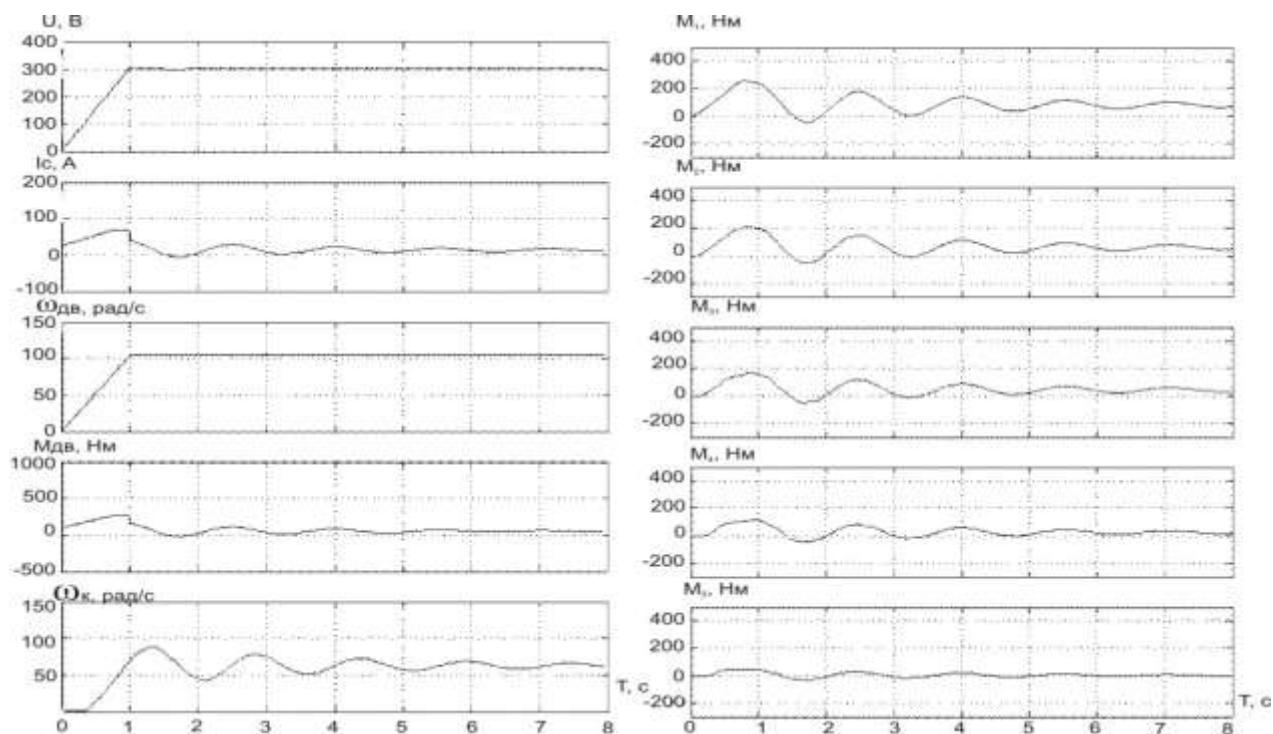


Рис.11 – Переходные процессы при пуске колонны в системе ЧРАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м

В отличие от системы НАЭ – КБТ, в системе ЧРАЭ – КБТ при пуске электродвигателя отсутствуют значительные броски тока статора и момента приводного двигателя. При разгоне электродвигателя его скорость плавно увеличивается. Возрастание скорости в процессе разгона двигателя $\omega_{об}(T)$ вызывает незначительные колебания скорости коронки. Сравнивая возникающие колебания скорости коронки в системе ЧРАЭ – КБТ и НАЭ – КБТ видно, что амплитуды колебаний в системе ЧРАЭ – КБТ на 30% меньше. На графиках упругих моментов по сечениям КБТ $M_1(T) \div M_5(T)$ (рис.10 – 11) видны колебания, которые по мере приближения к устью скважины уменьшаются и на забое практически отсутствуют. Амплитуды колебаний момента в сечениях КБТ на 35% ниже, чем в системе НАЭ – КБТ.

