

На правах рукописи



**Соловьев Андрей Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ РАБОТ  
НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ПУТЕМ ОСВОЕНИЯ И  
МОДЕРНИЗАЦИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА**

*Специальность 25.00.14 – «Технология и техника геологоразведочных работ»*

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (ФГБОУ ВО МГРИ-РГГРУ).

**Научный руководитель: Лимитовский Александр Михайлович**

доктор технических наук, профессор кафедры механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ МГРИ-РГГРУ, Москва.

**Официальные оппоненты: Шевырев Юрий Вадимович**

доктор технических наук, профессор, кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), Москва.

**Ивченко Иван Александрович**

кандидат технических наук, специалист 1 категории отдела конструкторской эксплуатационной и технической документации АО «Технодинамика», Москва.

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Горный университет), Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится «08» июня 2016 г. в 15 ч. 00 мин на заседании диссертационного совета Д.212.121.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ) по адресу 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, аудитория 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГРИ-РГГРУ или на сайте [www.mgri-rggru.ru](http://www.mgri-rggru.ru). Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Назаров А.П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время основной объем геологоразведочных работ выполняется буровым способом. Без бурения не обходится разведка практически ни одного вида полезных ископаемых как твердых, так жидких и газообразных. Широкое распространение получили несколько видов бурения в зависимости от поставленных задач, но наибольшее распространение получил вращательный способ.

На буровых установках вращательного действия применяются различные виды привода: от двигателей внутреннего сгорания, гидропривод, но наибольшее распространение получил электропривод.

Преимущество использования электропривода в бурении обусловлено особенностями самой электрической энергии: возможностью экономичной передачи на большие расстояния, удобством распределения между потребителями, простотой преобразования в другие виды (механическую, тепловую, световую), экологической чистотой, а так же экономическими соображениями: замена двигателя внутреннего сгорания электроприводом, получающим электроэнергию от районных энергосистем, повышает производительность труда при колонковом бурении на 30%, а годовые затраты на ремонт электродвигателей оказываются в десятки раз меньше затрат на ремонт дизелей той же мощности.

Поэтому оптимизация электропривода в направлении снижения энергозатрат на бурение погонного метра скважины является актуальной задачей, особенно сейчас, в условиях роста стоимости отпускаемой электроэнергии и стоимости за её подключение в случае питания от региональной ЛЭП.

Основное направление в решении задачи повышения эффективности привода буровых установок – использование плавно-регулируемого автоматизированного электропривода. Более перспективным по сравнению с плавно-регулируемым электроприводом постоянного тока является использование новых разработок плавно-регулируемого привода на основе двигателей переменного тока, т.к. регулирование частоты вращения асинхронных двигателей изменением частоты тока в питающей сети является наиболее экономичным способом регулирования и позволяет получить хорошие механические характеристики электропривода по диапазону и плавности.

Таким образом, теоретическое обоснование и решение научной задачи, заключающейся в исследовании и обосновании эффективности частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором на буровых установках, снижающих стоимость проходки погонного метра скважины, характеризует актуальность работы.

**Цель работы:** повышение энергетических параметров буровой установки на базе асинхронного электропривода.

**Идея работы:** снижение энергозатрат буровых работ на твердые полезные ископаемые посредством освоения и модернизации частотно регулируемого привода.

**Методика исследований.** Для решения поставленных задач использовался комплексный метод исследований, включающий в себя анализ научных и практических работ в этой области, математическое моделирование регулируемого привода и промышленный эксперимент с натурным оборудованием.

**Научная новизна:**

- 1) Установлена закономерность снижения пусковых токов при замене традиционного электропривода буровой установки на плавно-регулируемый;
- 2) Установлены зависимости изменения основных энергетических параметров (коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, потребляемые токи, напряжения и мощность) от нагрузки в системах традиционного и плавно-регулируемого привода буровой установки УКБ-4;
- 3) Установлены зависимости снижения затрат на энергообеспечение за счет использования плавно-регулируемого привода буровых установок при системах локального и централизованного электроснабжения.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и технико-технологических решений базируется на применении математических методов исследований, доказана достаточным фактическим материалом и сходимостью полученных экспериментальных результатов с результатами полученными методом математического моделирования.

**Практическая ценность** работы заключается в том, что в результате экспериментальных и аналитических исследований:

- обоснована целесообразность и перспективность использования частотно-регулируемого электропривода на буровых работах;

- разработана методика экономической оценки эффективности использования частотно-регулируемого электропривода на буровых установках;
- разработана математическая модель, позволяющая определить энергетические параметры бурового станка при использовании частотно-регулируемого электропривода;
- результаты, полученные при исследовании частотно-регулируемого электропривода, используются в учебном процессе при ведении курсов электрооборудования и электроснабжения, а так же электропривода.

**Апробация работы.** Основные положения и содержание работы были доложены: на IX и X международных конференциях «Новые идеи в науках о земле» (Москва МГРИ-РГГРУ - 2009, 2011); VII международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» (Москва МГРИ-РГГРУ- 2010, 2012); VI международной молодежной конференции «Тинчуринские чтения» (Казань, Казанский государственный энергетический университет - 2010).

**Публикации.** Результаты исследований по теме диссертаций опубликованы в 13 работах, в том числе в 6 работах из перечня научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

**Объём и структура диссертации.** Диссертация изложена на 115 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы из 103 наименований.

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

**В главе 1** выполнен анализ литературных источников посвященных основным типам привода буровых установок, рассмотрены ранее проведенные экспериментальные исследования в этой области, установлены основные особенности различных типов приводов буровых установок и требования, предъявляемые к ним. Рассмотрены ограничения и выбраны критерии оптимизации систем электропривода буровых установок. Намечены пути совершенствования современных систем электропривода.

**Во второй главе** разработана математическая модель частотно-регулируемого привода бурового станка УКБ-4 и модель со ступенчатым и

плавным регулированием. Получены основные энергетические зависимости частотно-регулируемого привода.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям частотно-регулируемого электропривода бурового станка УКБ-4, проведенным автором на учебно-научном Сергиево Посадском полигоне МГРИ-РГГРУ и на предприятии ОАО Тульское НИГП. Результаты экспериментальных исследований подтверждают достоверность разработанной математической модели частотно-регулируемого привода.

