

На правах рукописи

БАДУЛИН Олег Вячеславович

**СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ
БУРОВЫХ РАБОТ ПОСРЕДСТВОМ ОБОСНОВАНИЯ
ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСНОГО
ЭНЕРГОИСТОЧНИКА**

*Специальность 25.00.14 – Технология и техника
геологоразведочных работ*

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2011

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: Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
академик РАЕН
Лимитовский Александр Михайлович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
академик РАЕН
Соловьёв Николай Владимирович

Кандидат технических наук
Калугин Евгений Владимирович

Ведущая организация: *ОАО «Центргеология»*

Защита состоится *27 апреля 2011 года в 13 ч. 00 мин*
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, аудитория 4-15^Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан « » марта 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Назаров А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современная геологоразведочная партия – это предприятие, которое охватывает множество достаточно сложных и различных по характеру производственных процессов, таких как бурение, проведение горных выработок, транспорт, водоотлив и водоснабжение, производство и распределение энергии, ремонтно-механические работы. Разнообразный характер этих процессов обуславливает многообразие применяемой в них техники: буровых станков, горнопроходческих машин, насосов, компрессоров, лебедок и др. Большинство из перечисленного оборудования приводится в действие с помощью электропривода. Поэтому эффективная эксплуатация техники разведки требует, в первую очередь, оптимального использования энергетической составляющей геологоразведочных работ, включающей в себя не только непосредственно электрооборудование, но и системы энергообеспечения.

Основным способом разведки твердых полезных ископаемых является бурение скважин. Осуществление процесса бурения сопряжено со значительным потреблением электрической и тепловой энергии. При геологических изысканиях доля затрат на электро- и теплообеспечение буровых работ может превышать 50% от общего объема затрат на геологоразведочные работы. Поэтому экономное и рациональное использование электроэнергии при буровых работах имели и имеют большое экономическое и практическое значение. Важными шагами на пути решения этой проблемы является разработка экономически обоснованных рекомендаций по рациональному выбору энергоисточника и, в этой связи, совершенствование методов определения расчетных мощностей используемых буровых установок.

В настоящее время, в силу существенных изменений в структуре электроэнергетики России, связанных с приватизацией и изменением ценообразования в области производства, передачи и распределения электроэнергии, комплексный подход к решению вопросов энергообеспечения становится особенно актуальным.

Цель работы – повышение эффективности бурения посредством оптимизации выбора их энергоисточника в современных условиях.

Идея работы – разработка методики обоснования оптимальной системы комплексного энергообеспечения технологических потребителей геологоразведочных работ в новых условиях функционирования предприятий.

Задачи исследования

1. На основе представленной классификации систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ и современных технико-экономических разработок составить математические модели приведенных затрат по двум базовым вариантам: подключение к региональной электросети (в сочетании с использованием печного отопления) и использование передвижной дизельной электростанции, оснащенной устройством для утилизации выделяемого ей тепла.
2. Уточнить, с учетом технологических особенностей геологоразведочных буровых работ, расчетные зависимости для **определения основных параметров**, входящих в математические модели затрат по базовым вариантам энергообеспечения (средняя

потребляемая мощность, расчетная потребляемая мощность, затраты на распределительные сети, цена подключения к региональной электросети).

3. Произвести технико-экономические расчеты по базовым вариантам энергообеспечения для типовых буровых установок (УКБ-4, УКБ-5) применительно к различным технико-экономическим условиям эксплуатации с целью иллюстрации некорректности: *а)* традиционной методики технико-экономического обоснования оптимального варианта системы энергообеспечения, *б)* изолированного рассмотрения вопросов электро- и теплоснабжения.
4. Провести сравнение результатов расчетов приведенных затрат по рекомендуемой и традиционно применявшейся методике.
5. По результатам расчетов проанализировать влияние основных параметров (расстояние до региональной электросети, электрическая и тепловая нагрузки, стоимостные параметры, продолжительность работ) на выбор энергоисточника.
6. Разработать рекомендации по выбору варианта комплексного энергообеспечения с учётом общей стратегии энергетического развития.

Методика исследований. Для решения поставленных задач в работе использованы аналитические методы исследований, методы технико-экономических исследований; методы прикладного математического моделирования с использованием компьютерной системы для инженерных расчетов Mathcad (Mathsoft Engineering & Education, Inc).

Научная новизна

1. Разработан новый методический подход к обоснованию оптимальной системы комплексного энергообеспечения объектов геологоразведочного профиля и представлены расчетные зависимости, позволяющие, в отличие от применявшихся ранее методик, учитывать такие важнейшие факторы как время функционирования объекта, уровни налогообложения и инфляционных процессов, цены подключения к региональной электросети, возможность использования вторичных энергоресурсов.
2. Разработаны технико-экономические модели затрат комплексного энергообеспечения буровых работ, позволяющие применительно к любым условиям определять предельное по экономическому фактору расстояние подключения технологических потребителей к региональной электрической сети.
3. Получены зависимости предельного расстояния присоединения к региональной сети от таких параметров как электрическая и тепловая нагрузки, цена подключения и другие.
4. Уточнены расчетные зависимости определения средней и расчетной электрических мощностей от изменения коэффициентов использования и спроса в связи с глубиной бурения.
5. Введено понятие наибольшего возможного значения предельного расстояния и теоретически доказано, что с течением времени оно увеличивается прямо пропорционально эксплуатационным квартальным расходам по “варианту ДЭС” и обратно пропорционально стоимости строительства 1 км ЛЭП.

Достоверность научных положений. Обоснованность и достоверность основных полученных результатов, а также сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций, подтверждаются применением апробированных методов анализа эффективности технологии и техники разведочного бурения, применением новейших методов экономической оценки технических решений и методов

прикладного математического моделирования с использованием пакета Mathcad.

Практическая ценность работы. Разработаны математические модели затрат для систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ, позволяющие рассчитывать затраты на энергообеспечение при бурении геологоразведочных скважин на стадии проектирования буровых работ. Разработана методика экономической оценки при выборе энергоисточника и предложены расчетные зависимости для определения предельных расстояний присоединения к централизованным энергосистемам.

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

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 научных работ.

Объем и структура работы. Работа состоит из Введения, 4 Глав, Заключения, Списка литературы из 71 наименования; содержит 121 стр. машинописного текста, 16 рисунков, 5 таблиц и 4 приложения.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы и формулировке цели и идеи работы, ее новизны и защищаемых положений.

В первой главе рассмотрены особенности технологии геологоразведочных работ, значимость в их производстве энергетической составляющей и, в том числе, тепловой энергии, показаны стратегия энергетического развития страны и необходимость в этой связи разработки методической основы оптимизации выбора энергоисточника для локального объекта; сформулированы задачи исследования.

Во второй главе подробно анализируются современные методы технико-экономических расчетов, целью которых является обоснование оптимальности выбора энергоисточника геологоразведочных работ; уточнена методика составления математических моделей затрат по альтернативным вариантам энергоснабжения; выведена новая формула для расчета предельного (по экономическому критерию) расстояния подсоединения локального объекта к региональной электросети и, на основе использования этой формулы, продемонстрированы различия в результатах вычисления предельного расстояния по рекомендуемой и традиционной методике выполнения технико-экономических расчетов.

Третья глава посвящена анализу затрат электрической мощности при бурении геологоразведочных скважин на примере конкретных геолого-технических нарядов. Рассмотрено изменение затрат мощности с глубиной и по технологическим операциям и на основании этих расчетов определена зависимость изменения коэффициентов использования, максимума и спроса с изменением глубины скважины.

В четвертой главе приведены результаты технико-экономического анализа, показывающие значимость и влияние исходных параметров на величину предельного расстояния, на основе которых в конечном итоге определяется оптимальный вариант энергоисточника для технологических потребителей геологоразведочных работ.

В заключении излагаются выводы и рекомендации, обобщающие основные положения и результаты выполненной работы.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю – доктору технических наук, профессору А.М. Лимитовскому за консультации и постоянные помощь и поддержку при выполнении настоящей работы, доценту, к.т.н. В.А. Косьянову, за научные консультации по отдельным разделам, а также преподавателям и сотрудникам кафедры за консультации при работе над диссертацией, в том числе, профессору, д.т.н. М.В. Меркулову, доценту, к.т.н. А.П. Жернакову, к.т.н. И.Н. Оливетскому.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Научной основой формулирования целей и задач данной работы послужили труды Е.А. Козловского, А.М. Лимитовского, Д.Н. Башкатова, Н.В. Соловьева, С.А. Хачатуряна, С.И. Наугольнова, В.В. Алексеева, Е.Д. Хромина, Б.М. Парфенова, 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., посвященные совершенствованию технологии разведочного бурения и систем электроснабжения.

Результаты многолетних исследований и практических разработок, выполнявшихся на кафедре энергетики горных и геологоразведочных работ РГГРУ-МГРИ, убедительно показывают, что в условиях работы геологоразведочных партий энергообеспечение должно рассматриваться как энергетический комплекс, включающий в себя производство и рациональное использование не только электрической, но и тепловой энергии. Разнообразие условий работы геологоразведочных партий предопределяет и разнообразие возможных решений в организации систем их энергообеспечения.

В связи с этим, в качестве методологической первоосновы для выбора оптимального варианта электро- и теплоснабжения, на кафедре разработана новая классификация возможных систем энергообеспечения, в которой в качестве основных классификационных признаков приняты: 1) варианты поступления энергии – региональные сети или дизельные электростанции; 2) характер эксплуатации энергоисточников – стационарный, полустационарный и передвижной; 3) способ получения тепловой энергии – печное отопление, отопление электроприборами и обогрев за счет утилизации тепла дизельных электростанций. Всего получается 11 возможных вариантов.

Технико-экономическое обоснование выбора из нескольких возможных проектных вариантов только одного, наиболее экономически предпочтительного, т.е. оптимального, предполагает проведение для каждого варианта специальных расчетов – вычисление **“приведенных затрат”**, – и последующее сопоставление их результатов. Предпочтение отдается проекту, для которого этот показатель является наименьшим.