Колебания моментов и скорости КБТ тем больше, чем больше производная скорости двигателя в начальный момент пуска привода. На рис.12 представлена зависимость изменения амплитуды колебаний момента в верхнем сечении от времени пуска электродвигателя для глубины бурения 1000 м.

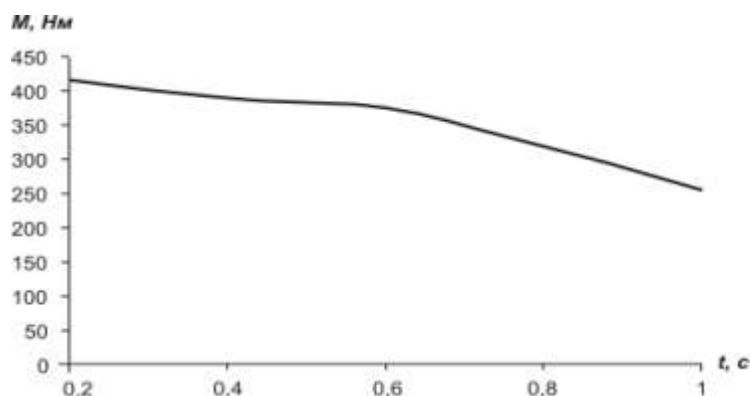


Рис.12 – Зависимость изменения амплитуды колебаний момента в верхнем сечении от времени пуска электродвигателя для глубины бурения 1000 м

При увеличении времени пуска с 0.2с до 1с, амплитуда колебаний упругого момента в верхнем сечении КБТ уменьшается на 30%.

При моделировании прикладывания нагрузки рассматривается наиболее тяжелый случай, когда нагрузка прикладывается скачком и остается постоянной по величине, равной номинальному моменту электродвигателя.

Прикладывание нагрузки на коронку в системе НАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м представлен на рис.13.