**В четвертой главе** на основе полученных во второй главе энергетических зависимостей определены затраты на бурение геологоразведочных скважин, буримых станком с частотно-регулируемым приводом и ступенчато-регулируемым приводом при локальной и централизованной схемах электроснабжения. Проведен сравнительный экономический анализ традиционного и частотно-регулируемого электропривода. Обоснована экономическая целесообразность использования частотно регулируемого привода в бурении на твердые полезные ископаемые.

**В заключении** приведены основные выводы по диссертационной работе.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю – доктору технических наук, профессору Лимитовскому А.М. за постоянное внимание и неоценимую помощь в выполнении данной диссертации, всему коллективу кафедры «Механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ» МГРИ-РГГРУ.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие защищаемые положения:

**1. Модернизация традиционного асинхронного электропривода буровых установок на твердые полезные ископаемые с целью повышения его энергетических параметров должна производиться путем плавного регулирования частоты вращения посредством освоения преобразователей частоты со звеном постоянного тока с учетом особенностей производства геологоразведочных работ.**

Угловая скорость асинхронного двигателя равна:  $w = (2\pi f / p) (1 - s)$ ,

(где:  $w$  – угловая скорость,  $f$  – частота питающей сети,  $p$  – число пар полюсов,  $s$  – скольжение)

откуда видно, что все способы регулирования угловой скорости асинхронных электроприводов можно разделить на два основных вида. К первой группе относятся способы регулирования скорости, при которых изменяется угловая скорость вращающегося поля статора двигателя. Это осуществляется изменением частоты тока питающей сети  $f$  (частотное регулирование) или числа пар полюсов двигателя  $p$ .

Ко второй группе относятся способы, при которых изменяется величина скольжения двигателя  $s$ . Это осуществляется введением в цепь ротора или статора двигателя реостатов или катушек индуктивностей, или введением в цепь ротора внешней противо — э. д. с, изменением напряжения, подводимого к статору двигателя.

Исходя из конструктивных особенностей асинхронных двигателей, способ регулирования изменением числа пар полюсов применяется только для двигателей с короткозамкнутым ротором и не применяется в бурении на ТПИ т.к. не обеспечивает плавного регулирования, а способы введением в цепь ротора двигателя с фазным ротором сопротивлений, катушек индуктивности и противо-э.д.с. характеризуются высокими потерями на регулирование, пропорциональными скольжению.

Наиболее перспективным способом регулирования асинхронных двигателей является способ изменения частоты питающей сети с помощью управляемых тиристорных преобразователей (УЧП-Д), что с успехом уже осваивается в практике бурения на нефть.

Статические преобразователи частоты подразделяют на две основные группы: 1) с непосредственной связью и 2) с промежуточным звеном постоянного тока. Во втором случае вначале производится преобразование переменного тока промышленной частоты в постоянный ток (выпрямление), а затем постоянный ток преобразуется в переменный ток регулируемой частоты и напряжения (инвертирование). В первом же случае функции выпрямления и инвертирования выполняются одновременно.

Преобразователи с непосредственной связью имеют ряд недостатков: ограниченные пределы регулирования выходной частоты (до 50% частоты сети), сниженный коэффициент мощности (примерно 0,8), большое число силовых вентилях и сложная схема управления ими. Такие преобразователи находят ограниченное применение.

Поэтому наиболее широкое применение в бурении может иметь преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока. К достоинствам таких преобразователей следует отнести возможность регулирования частоты как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения сетевой частоты, значительное быстродействие, высокий к. п. д. (до 0,97), бесшумность в работе и высокую надежность, небольшие габаритные размеры.

Частотно-регулируемый электропривод позволяет легко формировать оптимальные характеристики для вращателя и лебедки, переход на которые осуществляется простым переключением. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода являются:

- максимальное использовать мощности приводного двигателя;
- обеспечение плавного пуска двигателя;
- исключение динамических перегрузок;
- обеспечение легкого выхода из зон резонансных колебаний;
- создание оптимальных условий для очистки скважины в процессе бурения;
- обеспечение оптимального расхода электроэнергии;
- повышение безопасности работ за счет более плавного приподъема и снятия колонны с подкладной вилки, а также выноса рабочего места бурильщика на значительное расстояние от лебедки;
- меньшая утомляемость бурового мастера за счет простоты и легкости управления;
- повышение срока службы каната, колонны труб и механических узлов лебедки благодаря уменьшению динамических нагрузок;
- возможность осуществления плавного подъема вышки с помощью управляемой с выносного пульта лебедки станка;
- уменьшение вероятности потери керна при более плавном подъеме буровой колонны;

- более широкий диапазон скоростей подъема и спуска груза;
- упрощение конструкции лебедки и увеличение срока службы тормозных колодок.

Кроме того, исключается малонадежный узел — фрикцион и упрощается коробка передач, что улучшает кинематику станка.

**2. Разработанная математическая модель частотно регулируемого асинхронного привода обеспечивает возможность построения электромеханических характеристик отражающих изменение основных энергетических параметров, в том числе коэффициента полезного действия в зависимости от изменения нагрузки на двигателе.**

Для решения дифференциальных уравнений, описывающих работу асинхронного электродвигателя, питаемого от преобразователя частоты, в работе используется структурный метод моделирования. Структурный метод моделирования реализуется на основе представления дифференциальных уравнений в виде динамических звеньев с указанием связей между ними. Моделирование выполнялось в программной среде matlab simulink, с использованием дополнительного программного модуля sim Power Systems.

На рисунке 1 представлена структурная схема математической модели частотно-регулируемого электропривода переменного тока.

Она состоит из силовых элементов: выпрямителя, звена постоянного тока, автономного инвертора (АИН); и элементов системы управления. Обобщенная структура системы управления включает в себя регулятор частоты вращения, регулятор тока, регулятор магнитного потока, регулятор максимального напряжения, блок расчета частоты вращения, блок расчета магнитного потока, блок предварительной регулировки напряжения, преобразования из трехфазной системы координат в ортогональную систему координат (d, q), блок обратного преобразования из ортогональной системы координат в трехфазную систему, информационные устройства (датчики тока АИН, датчики напряжения звена постоянного тока, датчики температуры).

