

На правах рукописи

ИВЧЕНКО Иван Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ – РГГРУ.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Меркулов Михаил Васильевич

Официальные оппоненты: Власюк Виктор Иванович, доктор
технических наук, профессор, ОАО
«ТулНИГП», директор

Вильмис Александр Леонидович,
кандидат технических наук, доцент,
РГГРУ, доцент

Ведущая организация – ОАО «Полярно-Уральское горно-геологическое
предприятие»

Защита состоится «29» июня в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Автореферат разослан «___» _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н.

Назаров А. П.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы

Указом Президента Российской Федерации №899 от 07.07.2011 г утверждены приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ, одним из пунктов которого является «Энергоэффективность, энергосбережение», и перечень критических технологий, в который вошли «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и «Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику». В рамках этих проектов, планируется развитие технологий поиска, разведки и добычи полезных ископаемых, а применение при этом энергоэффективных и энергосберегающих технологий основанных на возобновляемых источниках энергии позволит в значительной степени повысить эффективность геологоразведочных работ (ГРР).

Дальнейшее развитие ГРР связано с освоением месторождений в удалённых и труднодоступных районах РФ, большинство из которых расположены в районах с суровыми климатическими условиями – Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север и относятся к зонам децентрализованного электроснабжения. В этих условиях энергоснабжение ГРР, обычно осуществляется от автономных дизельных (ДЭС) или бензиновых электростанций. Это требует сезонную или круглогодичную доставку топлива к месту работ, что значительно повышает затраты и себестоимость энергии. Доля затрат на энергоснабжение в этих условиях может достигать 50 % от общего финансирования. Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в составе автономных систем энергоснабжения позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости вырабатываемой электроэнергии, тем самым существенно уменьшить затраты на энергоснабжение объекта и повысить технико-экономическую эффективность ГРР. Применительно к характеру и особенностям ведения ГРР в условиях Крайнего Севера самым приемлемым и перспективным вариантом гибридной системы энергоснабжения буровых работ являются ветро-дизельные энергетические комплексы (ВДЭК), применяемые для автономного энергоснабжения удаленных объектов, которые с успехом могут использоваться и на ГРР.

Поэтому, повышение эффективности энергоснабжения буровых работ посредством разработки, применения и оптимизации параметров работы гибридных систем энергоснабжения на основе ВДЭК в качестве источника энергии является задачей актуальной.

Представленная работа основана на результатах научно-исследовательских работ № гос. регистрации 01200654213, выполненных в 2009-2011 гг. по заданию Министерства образования науки РФ.

Цель работы – повышение эффективности геологоразведочных работ путем оптимизации параметров работы ветро-дизельных энергетических систем и комплексов буровых и горных предприятий.

Идея работы - обоснование и разработка гибридных систем энергоснабжения при бурении геологоразведочных скважин на основе использования ВДЭК в качестве единого энергоисточника.

Основные задачи исследований.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

- изучения особенностей электро- и теплоснабжения технологических объектов буровых работ на основе анализа годовых графиков нагрузки различных геологоразведочных объектов, ведущих работы в северных районах страны с выявлением общих закономерностей;
- проведение исследований по совершенствованию энергетических систем буровых работ и повышение их эффективности путем оптимизации параметров работы ВДЭК;
- разработка ВДЭК применительно к условиям и характеру ведения буровых работ, оптимизация режимов работы энергетического комплекса и определение технологических параметров, обеспечивающих наибольшую эффективность.
- технико-экономическое моделирование систем энергоснабжения, исследование и анализ полученных моделей, увязка технико-технологических факторов ГРП с энергетическими и экономическими параметрами на основе ВДЭК с целью определения и обоснования наиболее оптимального варианта энергоснабжения.

Методы исследований.

Поставленные задачи решались путём анализа литературных источников, аналитических исследований с использованием методов оптимизации. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с применением методов математической статистики и стандартных математических и графических программ.

Научная новизна данной работы заключается в том, что на основе проведенных исследований автором впервые:

- установлена зависимость вырабатываемой мощности ветроагрегата (ВА) к потребляемой мощности при изменении глубины скважины и частоты вращения бурового инструмента, позволяющая обосновать наиболее рациональную область применения ВА;
- установлена зависимость коэффициента замещения от меняющейся во времени скорости ветра к электрической мощности, расходуемой на процесс бурения скважины позволяющая обосновать оптимальные сроки проведения ГРП.
- установлена зависимость влияния скорости ветра на затраты по вариантам энергоснабжения буровых работ, что позволяет прогнозировать область применения и

экономический эффект от использования комплексов и создавать ВДЭК для различных технико-технологических условий ведения буровых работ;

- установлена зависимость изменения затрат по традиционному и гибриднему вариантам энергоснабжения буровых работ от стоимости топлива, позволяющая оценивать влияние топливной составляющей в энергетическом балансе буровых работ и своевременно принимать решения к её снижению, тем самым прогнозировать экономически оптимальный вариант энергоснабжения буровых работ;

- получены зависимости минимального расстояния объекта ведения буровых работ от основной базы горюче-смазочных материалов (ГСМ), позволяющие оценить степень влияния ВДЭК на выбор оптимального варианта энергоснабжения буровых работ;

- получены зависимости величины приведенных затрат от технико-экономических факторов основных систем энергоснабжения, позволяющие определить величину текущих затрат по вариантам и на этой основе выделить оптимальный в данных условиях вариант энергоснабжения.

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

- обоснована целесообразность и перспективность использования ВДЭК на буровых работах;

- разработаны типовые ВДЭК для стационарных и передвижных вариантов энергоснабжения буровых работ.

- предложены схемы энергоснабжения буровых работ при использовании ВДЭК.

- разработана методика экономической оценки и выбора оптимального варианта при гибридной, ветро-дизельной системе энергоснабжения для различных условий и характеров ведения работ (для передвижного и стационарного вариантов), основанная на сравнении текущих затрат, изменяющихся во времени.

Результаты исследований используются в учебном процессе при изучении курса «Экономия топливно-энергетических ресурсов» и вошли разделом в учебное пособие «Экономия топливно-энергетических ресурсов при проведении геологоразведочных работ».

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и технико-технологических решений базируется на применении математических методов исследований, доказана достаточным фактическим материалом и сходимостью полученных теоретических результатов с использованием методов моделирования.

Личный вклад автора

Все основные положения, результаты и выводы, выдвигаемые для публичной защиты, получены автором лично.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы ежегодно докладывались и получили одобрение на международных научных конференциях: «Наука и новейшие технологии при поисках разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», «Новые идеи в науках о земле», «Будущее технической науки», «Молодые науки о Земле» в 2006-2012 г.г., а так же на научных семинарах кафедры «Механизации автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ» МГРИ - РГГУ. Основные положения работы были представлены на конкурсе научных работ в области возобновляемых источников энергии на соискание стипендии BELLONA для молодых ученых, студентов и аспирантов высших учебных заведений в 2011 году.