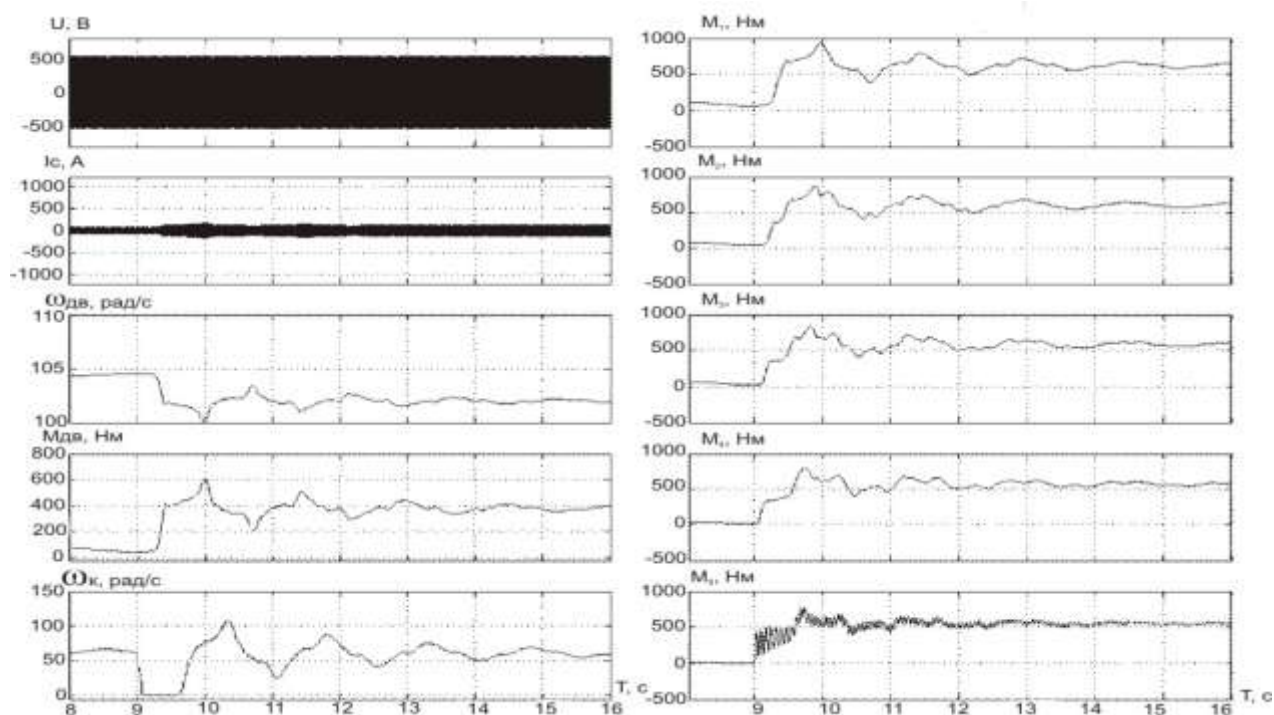


Рис.13 – Прикладывание нагрузки на коронку в системе НАЭ – КБТ при глубине бурения 1000 м

Скачкообразное прикладывание постоянной нагрузки на коронку вызывает колебания момента на валу двигателя (рис. 13) (амплитуда колебаний 400 Нм).

Прикладывание нагрузки в системе НАЭ – КБТ сопровождается значительными бросками тока до 250 А (график $I_c(T)$ на рис.13).

На рис.13 видно, что приложение нагрузки на коронку вызывает резкий скачок упругого момента $M_5(T)$ в нижнем сечении КБТ, в результате которого по колонне распространяются упругие колебания от забоя к устью скважины. Амплитуда колебаний моментов в сечениях колонны $M_1(T) \div M_5(T)$, увеличивается от забоя к устью, а частота уменьшается. Вследствие чего появляются значительные колебания в кривой момента на валу $M_{\text{дв}}(T)$ и скорости $\omega_{\text{дв}}(T)$ двигателя. Также в результате прикладывания нагрузки на коронку наблюдается снижение скорости двигателя $\omega_{\text{дв}}(T)$.

Процесс приложения нагрузки на коронку в системе ЧРАЭ– КБТ для глубины бурения 1000 м представлен на рис.14.