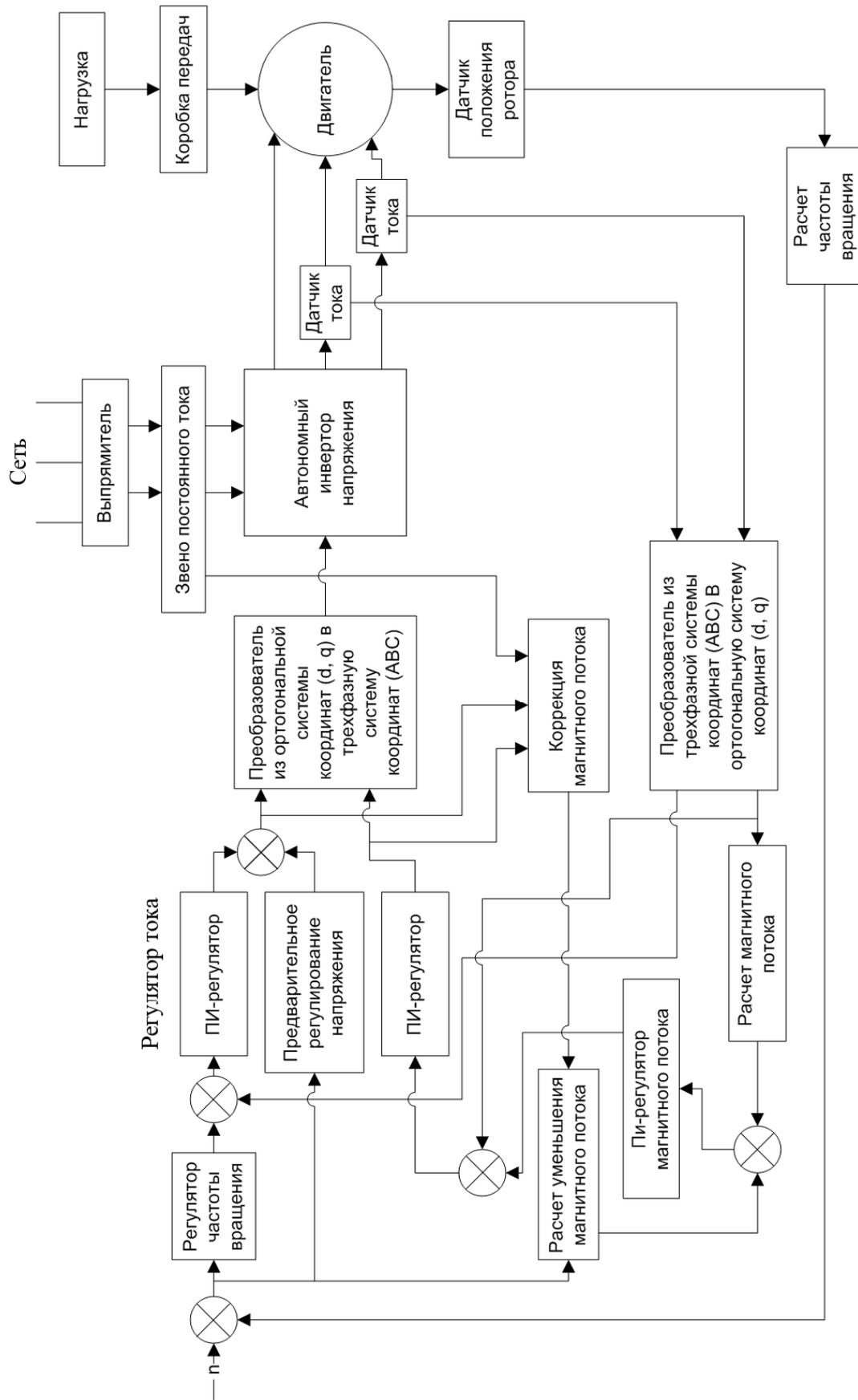


Рис. 1 Структурная схема частотно-регулируемого электропривода

Данная модель позволила определить основные энергетические параметры частотно-регулируемого электропривода. Такие как изменение КПД в зависимости от приложенной нагрузки, потребляемую электрическую мощность в зависимости от приложенного момента сопротивления к валу двигателя, токи и напряжения в сети и на обмотках двигателя.