Публикации

Результаты исследований по теме диссертаций опубликованы в 14 работах, в том числе 5 работ из перечня научных журналов и изданий, рекомендованных ВАКом.

Объём и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы и приложений.

В главе 1 выполнен анализ литературных источников и состояния энергоснабжения буровых работ, рассмотрены ранее проведенные экспериментальные исследования, и исследования в области использования возобновляемых источников энергии на буровых работах, получены основные закономерности и особенности энергоснабжения производственных потребителей. Рассмотрены ограничения и выбраны критерии оптимизации систем энергоснабжения буровых работ с точки зрения возможности обеспечения технологических нагрузок при бурении геологоразведочных скважин за счёт ВИЭ. Намечены пути совершенствования систем энергоснабжения на основе ВИЭ.

В главе 2 рассмотрены различные типы энергетических нагрузок технологических потребителей при использовании утилизированного теплового потока совместно с гибридной системой энергоснабжения при различных технологических параметрах работ, дана оценка энергетических возможностей гибридных систем энергоснабжения применительно к условиям ГРП, а так же обоснован оптимальный для буровых работ возобновляемый источник энергии. Намечены пути повышения эффективности работы ВА на основе использования блоков отбора мощности (БОМ) в составе ВДЭК, устройств позволяющих исключить режим холостого хода ВА.

В главе 3 предложена методика определения расчётной скорости ветра, обеспечивающая наибольшую эффективность работы ВА в составе ВДЭК. Предложены схемы совместной работы ВА и дизель-генератора (ДГ), разработаны схемы ВДЭК для различных вариантов и условий ведения буровых работ.

В главе 4 выполнено технико-экономическое моделирование ВДЭК, проведены исследования модели применительно к передвижному и стационарному ВДЭК, и

предложена методика оценки оптимальных параметров ВДЭК в конкретных климатических и горно-геологических условиях.

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

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю, д.т.н., профессору Меркулову М. В., коллегам, сотрудникам кафедры Механизации автоматизации и энергетики: Лимитовскому А. М., Косьянову В. А., Державину Д. А., Чайкину С. В., Жернакову А. П. и другим за советы, помощь и моральную поддержку в подготовке работы.

Содержание работы

Автор в своей работе опирался на результаты исследований в области повышения эффективности буровых работ, энергоёмкости бурения, использования нетрадиционных, возобновляемых источников энергии на ГРП, выполненных Алексеевым В. В., Козловским Е. А., Лимитовским А. М., Гланцем А. А., Меркуловым М. В., Тихоновым Н. В., Тихоновым Ю. В., Марковым Ю. А., Кардышем В. Г., Мурзаковым Б. В., Окмянским А. С., Михайловой Н. Д., Ребриком Б. М., Наугольниковым С. И., Жернаковым А. П., Косьяновым В. А., Безруких Ю. Д., Безруких П. П., Лукутиным Б. В. и другими.

В основу проведенных исследований были положены работы Лимитовского А. М., где детально рассмотрены особенности определения расчетных электрических нагрузок, повышение эффективности систем энергоснабжения и степень их влияния на ГРП.

Геологоразведочные работы проводятся в отдалённых и труднодоступных районах, вдали от промышленных центров и региональных линий электропередач. В таком случае в качестве источника энергоснабжения используются ДЭС, оборудованные системами утилизации теплоты, которые, зачастую, не в полной мере способны компенсировать необходимые тепловые нагрузки.

Анализ систем энергоснабжения позволит выявить те основные направления совершенствования локальных энергетических систем, которые в большей степени влияют на эффективность работ. Исследование энергетических параметров технологических потребителей даст возможность на основе научного подхода разработать адаптированные, с учётом особенностей ГРП, методы определения энергетических нагрузок, оценить их величину, продолжительность, возможность их полной или частичной компенсации за счёт использования ВДЭК.

Совершенствование энергоисточников и оптимизация режимов их работы в энергетических комплексах позволит не только наметить пути экономии топливно-энергетических ресурсов, но и в значительной степени снизить влияние топливной составляющей в энергетическом балансе буровых работ.

Решение поставленных задач даст возможность разработать технико-экономическую модель систем энергоснабжения, провести её исследование при различных условиях, что позволит обоснованно решать вопрос эффективного энергоснабжения технологических потребителей ГРП с применением ВДЭК.

Исследования, проводимые по поставленным вопросам, позволили сформулировать следующие защищаемые положения.

Первое защищаемое положение. Технологические нагрузки буровой установки могут быть в значительной степени обеспечены за счёт энергетического потенциала ветра при сокращении доли участия традиционных энергоисточников.

В последние годы наметилась тенденция в разведке месторождений, расположенных в удалённых и труднодоступных районах. В условиях автономного ведения работ при отсутствии инфраструктуры и энергосетей для энергоснабжения буровых работ используют ДЭС потребляющих жидкое топливо, коэффициент полезного действия (кпд) которых не превышает 30-35 %. Затраты на топливо и обслуживание таких энергоисточников значительно повышают себестоимость вырабатываемой электроэнергии.

Основные объекты ГРП Магаданской области и Чукотки работающие в таких условиях приводятся на рис. 1. В этих же регионах сосредоточены значительные ресурсы ветровой энергии, которые характеризуются высокой среднегодовой скоростью ветра.

Совмещённая карта сети метеорологических станций с основными месторождениями показывает, что на крупнейших месторождениях Магаданской области и Чукотки, использование ветровой энергии позволит в значительной степени снизить затраты на энергоснабжение буровых работ (Рис. 1), уменьшить потребление топлива ДЭС и затраты на его приобретение и доставку.

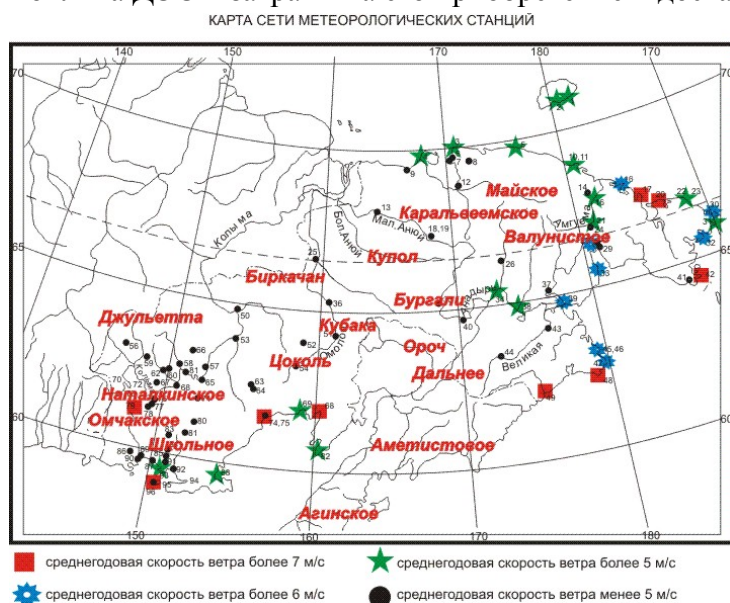


Рис. 1. Совмещённая карта сети метеорологических станций Магаданской обл. и Чукотского национального округа с основными месторождениями региона.