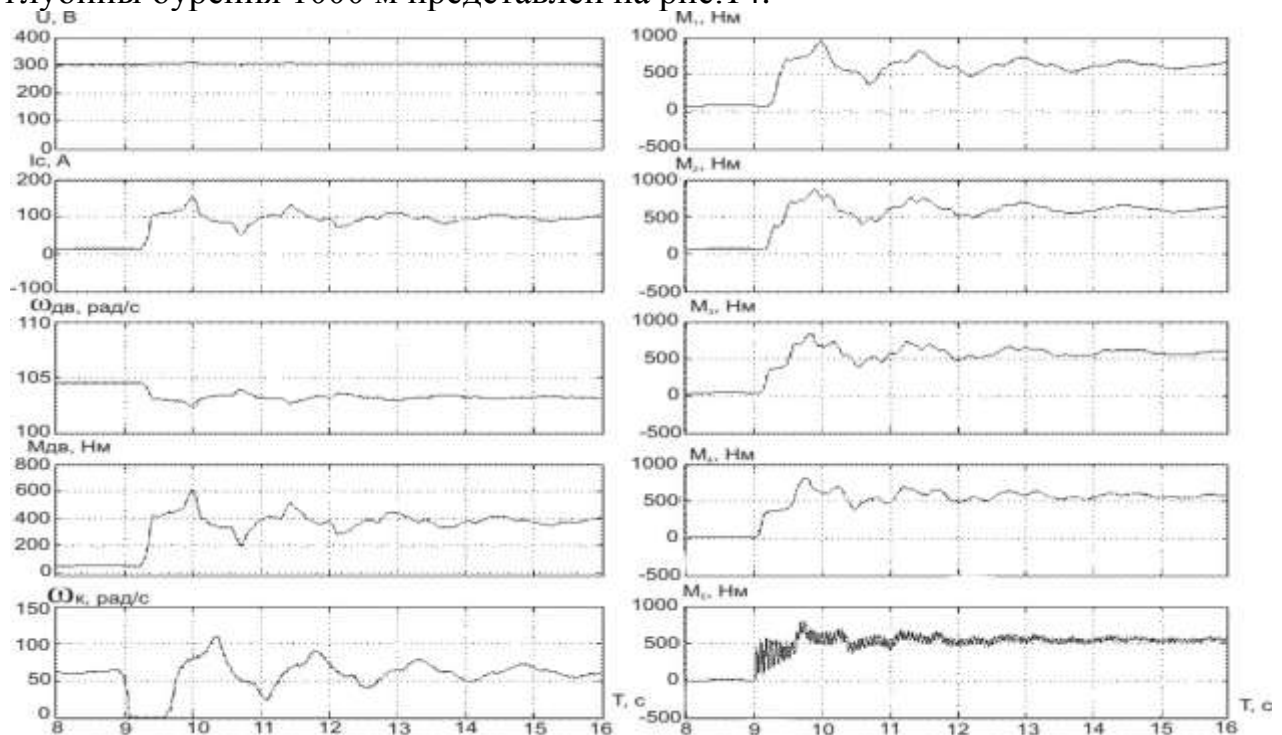


Рис.14 – Приложение нагрузки на коронку в системе ЧРАЭ – КБТ при глубине бурения 1000м

На рис.14 видно, что приложение нагрузки на коронку вызывает резкий скачок упругого момента $M_5(T)$ в нижнем сечении КБТ, в результате которого по колонне распространяются упругие колебания от забоя к устью скважины. Амплитуда колебаний упругих моментов в сечениях КБТ $M_1(T) \div M_5(T)$ увеличиваются от забоя к устью, а частота уменьшается. Вследствие чего появляются значительные колебания в кривой момента на валу $M_{\text{дв}}(T)$ и скорости $\omega_{\text{дв}}(T)$ двигателя.

При приложении нагрузки на коронку в системе ЧРАЭ – КБТ наблюдаются броски тока статора, которые до 40% меньше, чем в системе НАЭ – КБТ.

Прихват коронки моделируется скачкообразным увеличением нагрузки на коронку до величины, под действием которой после окончания переходного процесса вся система приходит в неподвижное состояние. Прикладывается момент нагрузки величиной 5000 Нм к коронке.

Режим прихвата коронки в системе НАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м представлен на рис.15.

В системе НАЭ – КБТ имеется ограничитель момента на валу двигателя, который при превышении критического момента отключает питание электродвигателя от сети. При прихвате коронки, в системе НАЭ – КБТ, происходит резкое увеличение упругого момента в нижнем сечении колонны $M_5(T)$ до 2500 Нм и стопорение скорости коронки $\omega_k(T)=0$.

Что вызывает резкий бросок тока статора $I_c(T)$ (500 А) приводного электродвигателя.