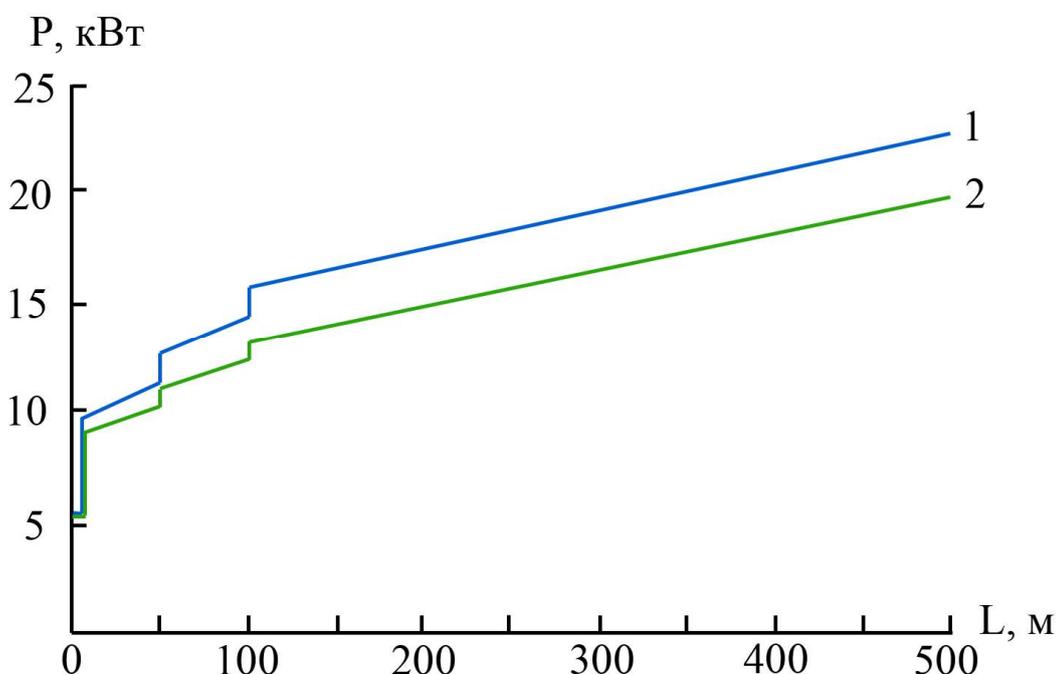
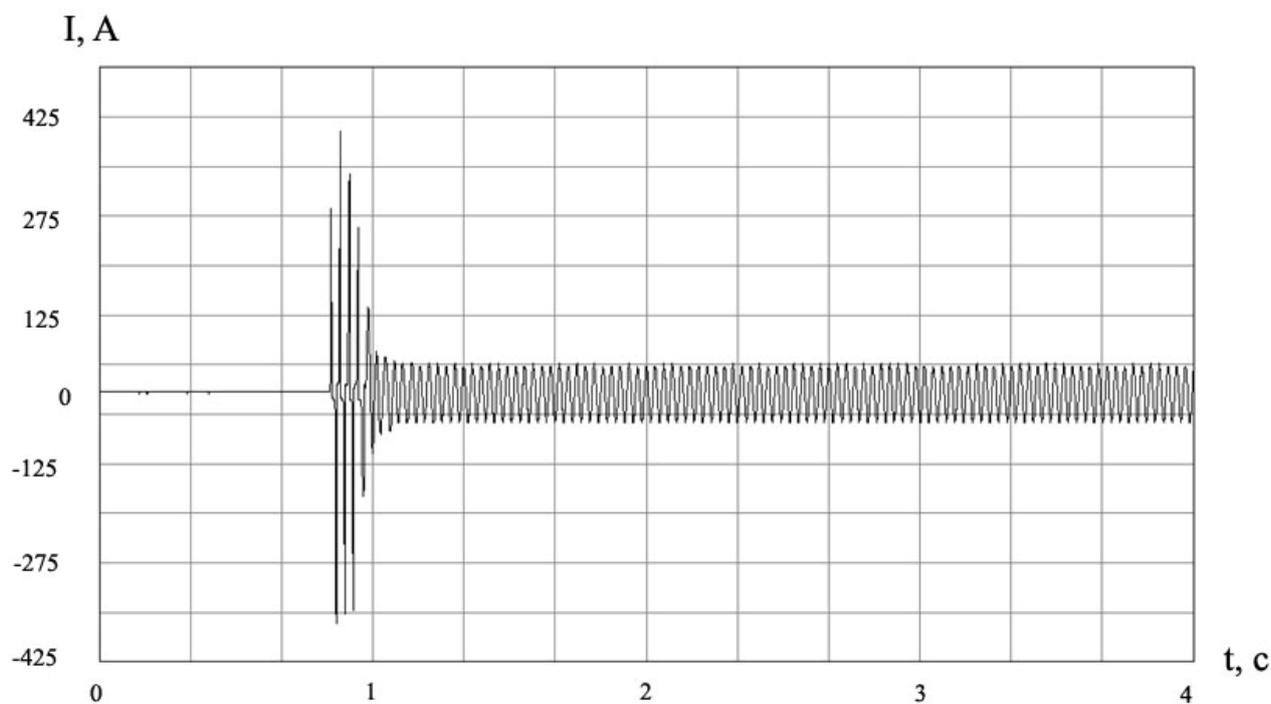


Рис. 2. Графики затрат мощности на бурение: 1 – при ступенчатом регулировании, 2 - при плавном регулировании

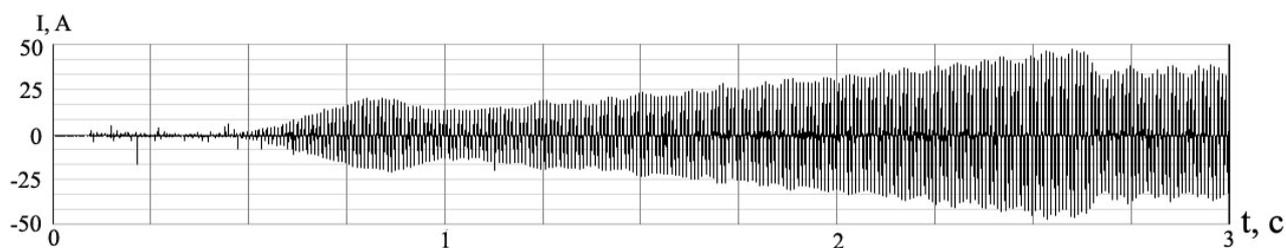
На рисунке 3 изображена осциллограмма пускового тока в одной из обмоток статора двигателя станка СКБ-4, без использования частотного преобразователя. Анализируя эту осциллограмму приходим к выводу о наличии значительных пусковых токов, превышающий номинальный в 5-6 раз.

Ниже на рис 4 представлена осциллограмма тока в одной из фаз питающих буровой станок при его пуске с использованием преобразователя частоты. В случае плавного старта двигателя вращателя с помощью преобразователя частоты ток превышает номинальное значение не более чем на 20%.

Как видно из изображений величина пусковых токов снизилась в 5 раз.



*Рис. 3. Осциллограмма тока в фазе А обмотки статора электродвигателя вращателя при его не плавном пуске.*



*Рис. 4. Осциллограмма тока в фазе А обмотки статора электродвигателя вращателя при его плавном пуске.*

Снижение пусковых токов позволяет использовать энергоисточник меньшей мощности в случае питания буровой установки от индивидуальной дизельной электростанции.

### **3. Замена традиционного асинхронного привода с механической редукцией на частотно регулируемый обеспечивает:**

- **Снижение уровня пусковых токов в среднем в 5-6 раз что стабилизирует работу системы энергообеспечения особенно соизмеримой с потребителем мощности**
- **Повышение коэффициента мощности -  $\cos(\varphi)$  – до 15% и снижение тем самым потерь электроэнергии**

**- Повышение коэффициента полезного действия до 18% и  
снижение приведенных затрат на энергоснабжение  
в случае централизованного электроснабжения до 10%  
в случае локального электроснабжения до 20%**

В настоящее время наиболее объективным способом технико-экономической оценки возможных вариантов проведения геологоразведочных работ является способ, основанный на расчете и сравнении специального экономического показателя - приведенных затрат.