Для вычисления **приведенных затрат** по каждому варианту рассматривают соответствующие **математические модели**. Главный вопрос нашей работы – **при каких условиях экономически целесообразным** может быть **присоединение к региональным сетям**, а для этого достаточно рассмотреть всего **два варианта** энергообеспечения: от региональных электросетей, с использованием для обеспечения тепловой энергией печного отопления (будем называть этот вариант **“вариант ЛЭП”**), и от передвижной дизельной электростанции с утилизацией тепла, которое эти электростанции выраба-

тывают в качестве побочного продукта. Этот вариант будем в дальнейшем называть “*вариант ДЭС*”.

Подчеркнем: выбор для нашего исследования в качестве варианта комплексного энергообеспечения, альтернативного использованию передвижных ДЭС, подключения к региональной электросети в комбинации именно с печным отоплением, обусловлен тем, что такой вариант получения тепловой энергии (если не говорить об устройствах для утилизации тепла ДЭС) является самым дешевым, и следовательно, выбранный вариант с подключением к ЛЭП – среди других возможных вариантов использования региональных сетей – является экономически наиболее предпочтительным.

При расчете приведенных затрат (Z) в настоящее время рассматривают два подхода.

Первый, который можно назвать традиционным, остался от прежней экономической системы. Формула для расчетов выглядит несложной –

$$Z = E \cdot K + I \text{ (руб.)}, \quad (1)$$

где: K – капитальные затраты, в рублях;

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (его значение принималось равным 0.15);

I – годовые издержки производства, в рублях.

Но на сегодняшний день использование формулы (1) не может дать достоверного результата даже просто потому, что она ориентирована на совершенно другую экономическую систему. В ней не учитываются налог на прибыль и инфляция. Но что наиболее существенно – в ней не присутствуют в явном виде соотношения, позволяющие определять *современную* стоимость *будущих* денежных платежей. С учетом этого следует

Первое защищаемое положение

Экономическое обоснование оптимального энергоисточника для производства геологоразведочных работ должно осуществляться, во-первых, комплексно, по электрической и тепловой энергии, во-вторых, с использованием рекомендуемой методики технико-экономических расчетов, которая учитывает фактор времени, систему налогообложения, ожидаемую инфляцию.

В данном случае комплексность обеспечивается правильно составленными математическими моделями затрат по двум уже выбранным базовым вариантам энергообеспечения. Более того, необходимость комплексного подхода уже была продемонстрирована в выполненных на нашей кафедре исследованиях Е.В. Калугина (2005) и М.В. Меркулова (2008). Поэтому мы сосредоточили свое внимание на выявлении погрешностей, к которым может приводить использование традиционной методики технико-экономического анализа.

Рекомендуемая в настоящее время для выполнения технико-экономических расчетов формула определения приведенных затрат обычно дается как

$$Z = -K - K_0 - I + D + E + A \text{ (руб.)}, \quad (2)$$

где: K – начальные капиталовложения (приобретение оборудования и его транспортировка);

K_o – начальный оборотный капитал (это может быть, например, стоимость запасов топлива на рассматриваемый период времени);

I – стоимость текущих затрат, приведенная к исходному моменту времени:

$$I = A_{ni} \cdot I_k, \quad (3)$$

где I_k – затраты за рассматриваемый период времени (обычно – квартал);

A_{ni} определяется как

$$A_{ni} = \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}, \quad (4)$$

где i – процентная ставка, или ставка альтернативной доходности (принимается равной 0.2) в расчете на один период времени;

n – число временных периодов (лет, кварталов, месяцев), отделяющих момент платежа от настоящего времени;

D – приведенная к исходному моменту сумма остаточных капиталовложений:

$$D = \frac{K(1 - pn) + K_o}{(1 + i)^n}, \quad (5)$$

где p – годовой коэффициент амортизации оборудования (его принимают равным 0.1);

E – экономия на налоге на прибыль в связи с текущими затратами:

$$E = A_{ni} \cdot I_k \cdot C_n, \quad (6)$$

где C_n – ставка налога на прибыль (в настоящее время установлена равной 0.26);

A – экономия на налоге на прибыль в связи с амортизационными отчислениями:

$$A = A_{ni} \cdot K \cdot p \cdot C_n. \quad (7)$$

С учетом формул 3-7, а также принимая во внимание, что в качестве единичного периода времени мы будем принимать один квартал, тогда как значение коэффициента амортизации капиталовложений $p = 0.1$ принято для периода продолжительностью 1 год (и следовательно, в формулах для расчетов за один квартал перед коэффициентом p необходимо вводить дополнительный коэффициент 0.25), для расчета приведенных затрат за n кварталов формула (2) в развернутом виде может быть представлена как

$$Z = - \left[1 - A_{ni} \cdot 0.25 \cdot p \cdot C_n - (1 - 0.25 \cdot p \cdot n) \cdot (1 + i)^{-n} \right] \cdot K - \left[1 - (1 + i)^{-n} \right] \cdot K_o - A_{ni} \cdot (1 - C_n) \cdot I_k. \quad (8)$$

Для корректного сопоставления результатов расчетов по формулам (1) и (8) необходимо, прежде всего, попытаться привести их к сопоставимому виду. Одно из важных различий этих формул заключается в том, что новая формула предполагает суммирование приведенных затрат за несколько последовательных периодов времени (n), и притом не простое (линейное) а по правилу сложных процентов (с убыванием). Очевидно, что для расчета затрат по нескольким периодам времени по традиционной формуле целесообразно использовать обычное, линейное суммирование, но в качестве единичного периода времени брать, как и для расчетов по рекомендуемой формуле, один квартал, т.е. включать перед “годовыми коэффициентами” p и E_{mpad} дополнительный коэффициент 0.25 .

Принимая во внимание выше сказанное, для расчетов за один квартал формулу (1) следует представить как

$$Z_{K-трад.} = 0.25 \cdot E_{трад.} \cdot (K + K_0) + 0.25 \cdot p \cdot K + I_K, \quad (9)$$

а в формуле (8) положить $n = 1$ и привести ее к виду

$$Z_K = \left[\frac{i}{1 - C_H} \cdot (K + K_0) + 0.25 \cdot p \cdot K + I_K \right] \cdot \frac{1 - C_H}{1 + i}. \quad (10)$$

Эквивалентность формул (9) и (10) очевидна. Но теперь легко определяются и различия. Во-первых, появление (справа от квадратных скобок) общего множителя. По самому смыслу входящих в этот множитель параметров, при любом их сочетании¹⁾ величина его остается меньше единицы. Из этого следует, что при расчете по рекомендуемой формуле приведенные затраты за 1 квартал для всех вариантов энергообеспечения будут несколько ниже, чем при расчете по формуле традиционной, и с увеличением времени функционирования объекта (увеличение n) это различие должно нарастать. Но чтобы иметь возможность это просчитать, необходимо привести к аналогичному виду формулы (8) и (9), тем более, что в представленном виде формула (8) очень громоздка и неудобна ни для использования, ни – тем более – для анализа.

Чтобы упростить ее, введем для коэффициентов при K , K_0 и I_K (учитывая также знаки “минус”) обозначения Ψ_K , Ψ_{K-0} и Ψ_I и запишем результат:

$$Z = \Psi_K \cdot K + \Psi_{K-0} \cdot K_0 + \Psi_I \cdot I_K, \quad (11)$$

$$\text{где } |\Psi_K| = 1 - A_{ni} \cdot 0.25 \cdot p \cdot C_H - (1 - 0.25 \cdot p \cdot n) \cdot (1 + i)^{-n}, \quad (12)$$

$$|\Psi_{K-0}| = 1 - (1 + i)^{-n}, \quad (13)$$

$$|\Psi_I| = A_{ni} \cdot (1 - C_H), \quad (14)$$

Далее, имея в виду (как отмечено выше), что для расчета затрат по формуле (9) за n периодов времени достаточно просто умножить на n каждое из входящих в нее слагаемых, получаем:

$$\begin{aligned} Z_{трад.} &= n \cdot 0.25 \cdot E_{трад.} \cdot (K + K_0) + n \cdot 0.25 \cdot p \cdot K + n \cdot I_K = \\ &= n \cdot 0.25 \cdot (E_{трад.} + p) \cdot K + n \cdot 0.25 \cdot E_{трад.} \cdot K_0 + n \cdot I_K. \end{aligned} \quad (9')$$

Теперь, введя обозначения

$$\Psi_{K-трад.} = n \cdot 0.25 \cdot (E_{трад.} + p), \quad (12')$$

$$\Psi_{K-0-трад.} = n \cdot 0.25 \cdot E_{трад.}, \quad (13')$$

$$\Psi_{I-трад.} = n, \quad (14')$$

получаем соотношение для расчета $Z_{K-трад.}$:

$$Z_{K-трад.} = \Psi_{K-трад.} \cdot K + \Psi_{K-0-трад.} \cdot K_0 + \Psi_{I-трад.} \cdot I_K. \quad (15)$$

Результаты расчета приведенных затрат для периодов времени от одного квартала до 5 лет по формулам (11) и (15) представлены на рис. 1.

¹⁾ При значениях $i = 0.02$ и $C_H = 0.26$, принятых для настоящего времени, этот коэффициент равен приблизительно 0.725. Это означает, что ожидаемое различие $Z_{K-трад.}$ и $Z_{K-нов}$ в % от $Z_{K-нов}$ можно (весьма приближенно, и именно для первого квартала) оценить как $100 \cdot 0.275 / 0.725$ (%) = 38 %.

Второе различие, которое выявляет сопоставление формул (9) и (10), – соотношение между вкладами в величину приведенных затрат по статьям “капитальные вложения” и “эксплуатационные расходы”: в формуле (9) коэффициент при статье “капитальные вложения” составляет $0.15/4 = 0.0375$, а в новой (10) – только лишь $0.02/0.74 = 0.0270$. Очевидно, что это различие должно отразиться на результатах расчета *величины предельного расстояния*, т.е. того наибольшего расстояния от региональной энергосистемы, при котором подключение к этой системе экономически целесообразно.