Для того чтобы оценить степень влияния энергии, вырабатываемой ВА в энергетическом балансе буровых работ, рассмотрим совместный суточный график

нагрузки буровой установки УКБ-4 и выработки электроэнергии ВА, Н 30 000Т (Рис.2).

При глубине скважины 423 м, доля выработки ВА достигает 30% от энергопотребления буровой, что соответствует снижению расхода топлива ДЭС на 2-3 кг/час.

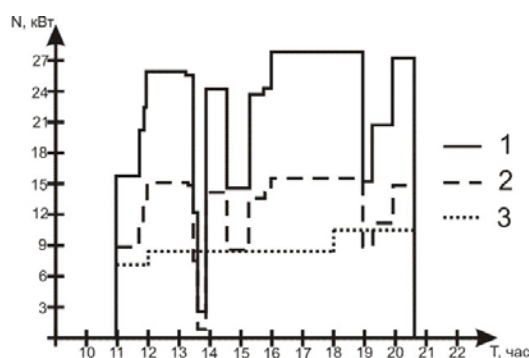


Рис. 2. Совмещенный, суточный график нагрузки буровой установки УКБ-4 (глубина бурения 423 м, средняя мощность бурового станка 21,78 кВт) и выработки электроэнергии ВА Н-30 00Т.

1 - График нагрузки бурового станка

2 - Тепловыделения бурового станка

и технологического оборудования буровой, 3 - Вырабатываемая электроэнергия ВА.

Однако справедливо полагать, что при меньших нагрузках, соответствующих меньшей глубине скважины, ВА способен полностью компенсировать электрическую мощность потребляемую станком при бурении геологоразведочных скважин.

В этом случае стоит оценить предельную глубину скважины, при которой ВА полностью обеспечит электропотребление буровой, что позволит обосновать область оптимального его применения в составе ВДЭК.

Согласно методике ВИТРА, весь диапазон частот вращения бурового станка по энергозатратам можно разделить на 2 диапазона – низкооборотное ($n < n_0$) и высокооборотное ($n > n_0$) бурение. Мощность, расходуемая на бурение геологоразведочных скважин, может быть определена по формуле:

$$N_6 = N_a + N_T + N_{ст}; \quad (1)$$

где, N_a – мощность расходуемая на забое скважины, кВт; N_T – мощность расходуемая на вращение колонны бурильных труб в скважине, кВт; $N_{ст}$ – мощность расходуемая в трансмиссии и других узлах бурового станка, кВт.

Мощность ВА определяется его параметрами и скоростью ветра

$$N_{BA} = P(v(t)), \text{ кВт}$$

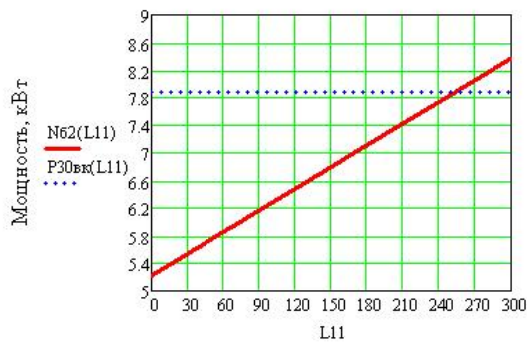
Тогда в качестве критерия эффективного использования ВА может быть предложено отношение количества электроэнергии, вырабатываемое ВА к расходу электроэнергии потребляемой двигателем буровой установки в зависимости от числа оборотов и глубины скважины.

$$\frac{\int_0^t P(v(t)) dt}{\int_0^t N_6(n, L) dt}, \quad (2)$$

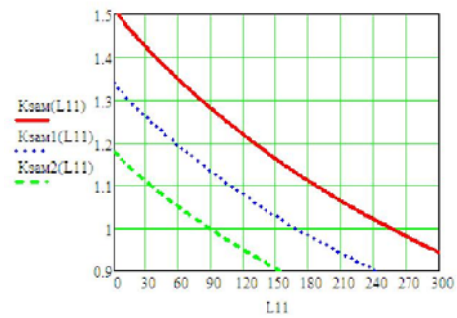
Отношение электроэнергии, выработанной ВА и потребляемой буровым станком, даёт возможность определить и обосновать наиболее эффективную область использования ВА при бурении геологоразведочных скважин.

$$N_{62}(L_{11}) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot n \cdot D_{cp} + k_c \cdot (2.0 \cdot 10^{-6} \cdot q \cdot \delta_1 \cdot n^2 + 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot d^2 \cdot n) \cdot L_{11} + 2.45 \cdot 10^{-4} \cdot \delta_1 \cdot P \cdot n + B_c \cdot n; \quad (3)$$

$$P_{30ек}(L_{11}) = 4.81 \cdot b_{ea}^2 \cdot v^3 \cdot \xi_2 \cdot 10^{-4} \cdot j_1; \quad (4)$$



а) Глубина бурения, м



б) Глубина бурения, м

Рис. 3. а) Совмещённый график зависимости мощности при бурении от глубины скважины, с выработкой мощности ВА Н-30 00Т; б) Изменение отношения электроэнергии, выработанной ВА и потребляемой буровым станком при увеличении глубины бурения. $N_{62}(L11)$ – мощность двигателя, расходуемая на бурение скважины, кВт; $P_{30кв}(L11)$ – мощность вырабатываемая ВА Н 30000N, кВт; $K_{зам}(L11)$, $K_{зам1}(L11)$, $K_{зам2}(L11)$, – отношение электроэнергии, выработанной ВА при скорости ветра 7,5; 7,2; 7,0 м/с и потребляемой буровым станком УКБ-5П.

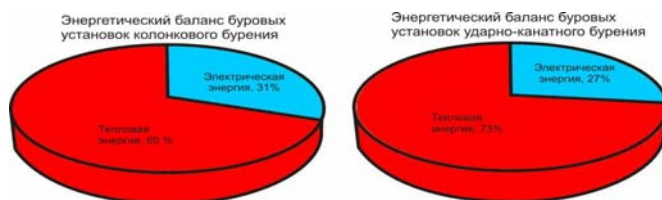
На рис. 3(а) приводится график вырабатываемой мощности ВА при скорости ветра 7,5 м/с, и нагрузка буровой установки УКБ-5П в интервале бурения 0-300 м. Пересечение графиков на отметке 245 м говорит, что до указанной глубины бурения ВА полностью обеспечит потребности буровой в электроэнергии. При больших глубинах ВА только частично компенсирует энергетические нагрузки бурового станка.

На рис. 3(б) показано изменение отношения вырабатываемой ВА электроэнергии к потребляемой буровой в зависимости от глубины бурения для регионов с различными расчётными скоростями ветра.