Методика расчета приведенных затрат на энергообеспечение буровых работ для возможных и наиболее распространенных вариантов энергоснабжения разрабатывалась в МГРИ-РГГРУ – под научным руководством профессора А.М. Лимитовского, в тесном контакте с ведущими геологическими организациями России, начиная с конца 70-ых годов прошлого столетия. Методика используемая в данной работе основана на последних результатах этих исследований и разработок.

Для определения приведенных затрат рассчитывают расходы по всем статьям за принятый единичный период (месяц, квартал, год) и их сумму за расчетное число периодов, приведенную к настоящему времени.

Основная формула определения приведенных затрат имеет вид:

$$Z = -K - K_0 - Ц - И + D + E + A$$

где:  $K$  – начальные капиталовложения (стоимость оборудования, линий электропередач и т.п.);

$K_0$  – необходимый начальный оборотный капитал (в основном, это запас топлива);

$Ц$  – стоимость подключения к районной линии электропередач;

$И$  – стоимость текущих затрат (на заработную плату, электроэнергию и пр.);

$D$  – остаточная стоимость оборудования, приведенная к исходному моменту;

$E$  – экономия на налоге на прибыль в связи с текущими затратами;

$A$  – экономия на налоге на прибыль в связи с амортизационными отчислениями.

$$I = I_{\kappa} \cdot \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}, \text{ руб.}$$

где:  $I_{\kappa}$  - текущие эксплуатационные затраты за принятый временной период (квартал, месяц);

$i$  - ставка альтернативного вложения (квартальная, месячная) в долях единицы;

$n$  - количество временных интервалов, за которое проводится анализ.

$$D = \frac{K(1 - pn)}{(1 + i)^n}, \text{ руб.}$$

где:  $p$  - коэффициент амортизации оборудования.

$$E = I_{\kappa} \cdot C \cdot \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}, \text{ руб.},$$

где:  $C$  - ставка налога на прибыль.

$$A = K \cdot p \cdot C \cdot \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}, \text{ руб.}$$

Начальные капиталовложения определяются по справочникам как сумма укрупненных показателей стоимости бурового оборудования и элементов системы электроснабжения.

Эксплуатационные затраты на рассматриваемый отрезок времени слагаются из ряда издержек:

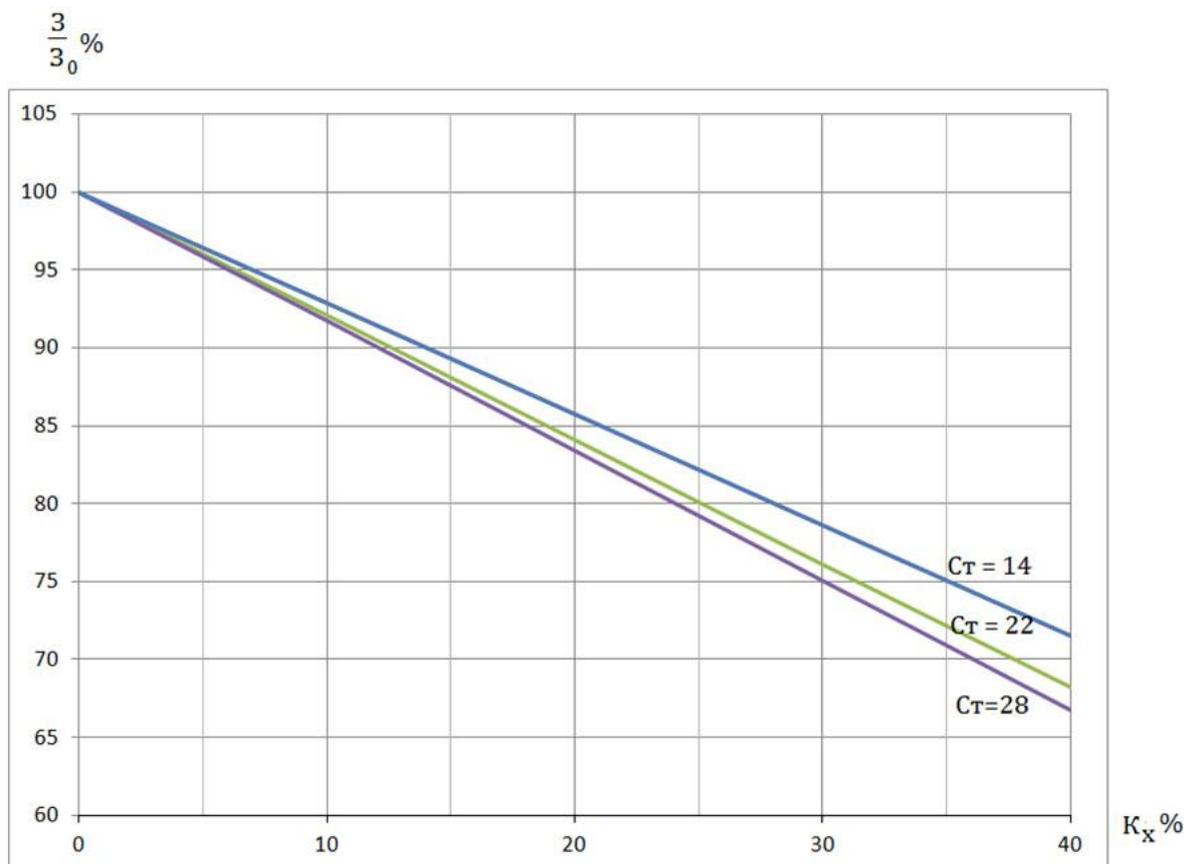
$$I_{\kappa} = I_{\varepsilon} + I_{нэ}, \text{ руб.}$$

$I_{\varepsilon}$  - издержки на электроэнергию или топливо,

$I_{нэ}$  - издержки, связанные с потерей энергии в линиях и трансформаторах,

В зависимости от варианта электроснабжения участка работ некоторые составляющие приведенных затрат будут отсутствовать, так, например, в случае питания от региональной линии электропередач будет отсутствовать начальный оборотный капитал, а в случае использования индивидуальных энергоисточников - не будет издержек на распределительные линии и т.д. Поэтому для повышения точности оценки экономической эффективности использования частотно-регулируемого электропривода в бурении необходимо рассмотреть все типовые варианты электроснабжения.