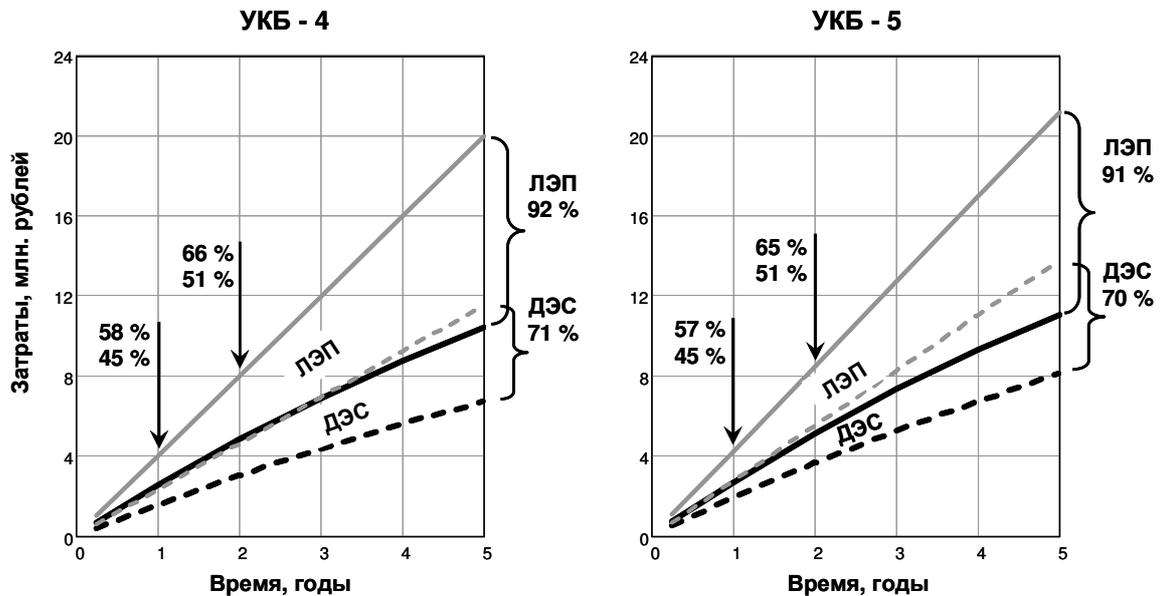


Рис. 1. Различие сумм приведенных затрат, рассчитанных по традиционной и рекомендуемой методикам; увеличение различия с увеличением продолжительности работ – 1 установка (УКБ-4, слева, или УКБ-5, справа).

Сплошными линиями показаны затраты по “варианту ЛЭП”, штриховыми – по “варианту ДЭС”. Черные линии – результаты расчетов по рекомендуемой методике, серые линии – по традиционной. Цифры (%) указывают разности результатов расчета приведенных затрат по двум методикам, отнесенные к результату, полученному по рекомендуемой методике.

Различие по первому кварталу (начальные точки на графиках): для УКБ-4 – 52 % (ЛЭП) и 41 % (ДЭС), для УКБ-5 – 51 % (ЛЭП) и 41 % (ДЭС).

Располагая способом эквивалентного представления формул для расчета приведенных затрат по традиционной и по рекомендуемой методикам, мы вывели формулу для расчета предельного расстояния, которую тоже можно использовать для технико-экономических расчетов как по рекомендуемой, так и по традиционной методике.

Представив формулу (11) для “*варианта ЛЭП*”, как

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{ЛЭП}} &= \Psi_K \cdot (j \cdot K'_{\text{ЛЭП}} + K_L \cdot l_{\text{ЛЭП}}) + \Psi_{K-O} \cdot j \cdot K'_{O-\text{ЛЭП}} + \Psi_I \cdot (j \cdot I'_{\text{ЛЭП}} + I_L \cdot l_{\text{ЛЭП}}) = \\
 &= j \times (\Psi_K \cdot K'_{\text{ЛЭП}} + \Psi_{K-O} \cdot K'_{O-\text{ЛЭП}} + \Psi_I \cdot I'_{\text{ЛЭП}}) + (\Psi_K \cdot K_L + \Psi_I \cdot I_L) \times l_{\text{ЛЭП}}, \quad (16)
 \end{aligned}$$

где $K'_{\text{ЛЭП}}$, $K'_{O-\text{ЛЭП}}$ и $I'_{\text{ЛЭП}}$ – капитальные затраты, оборотные средства и эксплуатационные расходы, необходимые для обеспечения работы *одной* буровой установки и не учитывающие стоимость строительства линии электропередачи, K_L – стоимость строительства линии (на км),

I_L – издержки, связанные с потерями электроэнергии в 1 км линии и платой за ее обслуживание (тоже по каждому километру), $l_{ЛЭП}$ – протяженность линии электропередачи, j – планируемое число буровых установок, и введя, по аналогии с обозначениями $K'_{ЛЭП}$, K_L и $I'_{ЛЭП}$, I_L , дополнительные обозначения:

$Z'_{ЛЭП} = \Psi_K \cdot K'_{ЛЭП} + \Psi_{K-O} \cdot K'_{O-ЛЭП} + \Psi_I \cdot I'_{ЛЭП}$ – сумма затрат по “варианту ЛЭП” для обеспечения работы *одной* буровой установки без учета стоимости строительства ЛЭП,

$Z_L = \Psi_K \cdot K_L + \Psi_I \cdot I_L$ – затраты на строительство и эксплуатацию 1 км ЛЭП, записываем формулу (16) в более компактном виде:

$$Z_{ЛЭП} = Z'_{ЛЭП} \times j + Z_L \times l_{ЛЭП}. \quad (16')$$

Для расчета затрат по “*варианту ДЭС*” ($Z_{ДЭС}$) формула (11) может быть записана как

$$Z_{ДЭС} = j \times (\Psi_K \cdot K_{ДЭС} + \Psi_{K-O} \cdot K_{O-ДЭС} + \Psi_I \cdot I_{ДЭС}) = Z'_{ДЭС} \times j. \quad (17)$$

Приравняв $Z_{ЛЭП}$ и $Z_{ДЭС}$ (в этом случае $l_{ЛЭП}$ нужно заменить на $l_{Пред.}$) и произведя простые преобразования, получаем:

$$\begin{aligned} l_{Пред.} &= j \times \frac{Z'_{ДЭС} - Z'_{ЛЭП}}{Z_L} = \\ &= j \times \frac{\Psi_K \cdot (K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + \Psi_{K-O} \cdot (K_{O-ДЭС} - K'_{O-ЛЭП}) + \Psi_I \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП})}{\Psi_K \cdot K_L + \Psi_I \cdot I_L} = \\ &= \frac{j}{K_L} \times \frac{(K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + \frac{\Psi_{K-O}}{\Psi_K} \cdot (K_{O-ДЭС} - K'_{O-ЛЭП}) + \frac{\Psi_I}{\Psi_K} \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП})}{1 + \frac{\Psi_I}{\Psi_K} \cdot \frac{I_L}{K_L}}. \end{aligned} \quad (18')$$

Для определения по результату расчета $l_{Пред.}$ предпочтительного варианта системы энергоснабжения это расчетное значение (в км) сравнивают с фактическим расстоянием до региональной энергосистемы и считают “*вариант ЛЭП*” экономически *нецелесообразным*, если расчетное значение $l_{Пред.}$ окажется меньше фактического. Если расчетное значение $l_{Пред.}$ обращается в ноль или становится отрицательным (способствовать этому может высокая стоимость подключения к ЛЭП), то это означает, что в данном конкретном районе использование собственной ДЭС экономически предпочтительнее *вне зависимости* от близости данной конкретной ЛЭП.

В представленном виде (формула 18') *соотношение для расчета предельного (по экономическому критерию) расстояния подключения локальных объектов к централизованной системе энергообеспечения, и притом с учетом новой методики расчета приведенных затрат, получено впервые*.

Формула (18'), несмотря на ее кажущуюся громоздкость и сложность, достаточно проста для интерпретации и удобна для анализа закономерностей изменений величины $l_{Пред.}$ при изменениях входящих в эту формулу параметров и их составляющих.

Большинство параметров, отражающих расходы по тем или иным статьям, входит только в числитель формулы (18'), причем в виде отдельных, не связанных между собой слагаемых с некоторыми постоянными коэффициентами. Анализ ее в отношении таких параметров действительно не представляет сложностей.

Однако некоторые параметры или их комбинации (например, Ψ_I/Ψ_K , $1/K_L$) входят как в

числитель, так и в знаменатель формулы (18'). Более того, один из существенных параметров – число буровых установок j – входит в числитель в явном виде, а в знаменатель – как компонент издержек I_L . Наконец, расходуемая каждой установкой электрическая мощность $P_{CЭ}$ и стоимость электроэнергии $CЭ$ также входят и в числитель, и в знаменатель этой формулы, но в числитель – как компоненты издержек $I_{ДЭС}$ (только $P_{CЭ}$) и $I'_{ЛЭП}$ (и $P_{CЭ}$, и $CЭ$), а в знаменатель – как компоненты издержек I_L (оплата потерь энергии в магистральной ЛЭП), причем параметр $P_{CЭ}$ входит в издержки I_L во второй степени.

Это обстоятельство в значительной мере осложняет исследование зависимости величины предельного расстояния от указанных параметров. Тем не менее, специальный анализ показал, что составляющую знаменателя формулы (18'), в которую в качестве сомножителей входят параметры j , $P_{CЭ}$ и $CЭ$, можно без заметной потери точности опустить, и использовать для вычисления предельного расстояния формулы

$$l_{Пред.} = \frac{j}{1.27 \cdot K_L} \times \frac{(K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + \frac{\Psi_{К-О}}{\Psi_K} \cdot (K_{О-ДЭС} - K'_{О-ЛЭП}) + \frac{\Psi_I}{\Psi_K} \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП})}{1 + \frac{\Psi_I}{\Psi_K} \times 4.2 \times \frac{k_p \cdot Q_{ЛЭП}}{K_L}}, \quad (19)$$

для расчетов, основанных на рекомендуемой методике технико-экономического анализа, и

$$l_{Пред.-Трад.} = \frac{j}{1.22 \cdot K_L} \times \frac{(K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + 0.6 \cdot (K_{О-ДЭС} - K'_{О-ЛЭП}) + 16 \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП})}{1 + 69.6 \times \frac{k_p \cdot Q_{ЛЭП}}{K_L}}. \quad (19')$$

для расчетов, основанных на методике традиционной. (В последних двух формулах $k_p \cdot Q_{ЛЭП}$ – месячная оплата обслуживания линии в расчете на 1 км).