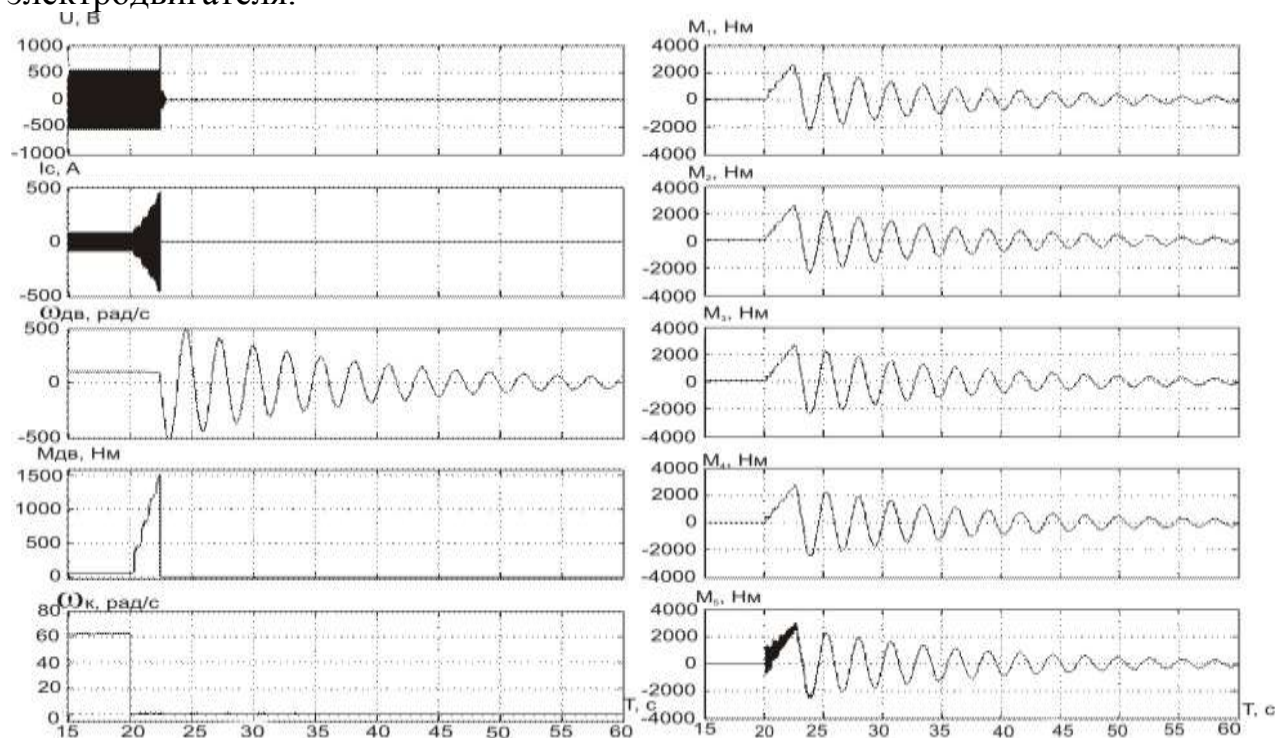


Рис.15 – Прихват коронки в системе НАЭ – КБТ при глубине бурения 1000 м

Резкое увеличение момента сопротивления в нижнем сечении колонны приводит к распространению упругих колебаний по КБТ от забоя к устью скважины практически без затухания. Это вызывает значительные колебания скорости двигателя $\omega_{дв}(T)$.

На графиках момента двигателя $M_{дв}(T)$ (рис.15) видно, что при превышении критического момента на валу электродвигателя срабатывает защита и отключает электродвигатель от питающей сети. Из графика переходных процессов скорости двигателя $\omega_{дв}(T)$ видно, что с уменьшением глубины бурения амплитуда колебаний уменьшается, а частота увеличивается. Тоже наблюдается и на графиках упругих моментов в сечениях КБТ $M_1(T) \div M_5(T)$.

Прихват коронки в системе ЧРАЭ – КБТ для глубины бурения 1000 м представлен на рис.16.