На рисунке 5 представлен график изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от дизельной электростанции.



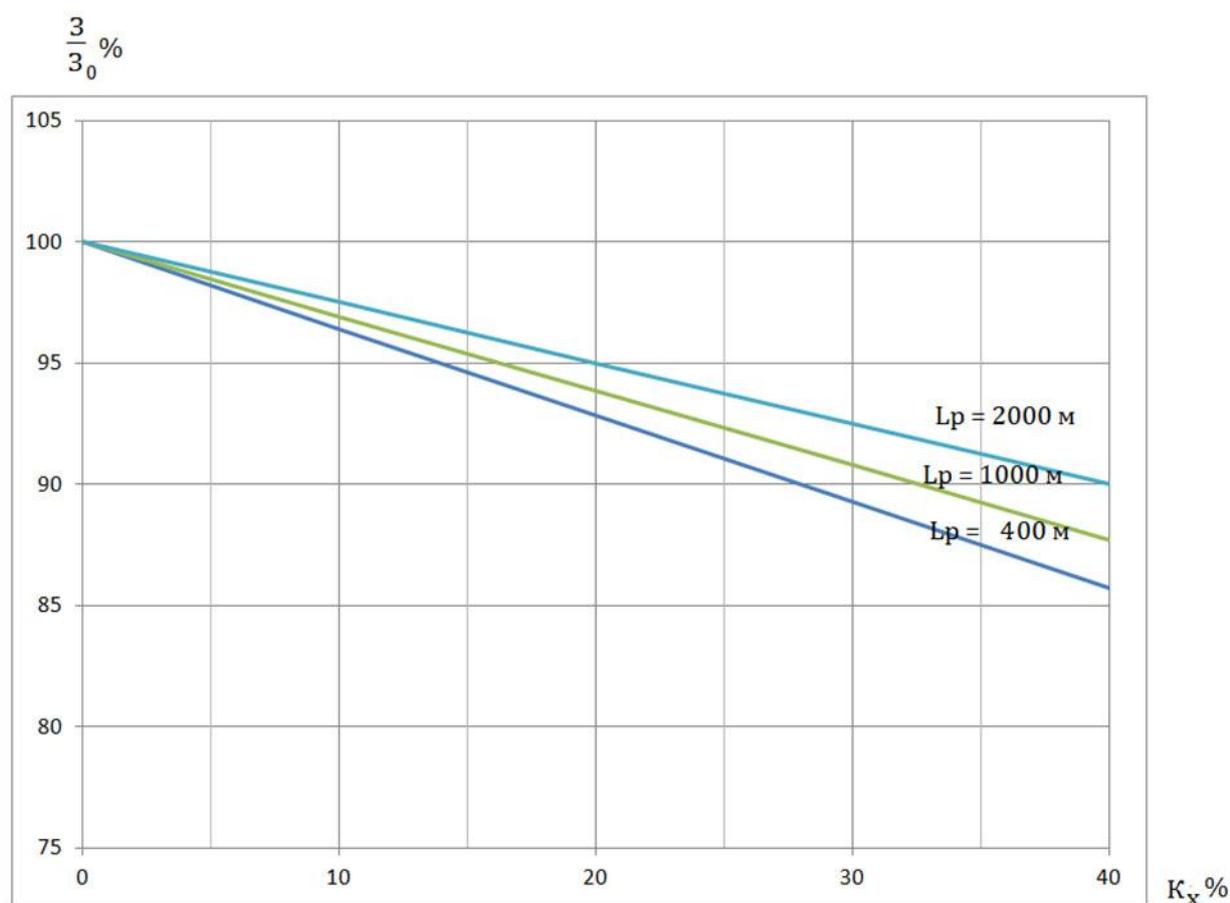
*Рис. 5 График изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от дизельной электростанции*

$C_T$  – стоимость 1 л топлива для дизельной электростанции;  $Z$  – приведенные затраты при использовании частотно-регулируемого привода;  $Z_0$  – приведенные затраты при классическом ступенчатом регулировании;  $K_x$  – коэффициент экономии электроэнергии.

Расчеты, результаты которых представлены на рис 5, проводились для 1 бурового станка, работающего 1 год в 3 смены, при районном коэффициенте равном 1.