Но в знаменатель формул (19) и (19') все еще входит в качестве слагаемого (с определенным коэффициентом) отношение величины оплаты за обслуживание магистральной ЛЭП (на км) к стоимости строительства этой ЛЭП (тоже на км, K_L). Дальнейший анализ показал, что при соотношении этих затрат, близком к принятому в нашей работе, с ошибкой, не превышающей 1 %, вместо формул (19) и (19') можно использовать формулы

$$l_{Пред.} = \frac{j}{1.5 \cdot K_L} \times \left[(K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + \frac{\Psi_{К-О}}{\Psi_K} \cdot (K_{О-ДЭС} - K'_{О-ЛЭП}) + \frac{\Psi_I}{\Psi_K} \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП}) \right], \quad (20)$$

$$l_{Пред.-Трад.} = \frac{j}{1.4 \cdot K_L} \times \left[(K_{ДЭС} - K'_{ЛЭП}) + 0.6 \cdot (K_{О-ДЭС} - K'_{О-ЛЭП}) + 16 \cdot (I_{ДЭС} - I'_{ЛЭП}) \right]. \quad (20')$$

Формулы (20) и (20') позволяют:

- 1) оценить разность значений $l_{Пред.}$ и $l_{Пред.-Трад.}$ в том числе ее изменение с течением времени, и установить, что **расчет предельного расстояния с использованием традиционной методики технико-экономического анализа дает меньшие значения этого расстояния, и эта разность нарастает как с течением времени, так и с увеличением числа используемых буровых установок и с уменьшением стоимости строительства магистральной ЛЭП.**
- 2) получить достаточно простые аналитические соотношения для оценки влияния изменений тепловой ($\Delta P_{СТ}$) и электрической ($\Delta P_{CЭ}$) нагрузки на величину $l_{Пред.}$ и $l_{Пред.-Трад.}$:

$$\Delta l_{Пред.} (\Delta P_{СТ}) = - \frac{j}{1.5 \cdot K_L} \times \frac{\Psi_{К-О} + \Psi_I}{\Psi_K} \times T_K \cdot q_{ТПеч.} \cdot C_{ТПеч.} \cdot \Delta P_{СТ}, \quad (21)$$

$$\Delta I_{\text{Пред.-Град.}}(\Delta P_{\text{СТ}}) = -\frac{j}{1.4 \cdot K_{\text{Л}}} \times 16.6 \times T_{\text{К}} \cdot q_{\text{ТПеч.}} \cdot C_{\text{ТПеч.}} \cdot \Delta P_{\text{СТ}}, \quad (21')$$

$$\Delta I_{\text{Пред.}}(\Delta P_{\text{СЭ}}) = \frac{j}{1.5 \cdot K_{\text{Л}}} \times \frac{\Psi_{\text{К-О}} + 0.6 \cdot \Psi_{\text{И}}}{\Psi_{\text{К}}} \times T_{\text{К}} \cdot q_{\text{Д}} \cdot C_{\text{Д}} \cdot \Delta P_{\text{СЭ}}, \quad (22)$$

$$\Delta I_{\text{Пред.-Град.}}(\Delta P_{\text{СЭ}}) = \frac{j}{1.4 \cdot K_{\text{Л}}} \times 10.2 \times T_{\text{К}} \cdot q_{\text{Д}} \cdot C_{\text{Д}} \cdot \Delta P_{\text{СЭ}}, \quad (22')$$

где $T_{\text{К}}$ – число часов работы за квартал, $q_{\text{ТПеч.}}$, $C_{\text{ТПеч.}}$, $q_{\text{Д}}$, $C_{\text{Д}}$ – удельный расход и стоимость, соответственно, печного и дизельного топлива, и установить, что *при расчете предельного расстояния с использованием традиционной методики технико-экономических расчетов эффекты влияния на величину предельного расстояния изменений тепловой и электрических нагрузок ослабляются, и для времени эксплуатации объекта 1 квартал, 1 год и 5 лет это ослабление составляет (по приближенной оценке) 9,7, 11,3 и 20,2 % для тепловой нагрузки и 8,8, 8,9 и 18,4 % для нагрузки электрической.*

Установленные зависимости *выявлены впервые* и подтверждены результатами непосредственного расчета по формуле (18') (с использованием соответствующих Ψ -коэффициентов) в системе Mathcad.

Таким образом, может быть сделан вывод: технико-экономические расчеты следует производить не только с учетом как электрической, так и тепловой нагрузки, но и непременно по *рекомендуемой методике, которая учитывает фактор времени, альтернативную доходность капиталовложений (с учетом прогнозируемой инфляции) и ставку налогообложения.*

Второе защищаемое положение

Входящие в математические модели затрат по системам энергообеспечения буровых работ значения средних и расчетных нагрузок должны определяться по формулам, включающим коэффициент использования энергетического оборудования и коэффициент спроса по мощности, причем последний – в зависимости от фактической глубины бурения.

Основная задача энергетических расчетов при проектировании электроснабжения любого предприятия – определение *средних и расчетных* нагрузок на энергоисточник, что необходимо как для его обоснованного выбора, так и для расчета предполагаемого расхода электроэнергии, включая ее потери в линиях электропередачи.

Определить (точнее, спрогнозировать) потребление электроэнергии при буровых работах расчетным путем можно двумя принципиально различными способами. Первый, общепринятый, основывается на паспортных данных имеющегося (или выбранного) оборудования и производится в соответствии с существующими рекомендациями и таблицами.

Оборудование выбирают в соответствии с необходимой глубиной бурения и затем расчеты потребления электроэнергии производят по номинальным параметрам этого оборудования. Но реально выбор оборудования “по глубине” ограничен дискретным набором номинальных значений этого параметра, и если необходимая глубина бурения не совпадает ни с одной из номинальных, то оборудование выбирают по ближайшему следующему (т.е. большему) значению номинальной глубины. Очевидный результат этого

– завышение всех расчетных параметров энергопотребления и, в частности, завышение расчетного значения предельного (по экономическому критерию) расстояния подключения к региональной электросети, ведущее к **неоптимальному** выбору энергоисточника.

Второй подход предполагает предварительное аналитическое (модельное) рассмотрение конкретных условий и режимов работы установленного оборудования с целью определения реальных ожидаемых нагрузок на энергоисточник. Использование результатов такого анализа могло бы позволить производить необходимые энергетические расчеты в соответствии с выбранным для проведения работ оборудованием и его реальной нагрузкой.

В качестве теоретической базы для моделирования процесса бурения с точки зрения энергетики мы использовали известные физические закономерности и разработанные на основе этих закономерностей, а также анализа большого числа реальных наблюдений “Методические рекомендации по определению индивидуальных норм расхода электроэнергии на буровые работы” и “Единые нормы времени на бурение разведочных, структурно-поисковых и картировочных скважин”.

Расчеты выполнены для процессов бурения колонковым методом двух геологоразведочных скважин. Основные “входные параметры” взяты из геолого-технических нарядов, предусматривающих различную конструкцию и глубину скважин, а также различные режимы бурения. В обоих случаях предполагается отбор керна. Категория пород по буримости одинаковая – IX. В соответствии с глубиной скважин (500 и 800 м) используются установки УКБ-4 и УКБ-5.

Для вычислений использовались созданные нами специализированные программы, предназначенные для работы в компьютерной системе для инженерных расчетов Mathcad-13.

Расчет мощностей. Расчеты начинали с вычислений для каждого рейса мощности привода бурового станка ($P_{Б.нр.}$) и суммарной мощности (P_{Σ}), потребляемых во время бурения ($P_{Б.нр.Бур}$, $P_{\Sigma-Бур}$) и во время спуско-подъемных операций ($P_{Б.нр.СПО}$, $P_{\Sigma-СПО}$), как функций средней за рейс глубины бурения L .

Следующий шаг – определение нормативных продолжительностей в каждом рейсе непосредственно процесса бурения ($t_{Бур}$) и спуско-подъемных операций ($t_{СПО}$), вычисление соответствующих полных продолжительностей рейсов ($t_{Рейс} = t_{Бур} + t_{СПО}$) и расчет для каждого рейса средних (за рейс) значений мощности, потребляемой из сети приводом бурового станка ($P_{Б.нр.Рейс}$), и суммарной потребляемой мощности ($P_{\Sigma-Рейс}$):

$$P_{Б.нр.Рейс} = \frac{P_{Б.нр.Бур} \cdot t_{Бур} + P_{Б.нр.СПО} \cdot t_{СПО}}{t_{Рейс}}, \quad (23)$$

$$P_{\Sigma-Рейс} = \frac{P_{\Sigma-Бур} \cdot t_{Бур} + P_{\Sigma-СПО} \cdot t_{СПО}}{t_{Рейс}}. \quad (23')$$

Полученные значения использовали для расчета тех же мощностей ($P_{Б.нр.}$ и P_{Σ}), усредненных за все время, необходимое для бурения скважины на заданную глубину ($P_{Б.нр.Скв}$ и $P_{\Sigma-Скв}$):

$$P_{Б.нр.Скв} = \frac{\sum_i P_{Б.нр.Рейс_i} \cdot t_{Рейс_i}}{\sum_i t_{Рейс_i}}, \quad (24)$$

$$P_{\Sigma-Скв} = \frac{\sum_i P_{\Sigma-Рейс_i} \cdot t_{Рейс_i}}{\sum_i t_{Рейс_i}}. \quad (24')$$