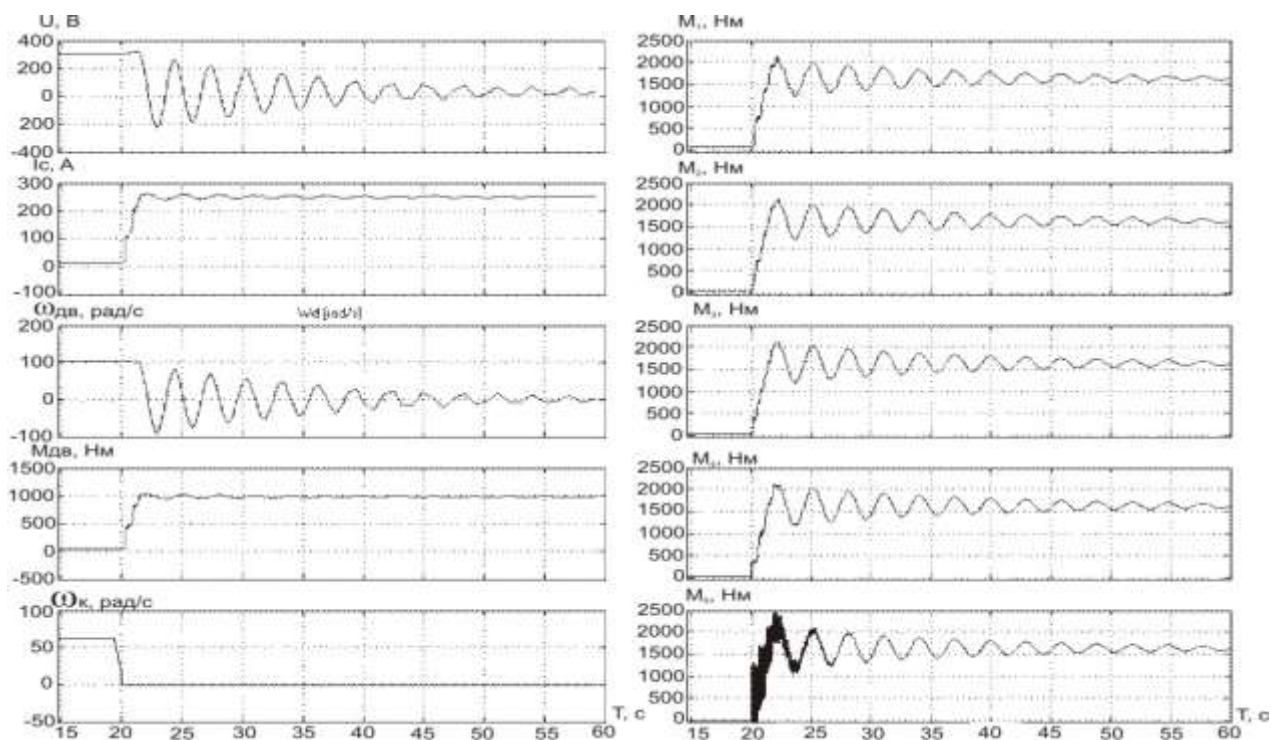


Рис.16 – Прихват коронки в системе ЧРАЭ – КБТ при глубине бурения 1000 м

При прихвате коронки, в системе ЧРАЭ – КБТ, происходит резкое увеличение момента сопротивления в нижнем сечении колонны $M_5(T)$ до 2500 Нм и стопорение скорости коронки $\omega_k(T)=0$. Это вызывает бросок напряжения $U(T)$ до 250 В и тока статора $I_c(T)$ до 250 А (рис.16), которые ниже при сравнении с системой НАЭ – КБТ. Резкое увеличение момента сопротивления в нижнем сечении $M_5(T)$ приводит к распространению упругих колебаний по КБТ от забоя к устью скважины практически без затухания. Это вызывает колебания скорости двигателя $\omega_{дв}(T)$.

В системе ЧРАЭ – КБТ имеется система автоматического ограничения тока статора на уровне двухкратного от номинального, что ограничивает момент электродвигателя. На графике $M_{дв}(T)$, $I_c(T)$ (рис.16), видно, что при прихвате коронки автоматически ограничивается ток статора и момент на валу электродвигателя.