Таким образом, сопоставляя технологические факторы, влияющие на энергозатраты и региональные, которые определяются скоростью ветра, стоимостью топлива и т.п. можно определить область эффективного использования ВА.

Кроме того, на буровых работах потребляется как электрическая так и тепловая энергия, при сопоставлении которых, становится очевидным преобладание тепловой энергии (Рис. 4), при выработке которой не требуется высокого качества её выходных параметров (стабильности частоты и напряжения), что часто бывает при выработке электроэнергии ВА в изменчивом и непостоянном ветровом потоке. Это позволяет использовать ВА без дополнительных преобразующих устройств (инверторов), что в разы снижает себестоимость вырабатываемой электроэнергии. А применение БОМ–устройств позволяющих исключить режим холостого хода ВА, совместно с ВА позволит покрыть тепловые нагрузки буровых установок, тем самым приблизить выработку электроэнергии к теоретическому максимуму, что особенно актуально в северных регионах страны.

Рис. 4. Энергетический баланс буровых установок колонкового и ударно-канатного бурения.



На рис. 4 показан энергетический баланс буровых установок колонкового и ударно-канатного бурения с выделением доли электро- и теплотребления. Анализируя который, становится очевидным преобладание тепловой энергии, что делает применение ВА с БОМ более эффективным, т.к. при слабых и нестабильных ветрах БОМ способны использовать «некачественную» энергию и преобразовать ее в теплоту.

В последнее время, в силу ряда причин, многие горнодобывающие предприятия Северо-Восточного региона перешли на электрообеспечение от собственных ДЭС. Такое поведение потребителей объясняется неприемлемой для них тарифной политикой Северных сетей и неспособностью наладить финансовое взаимодействие в условиях неплатежей. Этот факт ещё в большей степени расширяет границы использования ВИЭ. Поэтому, использование ВА в этих условиях позволит снизить долю участия традиционных энергоисточников и сократить потребление органического топлива.

Второе защищаемое положение. Расчетную мощность энергетического комплекса на основе ветроагрегатов следует определять с учетом коэффициента замещения по предложенному принципу, что позволит наиболее эффективно обеспечить технологические нагрузки буровых установок за счёт энергетического потенциала ветра.

При выборе ВА для обеспечения энергетических нагрузок потребителей или их группы, в составе ВДЭК, необходимо решить ряд вопросов.

Во-первых, оценить расчётную скорость ветра в данном регионе, т. е. энергетический потенциал места работ, что предопределяет целесообразность использования ВДЭК, а также тип ВА, входящего в состав комплекса, и его мощность.

Во-вторых, для обеспечения наибольшей доли участия ВИЭ в энергетическом балансе буровых работ подобрать оптимальную конструкцию и число ВА. При их недостатке не полностью используется резервы экономии топлива, при избытке неэффективное вложение средств и соответственно удлинение сроков окупаемости.

В-третьих, энергетические нагрузки при бурении геологоразведочных скважин и ветровая энергия случайным образом изменяются во времени. Следовательно, для рационального использования ветроэнергетического потенциала следует рассмотреть совместное изменение потребления и выработки электроэнергии ВА. Это позволит снизить потери энергии из-за несовпадения графиков выработки и потребления.

Подобрать оптимальную конструкцию ВА, обеспечивающую наибольшее значение коэффициента использования ветра, а соответственно, и наибольшую мощность в данных условиях можно зная расчётную скорость ветра в данном регионе.

Рекомендуемая расчётная скорость ветра принимается в зависимости от среднегодовой скорости (V_r), обычно $V_p = (1,4-1,6)V_r$, что не совсем обосновано.

Для каждого региона на основе многолетних измерений существуют статические данные о времени стояния ветров по скоростям. Это позволяет определить распределения скорости ветра, что даёт возможность полностью описать эту случайную величину для данного региона, выяснить режим скоростей, их среднее значение и характеристики вариаций, на основе этого оценить расчетную скорость ветра для ВДЭК.



Рис. 5. Распределение скоростей ветра для г. Охотск.

Так, наибольшая повторяемость скорости ветра для г. Охотск находится в интервале 3 – 5 м/с, но это ещё не означает, что в этом интервале лежит величина расчётной скорости для ВА.

На основании технических характеристик ВА Муссон, максимальная мощность развивается при скорости ветра в диапазоне 14-20 м/с, о чём свидетельствует рис. 6.

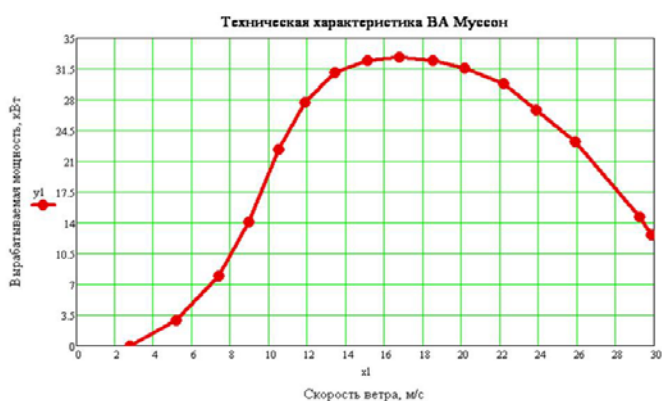


Рис. 6. Техническая характеристика ВА Муссон (30 кВт).

Зная характер распределения скоростей ветра в регионе можно подобрать оптимальный тип и конструкцию ВА по принципу максимальной выработки электроэнергии.

$$W(v) \rightarrow \max, \text{ кВт} \cdot \text{ч в год.}$$

Сопоставляя рис. 5 и 6 можно определить точку пересечения, которая будет соответствовать максимальной вырабатываемой электроэнергии данного ВА, или определить по следующей формуле:

$$W(v) = 0.481 \cdot d^2 \cdot v_p^3 \cdot \xi \cdot \eta \cdot T_v \cdot 10^{-3} \quad ; \text{ кВт} \cdot \text{ч/год} \quad (5)$$

где η - общий КПД передачи, генератора, инвертора; d - диаметр ветроколеса, м; v_p - расчётная скорость ветра м/с; ξ - коэффициент использования ветра; T_v - время стояния в течение года данной скорости ветра, час.

Сопоставляя графики 5 и 7 для данного ВА видно, что средняя скорость – скорость, вероятность которой наибольшая не является оптимальной скоростью ветра с точки зрения выработки электроэнергии. За расчётную скорость ветра необходимо выбрать такую в данном регионе, доля которой в выработке электроэнергии является наибольшей.



Рис.7. График годовой выработки электроэнергии, ВА Муссон (мощность 30кВт) для г. Охотск.

Для г. Охотск расчётной скоростью будет являться скорость в интервале от 6 до 8 м/с.