Используя формулы (24) и (24'), можно получить расчетные зависимости для определения значений $P_{Б.пр.Скв}$ и $P_{\Sigma-Скв}$ как функций текущего значения глубины скважины $L(n)$, где n – число пройденных рейсов. Действительно, представив $L(n)$ как

$$L(n) = L_{\Sigma_n} = \sum_{i=1}^n l_{r_i},$$

где l_{r_i} – длина i -ого рейса, и вводя краткое обозначение рассчитываемых параметров как функций от $L(n)$ при помощи небольшой модификации уже введенных индексов, можем переписать (24) и (24') как

$$P_{Б.пр.Скв}(L_{\Sigma_n}) = P_{Б.пр.L-Скв} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Б.пр.Рейс_i} \cdot t_{Рейс_i}}{\sum_{i=1}^n t_{Рейс_i}}, \quad (25)$$

$$P_{\Sigma-Скв}(L_{\Sigma_n}) = P_{\Sigma-L-Скв} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma-Рейс_i} \cdot t_{Рейс_i}}{\sum_{i=1}^n t_{Рейс_i}}. \quad (25')$$

Расчет коэффициентов использования оборудования и спроса по мощности. Значение коэффициента использования ($k_{И}$) должно рассчитываться как отношение среднего (за некоторое время) значения суммарной потребляемой мощности (P_C) к суммарной номинальной мощности (P_H). По аналогии с введенными выше обозначениями для **средних значений** суммарной мощности (P_{Σ}), потребляемой непосредственно во время бурения ($P_{\Sigma-Бур}$), во время СПО ($P_{\Sigma-СПО}$), в целом за рейс ($P_{\Sigma-Рейс}$) и за все время бурения скважины ($P_{\Sigma-Скв}$), обозначим номинальную суммарную мощность как $P_{\Sigma-H}$. Теперь формулы для вычисления значений $k_{И}$ во время разных технологических операций (бурения – $k_{И-\Sigma-Бур}$ и СПО – $k_{И-\Sigma-СПО}$), а также в целом за рейс ($k_{И-\Sigma-Рейс}$) и за все время бурения скважины ($k_{И-\Sigma-Скв}$) можно записать как:

$$k_{И-\Sigma-Бур} = \frac{P_{\Sigma-Бур}}{P_{\Sigma-H}}, \quad k_{И-\Sigma-СПО} = \frac{P_{\Sigma-СПО}}{P_{\Sigma-H}}, \quad k_{И-\Sigma-Рейс} = \frac{P_{\Sigma-Рейс}}{P_{\Sigma-H}}, \quad k_{И-\Sigma-Скв} = \frac{P_{\Sigma-Скв}}{P_{\Sigma-H}}. \quad (26)$$

Соответствующие значения коэффициентов использования для привода бурового станка можно рассчитать по формулам, аналогичным (26), заменив в их числителях параметры $P_{\Sigma-Бур}$, $P_{\Sigma-СПО}$, $P_{\Sigma-Рейс}$ и $P_{\Sigma-Скв}$ соответствующими параметрами, характеризующими потребление мощности приводом бурового станка, а в знаменателях – значение суммарной номинальной мощности $P_{\Sigma-H}$ значением номинальной мощности привода станка $P_{Б.пр.H}$.

Значение коэффициента спроса по мощности ($k_{С-Б.пр.}$ – для привода бурового станка, $k_{С-\Sigma}$ – для всей установки) определяется как отношение **наибольшего среднего** (за достаточно продолжительное время, от 30 мин, P_M) значения потребляемой мощности к номинальной мощности оборудования. В соответствии с этим определением и принимая во внимание, что в условиях избранной нами модели значения $P_{\Sigma-Бур}$ значительно превышают значения $P_{\Sigma-СПО}$ (см. ниже), для расчета значений $k_{С-\Sigma}$ за все время бурения скважины ($k_{С-\Sigma-Скв}$) в качестве P_M следует брать наибольшее из средних значений суммарной расходуемой мощности, рассчитанных для самого процесса бурения ($(P_{\Sigma-Бур})_{max}$). По аналогии можно рассчитать значения коэффициента спроса для привода бурового станка ($k_{С-Б.пр.Скв}$), а также значения $k_{С-\Sigma}$, $k_{С-Б.пр.}$ в каждом рейсе ($k_{С-\Sigma-Рейс}$, $k_{С-Б.пр.Рейс}$). Таким образом, для расчета значений коэффициента спроса по мощности за разные периоды времени (каждый рейс или вся скважина) и для разного оборудования (только привод станка или вся буровая установка) получаем следующие формулы:

$$k_{C-B.нр.Рейс} = \frac{P_{B.нр.Бур}}{P_{B.нр.Н}}, \quad k_{C-\Sigma-Рейс} = \frac{P_{\Sigma-Бур}}{P_{\Sigma-Н}}, \quad (27)$$

$$k_{C-B.нр.Скв} = \frac{(P_{B.нр.Бур})_{max}}{P_{B.нр.Н}}, \quad k_{C-\Sigma-Скв} = \frac{(P_{\Sigma-Бур})_{max}}{P_{\Sigma-Н}}. \quad (27')$$

Наконец, используя формулы (25) и (25') (и по аналогии с ними), можно рассчитать значения $k_{И-Б.нр.L-Скв}$, $k_{C-Б.нр.L-Скв}$, $k_{И-\Sigma-L-Скв}$ и $k_{C-\Sigma-L-Скв}$ как функции текущих значений глубины скважины L_{Σ_n} :

$$k_{И-Б.нр.Скв}(L_{\Sigma_n}) = k_{И-Б.нр.L-Скв} = \frac{P_{B.нр.Скв}(L_{\Sigma_n})}{P_{B.нр.Н}}, \quad (28)$$

$$k_{И-\Sigma-Скв}(L_{\Sigma_n}) = k_{И-\Sigma-L-Скв} = \frac{P_{\Sigma-Скв}(L_{\Sigma_n})}{P_{\Sigma-Н}}, \quad (28')$$

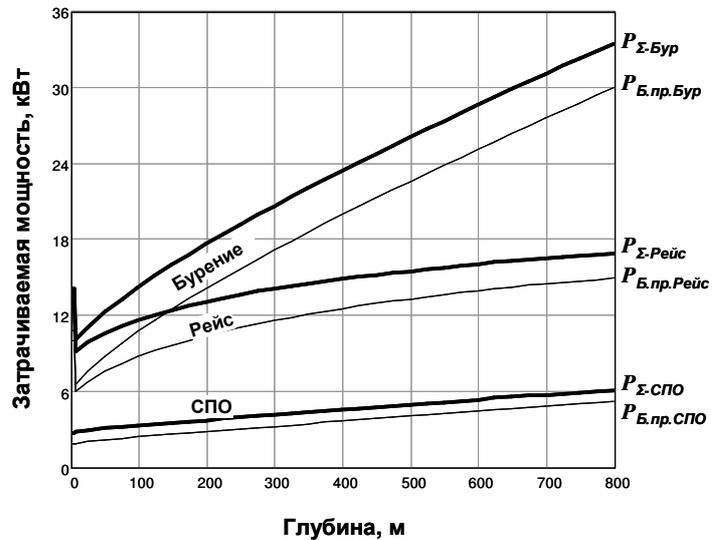
$$k_{C-Б.нр.Скв}(L_{\Sigma_n}) = k_{C-Б.нр.L-Скв} = \frac{[P_{B.нр.Бур}(L_{\Sigma_n})]_{max}}{P_{B.нр.Н}}. \quad (29)$$

$$k_{C-\Sigma-Скв}(L_{\Sigma_n}) = k_{C-\Sigma-L-Скв} = \frac{[P_{\Sigma-Бур}(L_{\Sigma_n})]_{max}}{P_{\Sigma-Н}}. \quad (29')$$

Основные результаты. Кривые на рис. 2 иллюстрируют основные закономерности изменения расходуемой при буровых работах мощности по мере углубления скважины²⁾.

Рис. 2. Увеличение затрат мощности при бурении по мере углубления скважины – по результатам расчетов для установки УКБ-5.

Каждая пара почти параллельных линий показывает мощность, потребляемую приводом бурового станка (тонкие линии), и общую расходуемую мощность (более толстые линии) во время бурения (верхняя пара линий) и во время СПО (нижняя пара линий), а также средние за рейс значения этих мощностей (линии в середине).



Почти параллельный ход всех “пар” кривых (суммарный расход мощности и потребление мощности буровым станком) подчеркивает очевидное и хорошо известное обстоятельство – основным потребителем электроэнергии как в процессе бурения, так и во время спуско-подъемных операций, является буровой станок. Неуклонное и значительное нарастание с увеличением глубины той мощности, которую потребляет станок во время бурения, – отражение увеличения длины и веса колонны штанг, которую станок должен вращать, и эта закономерность заложена в расчетную формулу.

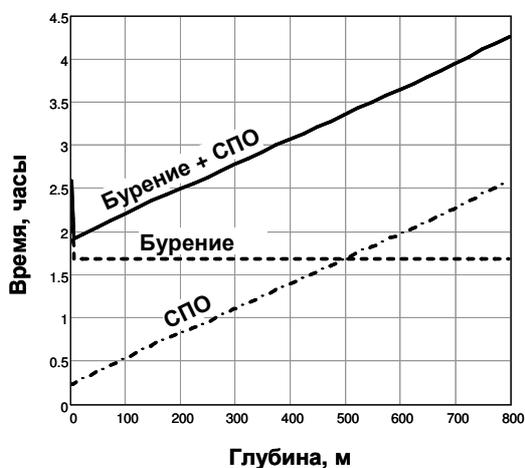
²⁾ Мы приводим здесь только графики, построенные по результатам расчетов для установки УКБ-5, поскольку соответствующие кривые, рассчитанные для установки УКБ-4, выявляют те же самые закономерности.