На графиках моментов по сечениям КБТ $M_1(T) \div M_5(T)$ (рис.16) видно, что амплитуды колебаний в сечениях примерно на 50% ниже, чем в системе НАЭ – КБТ (рис.15).

Анализ графиков переходных процессов показывает, что частотно-регулируемый асинхронный ЭП является эффективным средством повышения качества переходных процессов в КБТ при геологоразведочном бурении, что позволяет уменьшить усталостные напряжения в материалах передач, снизить риск раскручивания КБТ и, что самое важное для геологоразведочного бурения, повысить качество выхода керна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе разработанных моделей и установленных закономерностей, решена задача по снижению энергозатрат при геологоразведочном бурении и повышению качества переходных процессов в КБТ за счет применения частотно-регулируемого ЭП, имеющая существенное значение для совершенствования технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых России.

Основные результаты и выводы по работе заключаются в следующем.

1. Разработана программа определения для ЭВМ затрат электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин по методике ВИЭМС при частотном и ступенчатом регулировании частоты вращения ПРИ, позволяющая уточнить расчет потерь мощности в электродвигателе.

2. Уточненный расчет затрат электроэнергии на бурение показал, что расхождение с методикой ВИЭМС может достигать в среднем до 3% при ступенчатом регулировании угловой скорости и до 9% при частотном.

3. Определены затраты электроэнергии на бурение геологоразведочных скважин по уточненной методике при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости ПРИ. При ступенчатом регулировании затраты электроэнергии на 13% больше, чем в системе с частотно-регулируемым ЭП.

4. Разработаны модели систем: нерегулируемый ЭП – колонна бурильных труб, частотно-регулируемый ЭП - колонна бурильных труб. Модели учитывают регулирование угловой скорости АД.

5. Применение частотно-регулируемого ЭП позволяет увеличивать время пуска по сравнению с нерегулируемым ЭП. Увеличение времени пуска от 0,2 до 1с способствует снижению колебаний упругого момента в сечениях колонны по сравнению с нерегулируемым ЭП до 30%. Время пуска 1с не сказывается на производительности бурения.

6. Показано, что частотно-регулируемый ЭП по сравнению с нерегулируемым ЭП в режиме приложения нагрузки снижает броски тока статора до 40%.

7. В режиме прихвата коронки частотно-регулируемый ЭП позволяет снизить броски тока статора в два раза, уменьшить амплитуды колебаний упругого момента в сечениях КБТ до 50% по сравнению с нерегулируемым ЭП.

8. Исследования на модели подтвердили теоретические выводы о том, что частотно-регулируемый асинхронный ЭП позволяет повысить качество переходных процессов в КБТ при различных режимах её работы по сравнению со случаем нерегулируемого асинхронного ЭП.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Оливетский И.Н. Повышение эффективности геологоразведочного бурения за счет применения частотно регулируемого электропривода // журнал «Геология и разведка», М, РГГРУ, 2009.
2. Оливетский И.Н., Шевырёв Ю.В., Парфёнов Б.М. Электро-привода современных буровых установок // Материалы VIII международной конференции «Новые идеи в науках о земле» // М, РГГРУ, 2007.
3. Оливетский И.Н. Потребление электроэнергии буровой установки с частотно регулируемым асинхронным приводом // Научно практическая конференция геоэкологии и инженерно-геологические проблемы развития гражданских и промышленных комплексов // М, РГГРУ, 2008.
4. Оливетский И.Н., Парфёнов Б.М., Шевырёв Ю.В. Повышение эффективности геологоразведочного бурения за счет применения плавно регулируемого электропривода // Сборник докладов конференций // М, РГГРУ, 2009.
5. Оливетский И.Н. Модель расчета потребляемой мощности буровой установки при использовании частотно регулируемого электропривода // Материалы IX международной конференции «Новые идеи в науках о земле» // М, РГГРУ, 2009.