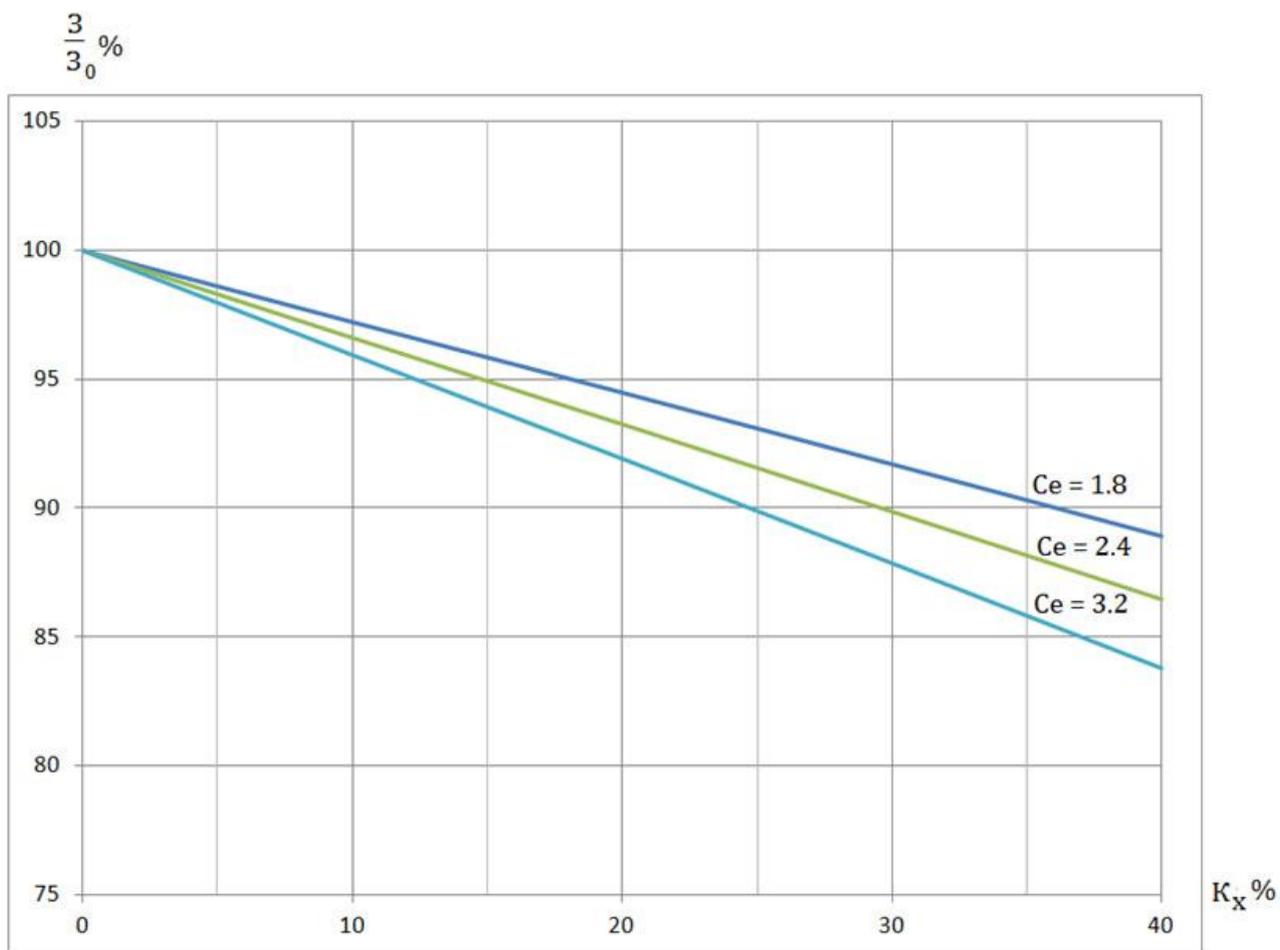
Из графика видно, что с использованием частотно-регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от индивидуальной дизельной электростанции, приведенные затраты снизились в среднем на 15%.

На рисунках 6, 7, 8 представлены графики изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от районной линии электропередач, стоимость 1 кВт·ч 2 руб, районный коэффициент 1, стоимость подключения 5000 руб/кВт



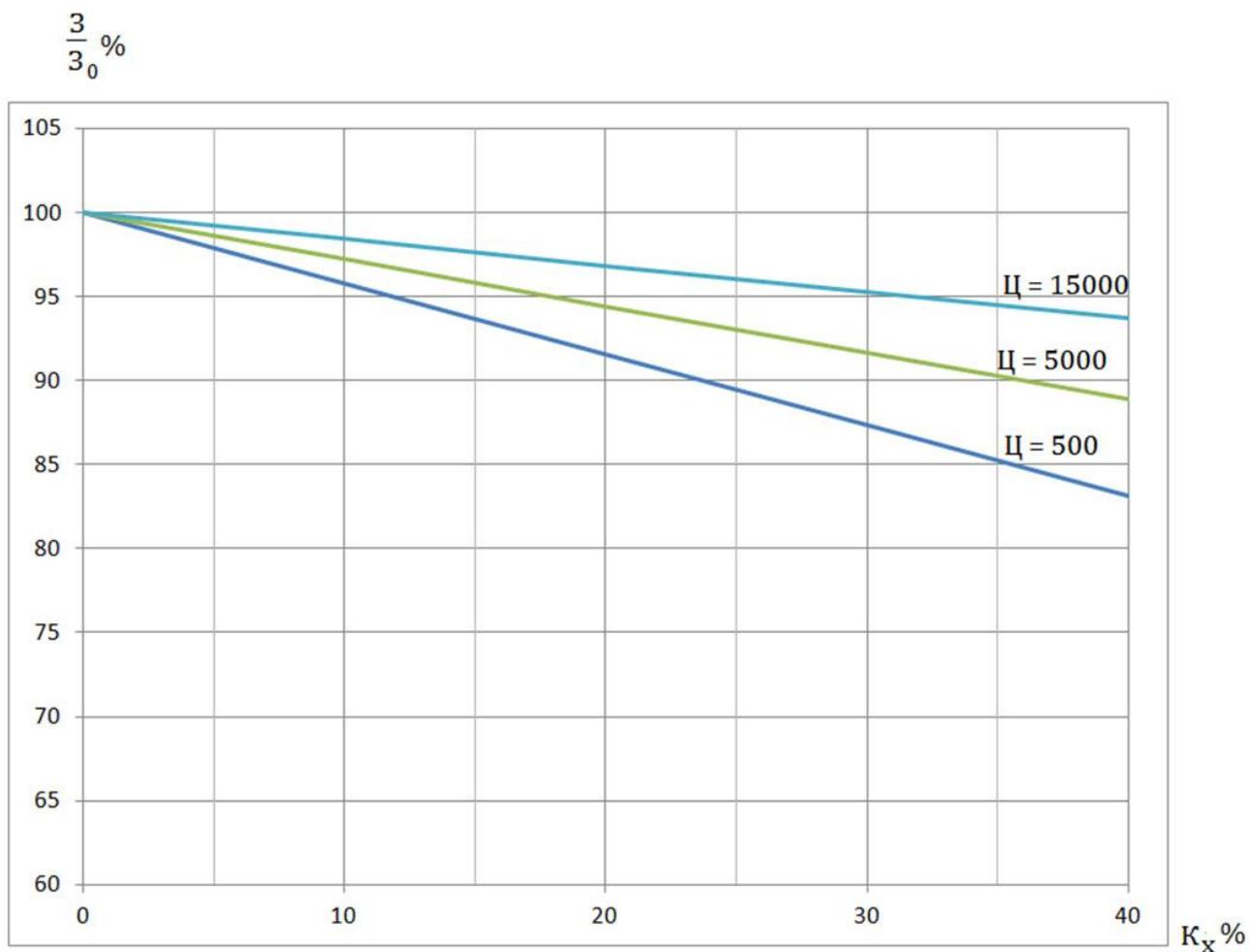
*Рис. 6. График изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от региональной линии*

$L_p$  – расстояние от места работы буровой установки до районной линии электропередач.