Напротив, значительно более медленное нарастание с глубиной *средней* мощности, затрачиваемой (тоже станком) *на спуско-подъемные операции*, – результат совсем другого условия, тоже предусмотренного моделью. Именно, предполагается, что по мере увеличения глубины скважины вместе с увеличением длины (и веса) колонны труб растет и время, затрачиваемое на эти операции, тогда как продолжительность непосредственно процесса бурения поддерживается приблизительно постоянной (рис. 3).

Поэтому *средняя мощность*, расходуемая во время спуска и подъема бурильных труб, остается на всем протяжении работ на скважине весьма невысокой, и, как видно из представленных на этом слайде графиков, отношение расхода мощности во время бурения и во время СПО по мере углубления скважины неуклонно нарастает.

Вместе с тем, скорость нарастания с увеличением глубины значений *средних за рейс* расходов мощности (средняя пара кривых на рис. 2.1) по мере углубления скважины неуклонно уменьшается – несмотря на то, что скорость увеличения с глубиной расхода мощности во время бурения и во время СПО, начиная с глубины приблизительно 200 м, остается почти постоянной. В этом явлении нет противоречия: это просто еще одно проявление увеличения продолжительности спуско-подъемных операций с увеличением глубины скважины.

Завершая рассмотрение графиков, отражающих соотношение расхода мощности во время бурения и во время СПО, напомним, что именно неуклонное (и значительное) пре-



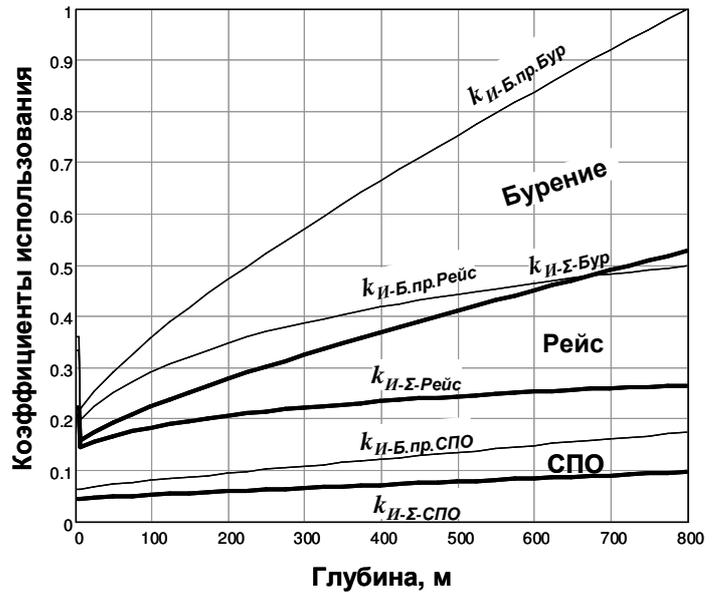
вышение расхода мощности в процессе бурения позволяет при расчете коэффициентов спроса по мощности за все время работ на скважине включать в числитель соответствующих формул (27',

Рис. 3. Изменение соотношения продолжительности процесса бурения и спуско-подъемных операций по мере увеличения глубины скважины.

29, 29') только значения мощностей, потребляемых во время бурения. Сказанное отражается на поведении графиков зависимости от глубины коэффициента использования оборудования и коэффициента спроса по мощности (рис. 4 и 5). Коэффициент спроса как бы отслеживает величину мощности, потребляемой во время самого бурения, и продолжает расти по мере увеличения глубины скважины. Поэтому значение мощности, по которому надо выбирать энергоисточник, вероятно, по крайней мере, в варианте выбранных моделей, можно принимать равным мощности, затрачиваемой во время бурения при последнем рейсе. И следовательно, определение коэффициента спроса в зависимости от реальной, планируемой (но не обязательно номинальной) глубины бурения для основных буровых установок (УКБ-4, УКБ-5) может производиться по приведенным графическим

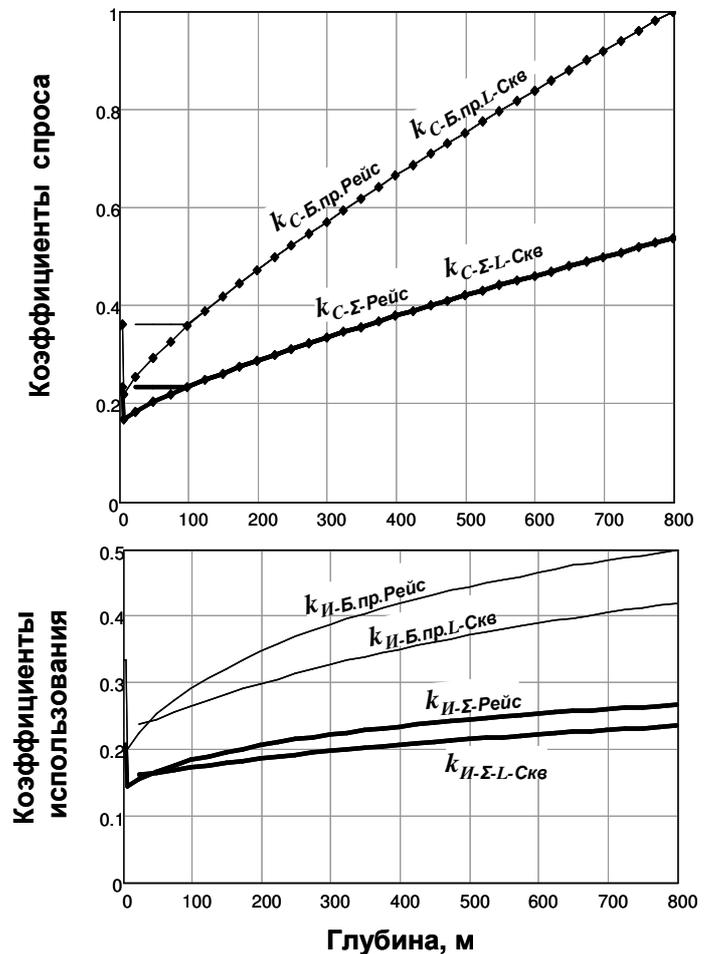
зависимостям или, при существенно других условиях бурения, он может быть рассчитан по методу, использованному нами.

Рис.4. Изменение по мере углубления скважины коэффициентов использования мощности привода бурового станка ($k_{И-Б.пр}$) и суммарной мощности буровой установки ($k_{И-Σ}$) – по результатам расчетов для установки УКБ-5.



Коэффициент использования, напротив, отражает среднюю мощность, с учетом ее относительно небольшого потребления во время бурения на малых глубинах и во время спуско-подъемных операций. Невысокие значения его на всем протяжении работ подтверждают возможность определения расхода электроэнергии при обосновании оптимального варианта энергообеспечения путем применения в соответствующей расчетной зависимости коэффициента использования постоянной величины: 0.35 для установки УКБ-4 и 0.25 для установки УКБ-5, что существенно ниже справочных рекомендаций (0.46).

Рис. 5. Изменение по мере углубления скважины коэффициентов спроса и коэффициентов использования привода бурового станка и всей буровой установки, рассчитанных для каждого рейса ($k_{С-Б.пр.Рейс}$, $k_{И-Б.пр.Рейс}$, $k_{С-Σ.Рейс}$, $k_{И-Σ.Рейс}$) и как средневзвешенные по времени за все время бурения до глубины L ($k_{С-Б.пр.L-Скв}$, $k_{И-Б.пр.L-Скв}$, $k_{С-Σ.L-Скв}$, $k_{И-Σ.L-Скв}$). На верхнем графике ромбиками отмечены значения k_C , рассчитанные для каждого рейса. По результатам расчетов для установки УКБ-5.



Последующие исследования связаны с определением предельного экономически оправданного расстояния подключения технологических потребителей к региональной электросети и изучением изменения этого расстояния при изменениях основных составляющих затрат. Для этого можно использовать как *аналитический* (формулы 18', 19 и 20), так и *графоаналитический* методы.