Однако для эффективной работы энергетического комплекса должен

соблюдаться баланс вырабатываемой электроэнергии и потребляемой. Критерием эффективной работы может служить коэффициент замещения $K_{зам}$, который характеризует согласованность вырабатываемой электроэнергии ВА в изменчивом и непостоянном ветровом потоке и потребляемой буровой установкой, что позволяет установить наиболее эффективные сроки проведения ГРП при использовании ВДЭК.

$$K_{зам} = \frac{\int_t^{t_1} P(v(t))dt}{\int_t^{t_1} P_{б.пр}(t)dt} \rightarrow 1; \quad (6)$$

где, $P(v(t))dt$ – вырабатываемая электроэнергия ВА, кВт·ч; $P_{б.пр}(t)$ – потребляемая электроэнергия приводом бурового станка и маслососа при бурении, кВт·ч; t – начало временного интервала, час; t_1 – конец временного интервала, час;

$$P_{б.пр} = P_{б} + \Delta P_{бс} + P_{мн.пр}; \quad (7)$$

$P_{б}$ – мощность бурового станка при бурении, кВт; $\Delta P_{бс}$ – потери мощности, кВт;

$P_{мн.пр}$ – мощность на работу маслососа, кВт;

Таким образом, выбирать ВА для ВДЭК и рассчитывать его энергетический потенциал следует по предложенному методу, основанному на максимальной выработке электроэнергии в каждом конкретном регионе с учётом особенностей ВА, $K_{зам}$ и согласования вырабатываемой и потребляемой электроэнергии.

Третье защищаемое положение. Выбор оптимального варианта энергоснабжения буровых работ при использовании ветро-дизельного энергетического комплекса необходимо производить по предложенной методике, что значительно снизит топливную составляющую в энергетическом балансе буровых работ.

Под гибридной системой энергоснабжения подразумевается совместное использование традиционного источника энергии и возобновляемого.

Сооружение ВДЭК требует значительных капиталовложений, что предопределяет необходимость проведения детальных технико-экономических исследований, позволяющих оценить возможность экономии жидкого топлива при энергоснабжении ГРП. Сущность методики заключается в сравнении приведённых затрат по вариантам.

Рассматриваются два варианта автономного энергоснабжения от традиционного энергоисточника, без использования гибридной системы энергоснабжения и вариант с

использованием ВДЭК, критерием оптимальности будет являться минимум приведенных затрат. Это позволит провести сравнение различных вариантов энергоснабжения и выявить самый оптимальный из них. Особенностью метода технико-экономического расчёта является принцип неравнозначности благ, который основан не только на определении величины дохода, но и времени, через которое этот доход будет получен, что так важно для предприятия.

На основе этой методики возможно рассмотрение двух режимов работы ВДЭК системы энергоснабжения ГРР.

Первый вариант – это вариант непрерывной работы дизель-генератора(ов) (ДГ) и ВА (ДГ работают как основной источник энергии, ВА – вспомогательный, с целью уменьшения потребления топлива).

В этом варианте ДЭС и ВА будут работать в ВДЭК в параллельном режиме, при этом в зависимости от характера нагрузки и количества вырабатываемой электроэнергии ВА, выбираются режимы работы ВДЭК. Для достижения наибольшей эффективности комплекса предпочтение в вырабатываемой электроэнергии отдаётся ВА.

Второй вариант работы ВДЭК подразумевает использование ВА как основных энергоисточников, обеспечивающих большую часть нагрузки с резервированием их ДГ.

Он основан на анализе графиков нагрузки буровых работ в течение необходимого интервала времени (чаще всего годового) и сравнения этих графиков с реальной выработкой ВА электроэнергии для конкретного региона, с целью получения максимальной и целесообразно возможной мощности от альтернативных источников энергии и построения на этой основе ВДЭК.

В общем случае, основная формула затрат на энергоснабжение геологоразведочных работ от традиционного энергоисточника определяется формулой:

$$Z = -K - K_0 - II + D + E + A; \text{ руб.} \quad (8)$$

где, K – начальные капиталовложения на покупку оборудования, его ремонт и транспортировку, руб.; K_0 – начальный оборотный капитал (можно принять стоимость запасов топлива в рассматриваемый период), руб.; II – стоимость текущих затрат, приведённая к исходному моменту (издержки производства), руб.

$$II = II_k \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (9)$$

где, II_k – затраты за рассматриваемый период времени, руб.; i – ставка альтернативного вложения за рассматриваемый период времени, в долях единиц; n – количество временных интервалов, за которое проводится анализ, шт.

D – оценка остаточной стоимости оборудования и оборотного капитала на конец прогнозного периода, приведённая к исходному моменту, руб.:

$$D = \frac{K \cdot (1-p \cdot n)}{(1+i)^n}; \quad (10)$$

где, p – коэффициент амортизации оборудования, в долях единицы.

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

$$E = I_k \cdot C_n \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (11)$$

где, C_n – ставка налога на прибыль, в долях единицы;

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

$$A = K \cdot p \cdot C_n \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (12)$$

Перед слагаемым K , K_0 , I , показывающими отток средств стоит отрицательный знак, перед слагаемыми D , E , A , несущими в себе экономию или приток средств, – положительный.

Определив затраты при энергоснабжении от традиционного энергоисточника, по аналогичной методике определяем издержки и затраты от использования ВА.

Затраты по варианту составят:

$$Z_{\text{ва}} = -K_{\text{ва}} - I_{\text{ва}} + D_{\text{ва}} + E_{\text{ва}} + A_{\text{ва}} + I_{\text{вэт}}; \text{ руб.} \quad (13)$$

где, $K_{\text{ва}}$ – начальные капиталовложения на покупку оборудования, сооружения фундамента и наладки ВА, руб.

$I_{\text{ва}}$ – стоимость текущих затрат, приведённая к исходному моменту (издержки производства), руб.:

$$I_{\text{ва}} = I_{\text{в}} \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (14)$$

$I_{\text{в}}$ – эксплуатационные затраты за рассматриваемый период времени, руб.;

$D_{\text{ва}}$ – оценка остаточной стоимости оборудования и оборотного капитала на конец прогнозного периода, приведённая к исходному моменту, руб.:

$$D_{\text{ва}} = \frac{K_{\text{ваа}} \cdot (1-p_1 \cdot n)}{(1+i)^n}; \quad (15)$$

где, $K_{\text{ваа}}$ – стоимость оборудования ВА, руб., p_1 – коэффициент амортизации оборудования, в долях единицы, 3,3% в год по един. нормам для ветродвигателей.

$E_{\text{ва}}$ – экономия на налоге на прибыль, в связи с текущими затратами, руб.:

$$E_{\text{ва}} = I_{\text{в}} \cdot C_n \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (16)$$

где, C_n – ставка налога на прибыль, в долях единицы; $A_{\text{ва}}$ – экономия на налоге на прибыль в связи с амортизационными отчислениями, руб.:

$$A_{\text{ва}} = K_{\text{ваа}} \cdot p_1 \cdot C_n \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (17)$$

где, $K_{\text{ваа}}$ – стоимость оборудования ВА, руб.