*Рис. 7. График изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от региональной линии*

$C_e$  – стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии.



*Рис. 8. График изменения приведенных затрат при использовании частотно регулируемого привода на буровой установке УКБ-4, питаемой от региональной линии*

*Ц – стоимость подключения 1 кВт\*ч электроэнергии.*

Из графиков видно, что с использованием частотно-регулируемого привода, на буровой установке УКБ-4, питаемой от районной линии электропередач, приведенные затраты снизились в среднем на 7%.

## **Основные выводы.**

В представленной работе на основе проведенных анализов, разработанных математических моделей и установленных закономерностей решена задача по снижению энергозатрат буровых работ на твердые полезные ископаемые посредством освоения и модернизации частотно регулируемого привода. Эта задача имеет существенное значение для совершенствования технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых России.

### *Основные выводы заключаются в следующем:*

1. На основе анализа работ по тематике совершенствования привода буровых установок определено основное направление в совершенствовании привода на базе асинхронных электродвигателей – использование тиристорного частотно-регулируемого привода.
2. Разработана математическая модель частотно-регулируемого электропривода буровой установки УКБ-4, позволяющая построить его основные электромеханические характеристики. Достоверность модели подтверждена экспериментальными исследованиями частотно-регулируемого привода станка СКБ-4, а также станка ЗИФ-650М.
3. На основе исследования динамических режимов работы бурового станка СКБ-4, установлено что, применение частотно регулируемого привода позволяет снизить пусковые токи в обмотках статора приводного электродвигателя до уровня номинальных значений, чем существенно стабилизировать динамические нагрузки и повысить энергетические характеристики.
4. Разработаны математические модели технико-экономических расчетов приведенных затрат для различных систем электроснабжения на бурение геологоразведочных скважин при частотном и ступенчатом регулировании частоты вращения породоразрушающего инструмента. Снижение приведенных затрат на энергоснабжение составляет в случае централизованного электроснабжения – до 10%, в случае локального электроснабжения – до 20%.
5. Модернизация электропривода буровой установки на основе освоения частотного регулирования позволяет не только существенно повысить ее энергетические параметры, но в перспективе снизить массогабаритные и

стоимостные характеристики, обеспечить условия для полного внедрения автоматизации в технологии бурения.

6. Установлено, что частотно регулируемый привод имеет лучшие энергетические и динамические параметры, чем традиционный ступенчато-регулируемый, что позволяет увеличить срок службы бурового станка и его межремонтные периоды.

### **Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах.**

В 13 работах, из которых 6 опубликованы в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК (личный вклад 1.22 п.л.).

#### **В изданиях ВАК:**

1. Соловьев А.М. Метод определения силы тока, мощности и коэффициента мощности в системах с частотно-регулируемым приводом переменного тока // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №5. Совершенствование привода геологоразведочных буровых установок вращательного действия. М.: издательство «Горная книга». -2013. - С. 11-13. ISSN 0236-1493.
2. Соловьев А.М. Моделирование векторного управления частотно-регулируемого электропривода в бурении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №5. Совершенствование привода геологоразведочных буровых установок вращательного действия. М.: издательство «Горная книга». -2013. - С. 8-11. ISSN 0236-1493.
3. Соловьев А.М. Перспективные направления в модернизации привода буровых геологоразведочных установок вращательного действия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №5. Совершенствование привода геологоразведочных буровых установок вращательного действия. Отдельные статьи. М.: издательство «Горная книга». -2013. - С. 3-7. ISSN 0236-1493.
4. Соловьев А.М., Соловьев И.М. Экспериментальные исследования буровой установки УКБ-4 оснащенной частотно-регулируемым электроприводом //

Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: издательство «Горная книга». - 2014. - №5. - С. 199-203. ISSN 0236-1493.

5. Соловьев А.М. Оптимизация энергоснабжения наземных геологоразведочных буровых работ за счет использования частотно-регулируемого электропривода буровых установок вращательного действия // Разведка и охрана недр. М. -2014. - №6. - С. 49-51. ISSN 0034-026X.
6. Соловьев А.М., Соловьев И.М. Оценка энергетической эффективности частотно-регулируемого электропривода буровой установки УКБ-4 // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: издательство «Горная книга». -2016. -№1. – С. 320-326. ISSN 0236-1493.

**В прочих изданиях:**

1. Лимитовский А.М., Соловьев А.М. Состояние и перспективы совершенствования привода буровых установок на твердые полезные ископаемые // IX Международная конференция «Новые идеи в науках о земле». Доклады. М. РГГРУ. -2009. . - С 122-124.
2. Лимитовский А.М., Соловьев А.М. О главном направлении модернизации буровых установок // VI Международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». Доклады. М. РГГРУ. -2010. - С 154-155.
3. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Соловьев А.М. О перспективном нетрадиционном решении вопросов энергетики при производстве буровых работ на твердые полезные ископаемые // VI международная молодежная конференция «Тинчуринские чтения». Доклады. КГЭУ. УНИРСиА. Казань. -2010. - С 86-87.
4. Соловьев А.М. Стендовые испытания частотно-регулируемого привода буровых станков // X Международная конференция «Новые идеи в науках о земле». Доклады. Том 2. М. РГГРУ. -2011. - С 225-226.
5. Соловьев А.М. Математическое моделирование частотно-регулируемого электропривода буровой установки УКБ-4 // VII Международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». Доклады.

М. МГРИ-РГГРУ. -2012. - С 165-166.

6. Лимитовский А.М., Соловьев А.М., Букреев С.В. Экономическая эффективность внедрения частотно-регулируемого привода в бурении на твердые полезные ископаемые // VII Международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». Доклады. М. МГРИ-РГГРУ. -2012. - С 155-156.
7. Соловьев А.М., Соловьев И.М. Результаты математического моделирования частотно-регулируемого электропривода буровой установки УКБ-4 // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: издательство «Горная книга». -2015. -№7. ISSN 0236-1493. Деп. №1052/07-15 от 13.05.2015.