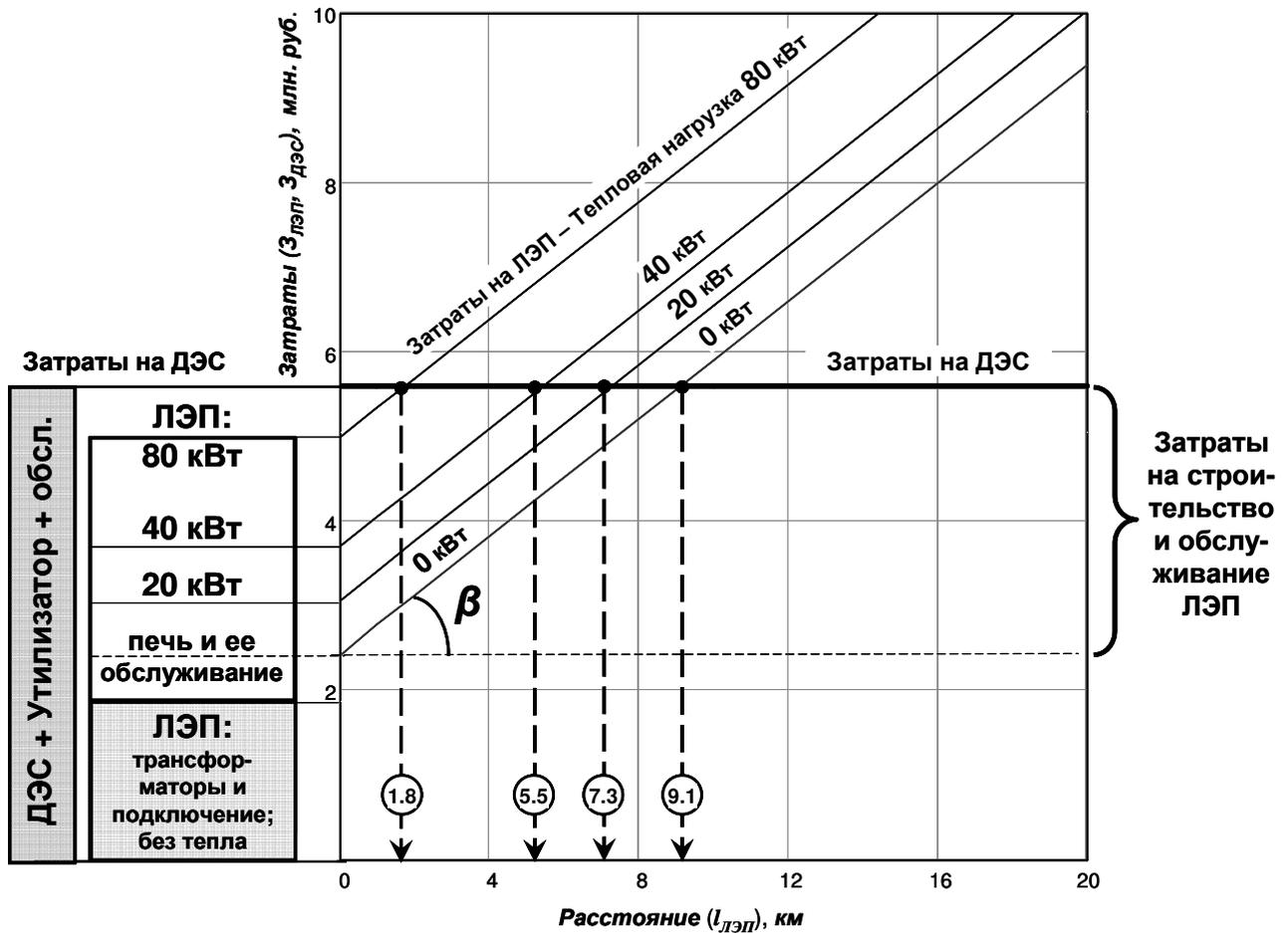


Рис. 6. Графоаналитический метод определения предельного (по экономической целесообразности) расстояния присоединения к региональной электросети. Показаны результаты расчета для 5 установок УКБ-4, продолжительности работ 1 год и разных значений тепловой нагрузки.

Слева от оси ординат, в соответствующем этой оси масштабе, в виде диаграмм показаны затраты по основным статьям расходов по вариантам “ЛЭП” и “ДЭС”. Вертикальные штриховые линии со стрелками проецируют точки пересечения графиков по “вариантам ЛЭП” с разной тепловой нагрузкой (тонкие наклонные линии) с графиком затрат по “варианту ДЭС” (толстая горизонтальная линия). Цифры в кружках – значения величины предельных расстояний (в км), определенные по точкам пересечения проецирующих линий с осью абсцисс.

Фигурная скобка справа показывает величину затрат на строительство и обслуживание магистральной ЛЭП, а также на оплату потерь энергии в ней при расстоянии до региональной сети, равном предельному расстоянию, определенному без учета тепловой нагрузки.

Суть последнего (рис. 6) заключается в том, чтобы разрешить систему из двух уравнений (формулы 16 и 17) относительно единственного неизвестного $l_{лэп}$, просто отобразив

описываемые этими формулами зависимости (затраты как функции $l_{ЛЭП}$) на одном графике. Затем достаточно “увидеть” точку пересечения линий $Z_{ЛЭП}(l_{ЛЭП})$ и $Z_{ДЭС}(l_{ЛЭП})$ и, опустив из этой точки перпендикуляр на ось абсцисс, прочесть на ней значение предельного расстояния $l_{Пред.}$. Найденная на оси абсцисс точка как бы разделит ее на две части: при любых расстояниях от региональной энергосистемы, остающихся в пределах отрезка $[0 - l_{Пред.}]$, **оптимальным** по экономическому критерию является “**вариант ЛЭП**”; при больших удалениях оптимальным становится “**вариант ДЭС**”.

Сумма затрат по “варианту ДЭС” (формула 17) не зависит от удаленности района работ от региональной электросети ($l_{ЛЭП}$, ось абсцисс), и потому представлена на графике горизонтальной линией, которая пересекает ось ординат в точке, соответствующей сумме затрат по этому варианту. Тонкие наклонные линии отображают увеличение затрат по “варианту ЛЭП” (формула 16) по мере удаления района проведения работ от региональной сети. Их угол наклона (β), точнее, его тангенс, предопределен значением суммы слагаемых, собранных (и заключенных в круглые скобки) в виде множителя ³⁾ перед переменной $l_{ЛЭП}$. Точки пересечения этих линий с осью ординат отображают суммы всех остальных затрат по этому варианту, включая затраты на обеспечение необходимым количеством тепловой энергии. Поэтому, по мере увеличения тепловой нагрузки, точки пересечения наклонных линий с осью ординат перемещаются вдоль этой оси вверх, отражая, с одной стороны, рост той доли затрат по “варианту ЛЭП”, которая не связана с удаленностью от региональной сети, с другой – приближение их суммы к величине затрат по “варианту ДЭС”. Угол наклона этих линий остается при таком их перемещении постоянным, и точки их пересечения с горизонтальной линией, показывающей уровень затрат по “варианту ДЭС”, приближаются к оси ординат, отражая уменьшение предельного расстояния. Как видно из рис. 6, это уменьшение пропорционально увеличению тепловой нагрузки: $\Delta l_{Пред.} \sim (-\Delta P_{СТ}) \cdot (tg\beta)^{-1}$, и в ситуации, которую иллюстрирует этот рисунок, коэффициент пропорциональности составляет приблизительно 0.9 км на каждые 10 кВт тепловой нагрузки.

Понятно, что если сумма той части затрат по “варианту ЛЭП”, которая не связана с удаленностью от региональной сети, достигнет суммы затрат по “варианту ДЭС”, то вопрос об оптимальности того или другого варианта должен решаться ответом на другой вопрос: требуется ли в том регионе, где должны производиться буровые работы, обеспечение потребителей тепловой энергией.

Таким образом, графоаналитический метод эффективен в своей наглядности и универсальности: подобные графические построения возможны для демонстрации влияния на величину предельного расстояния любых входных (для математической модели суммы приведенных затрат) параметров. Но для количественных оценок, и тем более, для раскрытия взаимоотношений между теми или иными входными параметрами в их влиянии на предельное расстояние, несомненно, намного эффективнее метод аналитический.

Во-первых, можно рассчитать величину предельного расстояния ($l_{Пред.}$) по точной формуле (18'), задать любому из входных параметров некоторое приращение и, рассчитав новое значение $l_{Пред.}$, найти соответствующее изменение величины предельного расстояния ($\Delta l_{Пред.}$). Именно на основании таких расчетов – поочередное удвоение каждого из входных параметров – составлен рис. 7. Результаты таких расчетов для установок УКБ5 и УКБ-4 существенно не отличаются; мало изменяются они и с изменением

³⁾ Эта сумма слагаемых (в формуле 16) есть $\Psi_K \cdot K_L + \Psi_H \cdot H_L$, т.е. сумма всех затрат (в пересчете на 1 км) на строительство магистральной ЛЭП, ее обслуживание и оплату потерь энергии в ней.

времени функционирования объектов или числа буровых установок.

Во-вторых, только аналитические соотношения типа (19) и (20) показывают, что и само предельное расстояние, и его изменения при изменениях входных параметров прямо пропорциональны (с ошибкой < 1%) числу планируемых для работы буровых установок и обратно пропорциональны (с ошибкой до 20 %) стоимости строительства 1 км ЛЭП.

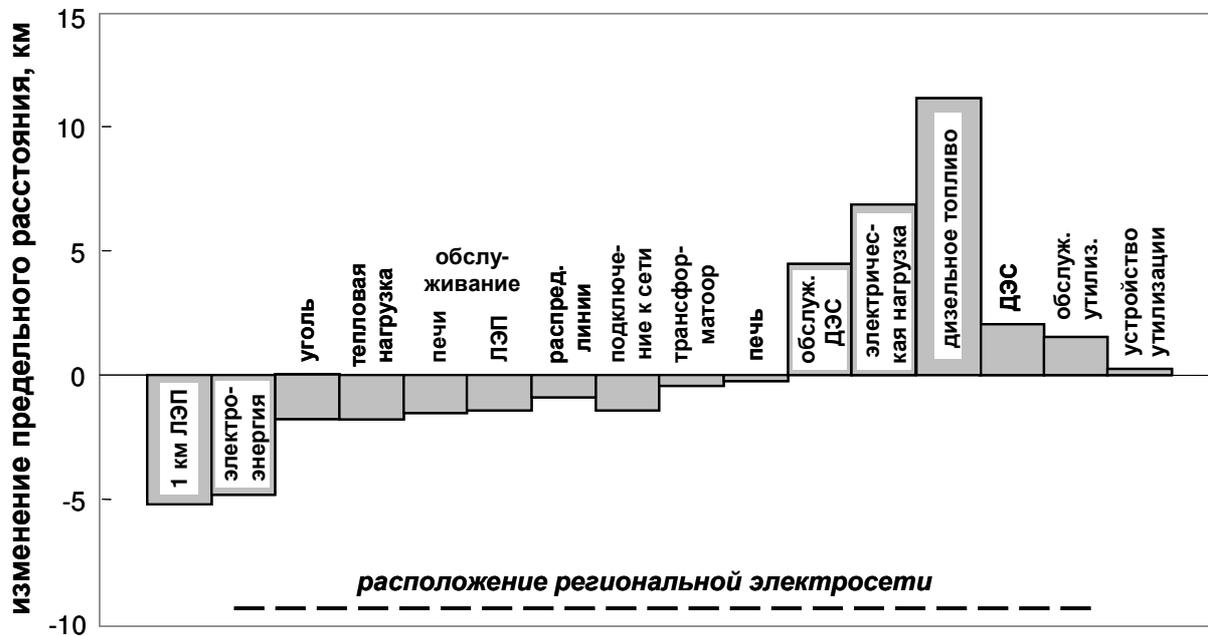


Рис. 7. Влияние основных исходных параметров (математических моделей затрат) на предельное расстояние экономически целесообразного подключения локальных объектов к региональной ЛЭП.