По аналогии с издержками на энергию поступающую от ДЭС, экономия топлива за счёт использования ВА составит, руб.:

$$I_{\text{вэт}} = P_{\text{ва}} \cdot T_{\text{ва}} \cdot q \cdot (C_{\text{т}} + C_{\text{тр}} \cdot l_{\text{с}} \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}; \quad (18)$$

где, $P_{\text{ва}}$ – мощность вырабатываемая ВА, кВт; $T_{\text{ва}}$ – время работы ветроагрегата, час;

q – удельный расход топлива ДЭС кг/кВт·ч; C_m – стоимость дизельного топлива на базе ГСМ, руб./кг; C_{mp} – стоимость перевозки 1 т топлива на 1 км, руб./т·км; l_c – расстояние от базы ГСМ до ДЭС, км.

Основная формула затрат на сооружение и обслуживание ВА будет следующей:

$$Z_{ва} = -K_{ва} \cdot j - I_{в} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + \frac{K_{ваа} \cdot j \cdot (1 - p_1 \cdot n)}{(1+i)^n} + I_{в} \cdot C_{н} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + K_{ваа} \cdot j \cdot p_1 \cdot C_{н} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + P_{ва} \cdot T_{ва} \cdot q \cdot (C_{т} + C_{тр} \cdot l_c \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (19)$$

Суммируя затраты при традиционном энергоснабжении с затратами от использования ВА получим затраты при использовании ВДЭК. Критерием эффективного использования ВДЭК является сравнение приведенных затрат по вариантам энергоснабжения (Рис.8).

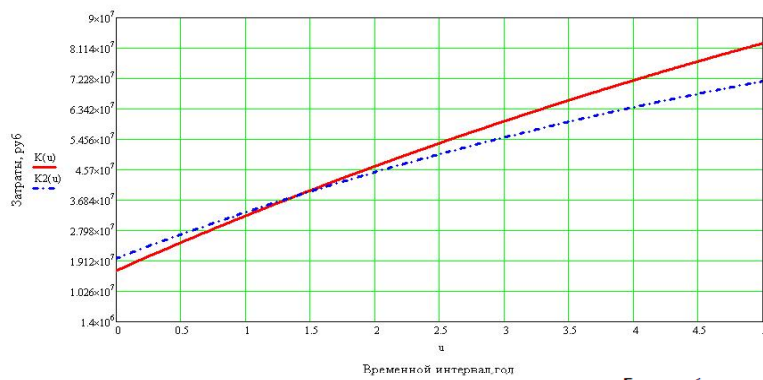


Рис. 8. График затрат при передвижном характере буровых работ по традиционной и гибридной системе энергоснабжения.

$K(u)$ – традиционный вариант энергоснабжения, руб.;

$K_2(u)$ – вариант с ВДЭК, руб.;

$$K(u) = -K_3 - K_0 - I_K \cdot \left[\frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} \right] + \frac{K_3 \cdot (1 - p \cdot u)}{(1+i)^u} + I_K \cdot C_{п} \cdot \left[\frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} \right] + I_K \cdot K_3 \cdot p \cdot C_{п} \cdot \left[\frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} \right]; \quad (20)$$

$$K_2(u) = K(u) + (-K_{ва} - K_{вз} - I_{в} \cdot \left[\frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} \right] + \frac{K_{1ваотс} \cdot (1 - p_1 \cdot u)}{(1+i)^u} + \frac{K_{2ваотс} \cdot (1 - p \cdot u)}{(1+i)^u} + I_{в} \cdot C_{п} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} + K_{1ваотс} \cdot p_1 \cdot C_{н} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} + K_{2ваотс} \cdot p_1 \cdot C_{н} \cdot \frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} + P_{1вк} \cdot T_{1ва} \cdot q \cdot (C_1 + C_2 \cdot l_{ц} \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1 - (1+i)^{-u}}{i} + P_{2вк} \cdot T_{2ва} \cdot q \cdot (C_1 + C_2 \cdot l_{ц} \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1 - (1+i)^{-u}}{i}); \quad (21)$$

Таким образом, можно сказать, что первоначальные капитальные затраты на проект ВДЭК при передвижном характере работ несколько больше традиционного варианта энергоснабжения. Это связано с затратами на покупку и наладку ВА, составление проектно-сметной документации и согласования с местными органами управления, но для данного региона при его ветровых характеристиках, окупаемость проекта составляет не более 2-х лет, о чём свидетельствует точка пересечения двух кривых (примерно, 1.5 г.) после которой затраты при энергоснабжении от ВДЭК ($K_2(u)$) существенно снижаются относительно затрат при традиционном варианте энергоснабжения. Далее использование ВДЭК уменьшает затраты по сравнению с традиционным вариантом.

При стационарном варианте системы энергоснабжения буровых работ от ВДЭК (Рис.9) начальные капиталовложения снижаются по сравнению с традиционным вариантом на 31 %, это обуславливается разницей в мощностях применяемых традиционных источников энергии, а дальнейшая сохраняющаяся разница в затратах объясняется меньшим временем их работы.

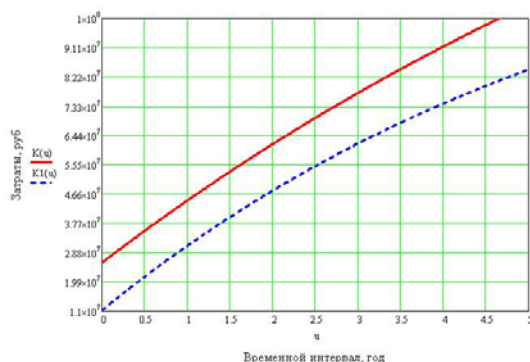


Рис. 9. График затрат при стационарном характере буровых работ по традиционной и гибридной системе энергоснабжения,
 $K(u)$ – традиционный вариант энергоснабжения;
 $K_2(u)$ – энергоснабжение от ВДЭК.

На основании предложенной методики можно определить величину топливной составляющей в энергетическом балансе буровых работ (Рис. 9), что позволяет спрогнозировать и минимизировать её влияние путем изменения входных технологических параметров (количество и тип ВА). Точка пересечения графиков соответствует той стоимости топлива, (59 руб./л) при которой затраты при использовании ВДЭК в данном регионе за расчётный интервал времени себя полностью оправдывает, и при повышении отпускной стоимости на топливо, разница в затратах по вариантам будет только увеличиваться.

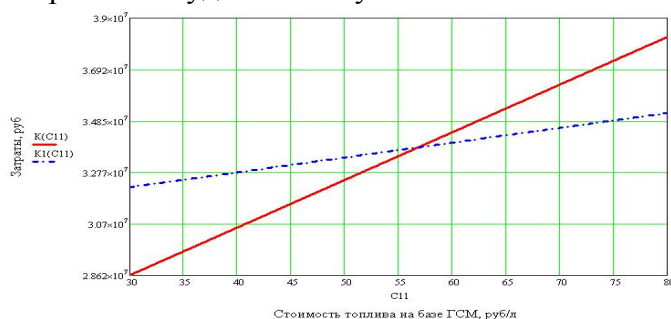


Рис. 10. Влияние стоимости топлива на годовые затраты при передвижном характере энергоснабжения буровых работ.
 $K(C11)$ – традиционный вариант энергоснабжения буровых работ;
 $K_1(C11)$ – вариант энергоснабжения буровых работ от ВДЭК (ВА Н 30 000Т).