Показаны результаты расчетов для 5 установок УКБ-5, работа в течение одного года, тепловая нагрузка 20 кВт.

Расчет выполнен для поочередного двукратного изменения каждого из параметров. Изменение стоимости строительства и обслуживания ЛЭП задавали в тыс. руб./км; стоимости электроэнергии, дизельного топлива и угля – в руб./кВт·час; электрической и тепловой нагрузок – в кВт; остальное – в тыс. руб.

Еще одно обстоятельство, которое вскрывает только аналитический метод – взаимоотношение влияний на предельное расстояние тепловой нагрузки (P_{CT}) и стоимости печного топлива ($q_{ТПеч} \cdot C_{ТПеч}$), а также электрической нагрузки ($P_{CЭ}$) и стоимости электроэнергии ($C_Э$) и дизельного топлива ($q_Д \cdot C_Д$). Соответствующие аналитические соотношения имеют вид:

$$\text{из (18')} \quad l_{Пред.} = k_1 \times (A_1 - k_2 \times q_{ТПеч} \cdot C_{ТПеч} \cdot P_{CT}), \quad (30)$$

$$\text{из (19)} \quad l_{Пред.} = k_3 \times [A_2 + (k_4 \times q_Д \cdot C_Д - k_5 \times C_Э) \cdot P_{CЭ}] \quad (31)$$

(здесь $k_2 = k_4 = T_K \times (\Psi_{K-0} + \Psi_{II}) / \Psi_K$, $k_5 = T_K \times \Psi_{II} / \Psi_K$, T_K – число часов работы за квартал; в (31) опущено, для упрощения, влияние потерь электроэнергии в трансформаторах и в линиях передачи).

Из соотношения (30) следует, что одинаковое относительное увеличение стоимости угля и тепловой нагрузки должно приводить к одинаковому уменьшению предельного расстояния (одинаковая высота соответствующих столбиков на рис. 7), тогда как эффект изменения электрической нагрузки (соотношение (31)) зависит от соотношения стоимостей дизельного топлива и электроэнергии: чем дешевле дизельное топливо и дороже элек-

троэнергия, тем меньше эффект увеличения предельного расстояния с увеличением электрической нагрузки. Сказанное выше обосновывает

Третье защищаемое положение

Основными параметрами, определяющими предельное расстояние подключения технологических потребителей к региональной электросети, являются:

- 1) стоимость дизельного топлива и ее соотношение со стоимостью электроэнергии;***
- 2) электрическая нагрузка;***
- 3) стоимость строительства ЛЭП (на 1 км);***
- 4) стоимость обслуживания ДЭС и стоимость самой ДЭС;***
- 5) тепловая нагрузка и стоимость топлива для печей (угля).***

При этом:

Влияние изменения стоимости подключения к региональной электросети (новая статья расходов) сопоставимо с влиянием изменения оплаты за обслуживание ЛЭП, печей и устройства для утилизации тепла ДЭС.

Уменьшение предельного расстояния в наибольшей степени определяется увеличением стоимости ЛЭП, электроэнергии и величины тепловой нагрузки (вместе со стоимостью угля);

его увеличение – увеличением стоимости дизельного топлива и электрической нагрузки, а также увеличением стоимости ДЭС и ее обслуживания.

Как показано в тексте диссертации, используя аналитический подход, можно на основании формулы (20) получить оценку наибольшей возможной величины предельного расстояния как функцию затрат по “варианту ДЭС”, стоимости строительства 1 км магистральной ЛЭП и экономического фактора Ψ_K и использовать ее в качестве простой предварительной оценки предельного расстояния. Кроме того, установлено, что с течением времени этот параметр увеличивается прямо пропорционально эксплуатационным квартальным расходам по “варианту ДЭС” и обратно пропорционально стоимости строительства 1 км ЛЭП.

Четвертое защищаемое положение

При использовании рекомендуемой системы утилизации тепла, средних тепловых нагрузках и значительности цен на топливо практически повсеместно наиболее эффективным энергоисточником буровых работ являются передвижные дизельные электростанции.

Обоснование этого положения можно получить, еще раз обратившись к рис. 6 и рассмотрев указанные на нем величины расстояний: единицы км для 5 установок, и следовательно, как показывает формула (19), в 2-5 раз меньше для одной - двух установок. Таким образом, в современных условиях – при высокой стоимости топлива и электроэнергии, – необходимость теплообеспечения может снижать предельное расстояние присоединения к региональной электросети до нулевого значения, и предпочтительным становится использование энерго-технических комплексов на базе ДЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных анализов, разработанных математических моделей и установленных закономерностей решена задача по снижению затрат на энергообеспечение при геологоразведочном бурении, которая имеет существенное значение для совершенствования технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых России.

Основные результаты и выводы по работе заключаются в следующем:

1. Особенности технологии геологоразведочных работ, значимость в их производстве энергетической составляющей и изменение общей стратегии энергетического развития страны предопределяют необходимость разработки методической основы для оптимизации комплексного энергоисточника локального объекта в соответствии со сформулированными выше задачами исследований, предусматривающими, в том числе, составление математических моделей затрат в основном по двум вариантам: энергообеспечение от региональных сетей и от дизельных электростанций с утилизацией тепла.
2. Обоснование оптимального энергоисточника геологоразведочных работ следует производить на основе сопоставления систем комплексного энергообеспечения технологических потребителей по разработанной методике технико-экономического сравнения, учитывающей, в отличие от применявшейся ранее, такие экономические категории как фактор времени, система налогообложения, прогнозы инфляции.
3. К числу главных параметров, определяющих затраты по математическим моделям вариантов комплексного энергообеспечения объектов, относятся электрические нагрузки, с которыми напрямую связаны стоимость оборудования, затраты на электроэнергию, издержки в результате электропотерь. Поэтому точности определения расчетных значений этих параметров и, в первую очередь, тесной увязке их с технологическими параметрами, такими как, например, глубина бурения, должно быть уделено особое внимание.
4. Повышение рейсового коэффициента использования буровых установок может быть достигнуто за счет увеличения его во время проведения спуско-подъемных операций, посредством осуществления этих операций на форсированных режимах, т.е. на повышенных мощностях
5. Незначительность изменений с глубиной рейсового коэффициента использования и невысокие его значения на всем протяжении работ подтверждают возможность определения расхода электроэнергии при обосновании оптимального варианта энергообеспечения путем применения в соответствующей расчетной зависимости коэффициента использования постоянной величины: 0.35 для установки УКБ-4 и 0.25 для установки УКБ-5, что существенно ниже справочных рекомендаций.
6. Значительное изменение по мере углубления скважины коэффициента спроса по мощности предопределяет необходимость при определении расчетной мощности, по которой выбирается энергоисточник, корректировать этот коэффициент в соответствии с фактической максимальной глубиной бурения.
7. Техническим критерием эффективности, отражающим область применения в качестве энергоисточника региональной линии электропередач, может быть предельное (по экономическому фактору) расстояние подключения к централизованным энергосистемам, которое целесообразно определять (как это продемонстрировано в данной

работе) графоаналитическим методом с использованием полученных математических моделей.

8. Используя ранее традиционную методику оценки экономической эффективности при обосновании оптимальной системы энергоснабжения геологоразведочных работ (с использованием нормативного коэффициента $E=0.15$) нельзя считать приемлемой при современном состоянии экономических отношений, поскольку она не учитывает такие важные экономические категории как фактор времени, налогообложения, инфляции, и дает существенные расхождения результатов расчетов по сравнению с рекомендуемой методикой (ошибка в расчете приведенных затрат – их завышение – составляет 40-90 %, ошибка в определении предельного расстояния – его занижении – может достигать 20 %).
9. На величину предельного расстояния в наибольшей степени оказывает влияние стоимость дизельного топлива (в соотношении со стоимостью электроэнергии), затем электрическая нагрузка, стоимость строительства магистральной ЛЭП (в расчете на км) и стоимость обслуживания ДЭС; влияние тепловой нагрузки эквивалентно влиянию стоимости печного топлива и по величине сопоставимо с влиянием цены подключения к ЛЭП и стоимости обслуживания печей и линии электропередачи. Нарастание электрической нагрузки увеличивает предельное расстояние, а увеличение нагрузки тепловой (при условии утилизации тепла ДЭС) – снижает его. Использование утилизированной теплоты ДЭС не только снижает затраты на энергообеспечение потребителей, но и уменьшает предельное расстояние присоединения к региональным ЛЭП, т.е. непосредственно оказывает влияние на выбор энергоисточника. Поэтому обоснование выбора системы энергообеспечения должно в каждом случае производиться комплексно, т.е. совместно по электрической и тепловой энергии.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бадулин О.В., Лимитовский А.М. Повышение эффективности бурения посредством оптимизации энергоисточника. // Новые идеи в науках о земле. Материалы IX международной конференция. // М. РГГРУ, 2009.
2. Косьянов В.А., Бадулин О.В. Тенденция развития системы энергоснабжения отдаленных районов в современных условиях. // Новые идеи в науках о земле. Материалы VIII международной конференции. Том 6. // М. РГГРУ, 2007.
3. Косьянов В.А., Бадулин О.В. К вопросу уточнения определения средних и расчетных мощностей буровых установок. // Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Материалы VI международной научно-практической конференции. // М. РГГРУ, 2010.
4. Лимитовский А.М., Бадулин О.В. Повышение эффективности бурения посредством оптимизации энергоисточника. // В мире научных открытий. №2 (08). Часть 3. // Красноярск, 2010.
5. Лимитовский А.М., Бадулин О.В., Косьянов В.А. Теоретические исследования по обоснованию расчетных значений потребления электроэнергии буровой установкой и мощности энергоисточника. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 5. Деп. № 826/05-11 от 01.03.2011.
6. Лимитовский А.М., Бадулин О.В., Моргачев Д.А. Определение мощности энергоисточника посредством расчета энергозатрат по операциям потребителя // Геоэкология и инженерно-геологические проблемы развития гражданских и промышленных комплексов. Научно-практическая конференция. Тезисы докладов. // М. РГГРУ, 2008.