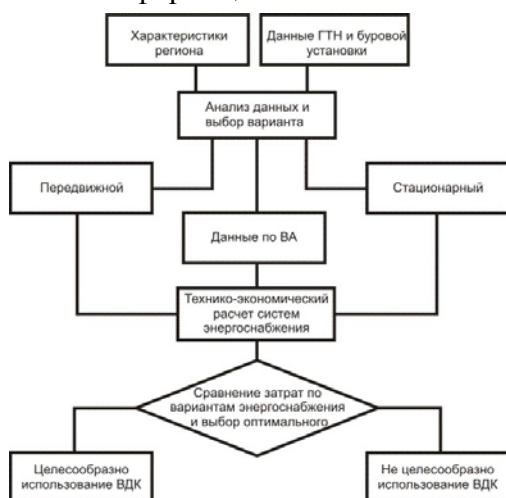
Таким образом, при сравнении затрат по вариантам энергоснабжения, можно заключить что использование ВДЭК позволяет в значительной степени снизить топливную составляющую в системе энергоснабжения ГРП, а предлагаемая методика способна в реальном времени оценивать величины дохода (расхода) и прогнозировать время, через которое этот доход будет получен.

Четвертое защищаемое положение. При энергоснабжении буровых работ от ветро-дизельных энергетических комплексов параметры, влияющие на их эффективность следует определять по предложенной математической модели системы энергоснабжения.

На основании проведенных технико-экономических и технико-технологических расчетов разработана модель, учитывающая влияние различных факторов на затраты по вариантам энергоснабжения что позволяет прогнозировать затраты и выбирать наиболее эффективные параметры при ведении буровых работ.

Основными входными данными модели являются:

- информация о месте ведения работ (средняя скорость ветра, распределения скоростей в регионе, стоимость топлива, расстояние от базы ГСМ до места работ);
- информация о буровой(ых) установке(ах) (тип, мощность, характер ведения работ, сроки и объёмы работ);
- информация о ВА и количестве (тип, мощность, стоимость, количество).



Эти данные вводятся в модель, которая их анализирует и производит технико-экономический расчёт затрат по вариантам энергоснабжения, определяет затраты по вариантам $Z_{тр}$ (затраты по традиционному варианту энергоснабжения) $Z_{ВДК}$ (затраты при использовании ВДЭК), далее сравнивает затраты и выбирает оптимальный вариант энергоснабжения по минимуму приведенных затрат ($\frac{Z_{тр}}{Z_{ВДК}} \rightarrow \max$).

Рис. 11. Математическая модель системы энергоснабжения ВДЭК.

С помощью данной модели (Рис. 10.) были выявлены основные факторы, влияющие на эффективность буровых работ при использовании ВДЭК, такие как: зависимость изменения скорости ветра (Рис. 11), изменение стоимости топлива (Рис. 12), расстояние от базы ГСМ до места ведения работ (Рис. 13), на затраты по вариантам различных систем энергоснабжения ГРР.

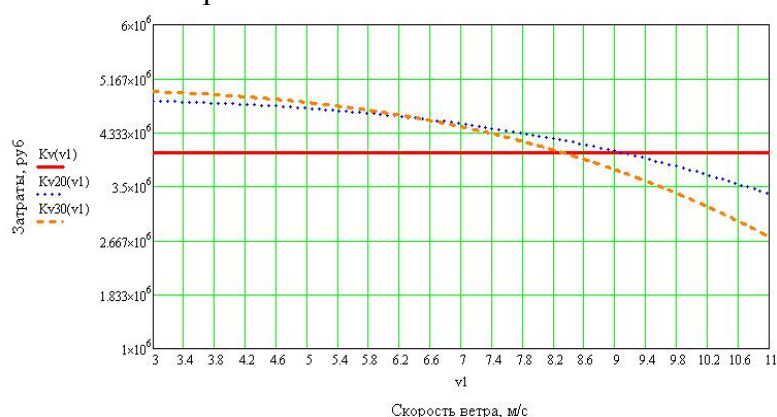


Рис. 12. Влияние скорости ветра на годовые затраты по вариантам энергоснабжения буровой установки УКБ-5П, стоимость топлива 50 руб./л. $Kv(v1)$ - традиционный вариант энергоснабжения; $Kv20(v1)$ - энергоснабжение от ВДЭК, ВА Н 20 000Т; $Kv30(v1)$ - энергоснабжение от ВДЭК, ВА Н 30 000Т.

Горизонтальная линия соответствует традиционному варианту энергоснабжения, затраты по которому не зависят от изменения скорости ветра. Точки пересечения

графиков затрат энергоснабжения от ВДЭК с затратами по традиционному варианту энергоснабжения соответствуют скоростям ветра, при которых энергоснабжение от ВДЭК полностью себя оправдывает в данном временном интервале. Данный график наглядно свидетельствует о существенном влиянии скорости ветра при использовании ВДЭК на затраты по вариантам и тем оно больше, чем больше доля участия ВА.

Анализируя график влияния стоимости топлива на затраты по вариантам энергоснабжения буровых работ (Рис.13), становится очевидным снижение доли топливной составляющей в энергетическом балансе буровых работ, об этом свидетельствует уменьшение наклона кривой затрат по вариантам от ВДЭК при увеличении доли участия ВА. Точки пересечения кривой затрат при традиционном энергоснабжении (сплошная линия) с затратами при энергоснабжении от ВДЭК соответствует стоимости топлива, при которой использование комплексов станет экономически оправдано.

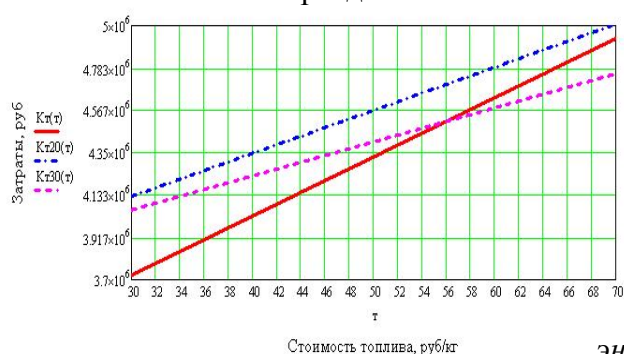


Рис. 13. Влияние стоимости топлива на годовые затраты по вариантам энергоснабжения буровой установки УКБ-5П. Среднегодовая скорость ветра 7,7 м/с. $K_1(T)$ - традиционный вариант энергоснабжения; $K_{120}(T)$ - энергоснабжение от ВДЭК, ВА Н 20 000Т – 2 шт.; $K_{130}(T)$ - энергоснабжение от ВДЭК, ВА Н 30 000Т – 2 шт.

Так же на эффективность использования ВДЭК на буровых работах влияет такой фактор как расстояние от базы ГСМ до места ведения работ. Так в данном случае при передвижном характере ведения буровых работ и при неизменных параметрах (стоимость топлива, скорость ветра, сроки проведения работ, количество ВА) расстояние при котором будет целесообразно использовать ВДЭК - составит 550 км, о чем свидетельствует точка пересечения двух графиков.

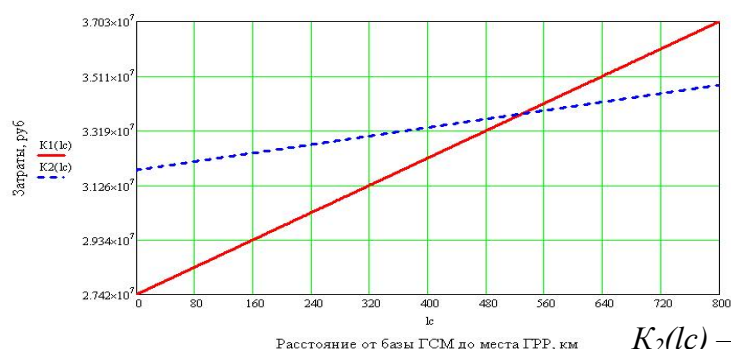


Рис. 14. Влияние расстояния от базы ГСМ до места ведения работ, на затраты при передвижном характере ведения работ. $K_1(lc)$ - традиционный вариант энергоснабжения; $K_2(lc)$ - вариант энергоснабжения от ВДЭК.

Анализ полученных графиков построенных с помощью предложенной модели наглядно показывает, что представленная модель позволяет выявить влияния основных технических региональных и экономических факторов влияющих на эффективность буровых работ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Основные результаты выполненных исследований сводятся к следующему.

1. Анализ систем энергоснабжения буровых работ позволил выявить те основные направления совершенствования локальных энергетических систем, которые в большей степени влияют на эффективность работ.
2. Исследование энергетических параметров технологических потребителей дало возможность на основе научного подхода разработать адаптированные, с учётом особенностей геологоразведочных работ, методы определения энергетических нагрузок, оценить их величину, продолжительность, возможность их полной или частичной компенсации за счёт ВДЭК.
3. Разработаны схемы гибридных ветро-дизельных энергетических комплексов буровых установок и алгоритмов согласования элементов ВДЭК применительно к характерам нагрузок и условиям ведения ГРП, что позволило добиться максимальной производительности комплекса.
4. Разработаны методики определения величины приведённых затрат от технико-экономических факторов при использовании гибридных ветро-дизельных энергетических комплексов для различных условий и характеров ведения работ, что позволяет количественно и качественно оценивать достигаемый экономический эффект.
5. Предложена методика определения наиболее оптимального ВА для ВДЭК основанная на максимальной выработке электроэнергии в каждом конкретном регионе с учётом особенностей ВА и согласования вырабатываемой и потребляемой электроэнергии.
6. Получены зависимости величины приведённых затрат от технико-экономических факторов основных систем энергоснабжения, позволяющие определить величину текущих затрат по вариантам и на этой основе выделить оптимальный в данных условиях вариант энергоснабжения, т.е. тот, затраты по которому минимальны, что позволяет оценить влияние топливной составляющей на проект энергоснабжения буровых работ и наметить пути к её снижению.
7. Разработана и опробована при различных условиях, технико-экономическая модель систем энергоснабжения буровых работ, которая на более высоком научном уровне позволяет решать вопрос эффективного энергоснабжения технологических потребителей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ивченко И. А., Меркулов М. В. Основные положения к разработке энергетических комплексов для буровых работ на основе дизельных электростанций и ветроагрегатов. М.: «Горный информационно-аналитический бюллетень». №8, 2012. Деп. №913/08-12 от 14.05.2012.
2. Ивченко И. А., Меркулов М. В., Куликов В. В. Энергетические нагрузки на буровых работах и возможность повышения их эффективности за счет использования ветро-дизельных комплексов энергоснабжения. М.: «Горный информационно-аналитический бюллетень». №8, 2012. Деп. №914/08-12 от 14.05.2012.
3. Ивченко И. А., Меркулов М. В., Пападичев Д. А., Косьянов В. А. . Методика экономической оценки ветродизельных систем энергоснабжения буровых и горно-разведочных работ. М.: Известия ВУЗов «Геология и разведка» № 3, 2012.
4. Лимитовский А. М., Меркулов М. В., Косьянов В. А., Ивченко И. А. Особенности обоснования оптимальных систем энергоснабжения геологоразведочных работ в современных условиях. М.: "Разведка и охрана недр" № 6 2010.
5. Лимитовский А. М., Меркулов М. В., Ивченко И. А., Косьянов В. А. Перспективы использования возобновляемых источников энергии на геологоразведочных работах. М.: "Разведка и охрана недр" № 8 2010.
6. Ивченко И. А. Моделирование ветро-дизельных комплексов энергоснабжения на геологоразведочных работах. Тезисы VII Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», М.: МГРИ-РГГРУ, 2012.
7. Ивченко И. А., Лимитовский А. М., Меркулов М. В. Оптимизация энергетических комплексов геологоразведочных работ на основе использования возобновляемых источников энергии. Тезисы XI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Н.Новгород, 2011.
8. Ивченко И. А. Меркулов М. В., Оптимизация энергетических систем ГРП на основе ветро-дизельных комплексов. X Международная конференция, «Новые идеи в науках о Земле», М.: РГГРУ, 2011.
9. Ивченко И. А., Меркулов М. В. Повышение эффективности геологоразведочных работ за счёт использования ветро-дизельных комплексов энергоснабжения. Тезисы VI Международнойнаучной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодые наукам о Земле» МГРИ-РГГРУ 2012.
10. Меркулов М. В. Ивченко И. А. Биоэнергетика и её потенциал в энергетическом секторе. Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие

11. Меркулов М. В. Ивченко И. А. Возможность использования ВИЭ в России. Энергия ветра, солнца, биомассы, VIII Международной научной конференция «Новые идеи в науках о Земле», Т. 6. М., МГГРУ, 2007.
12. Меркулов М. В. Ивченко И. А. Совершенствование систем энергоснабжения ГРП на основе использования возобновляемых источников энергии, Научно-практическая конференция, М.: РГГРУ, 2008.
13. Меркулов М. В. Ивченко И. А. Обоснование оптимальной мощности ветроагрегата для конкретных климатических условий, IX Международная конференция, «Новые идеи в науках о Земле», М.: РГГРУ, 2009.
14. Меркулов М. В. Ивченко И. А. Совершенствование систем возобновленных источников энергии, Международная конференция, «Новые идеи в науках о Земле», М.: РГГРУ, 2010.