

**И.А. Ивченко, М.В. Меркулов, В.В. Куликов**

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА БУРОВЫХ РАБОТАХ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Дальнейшее развитие геологоразведочных работ связано с освоением удаленных и труднодоступных территорий России, в которых сосредоточены многочисленные месторождения полезных ископаемых, находящихся на различных стадиях освоения и разработки. Большинство этих территорий расположены в районах с суровыми климатическими условиями – Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север, относящихся к зонам децентрализованного электроснабжения. Доля затрат на энергоснабжение в этих условиях может достигать 50% от общего финансирования. Для автономного энергоснабжения на геологоразведке, обычно используются автономные дизельные (ДЭС) или бензиновые электростанции. Это требует сезонную или круглогодичную доставку топлива к месту работ, что значительно повышает затраты и себестоимость энергии. 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 буровых работ.

**Ключевые слова:** повышение эффективности буровых работ; совершенствование систем энергоснабжения; применение ветро-дизельных комплексов энергоснабжения на геологоразведочных работах.

---

**Г**еологоразведочные работы (ГРР) все чаще и чаще проводятся в труднодоступных и удаленных от централизованного энергоснабжения районах. Основным источником энергоснабжения в таком случае для буровых установок являются дизельные электростанции потребляющие дорогое дизельное топливо. Бурение геологоразведочных скважин осуществляется буровыми установками различных типов, при этом в процессе бурения характерна неравномерность нагрузок.

В условиях Северо-Востока выделяют два типа месторождений: коренные и россыпные, методика и техника разведки которых принципиально отличаются друг от друга.

При разведке россыпных месторождений характерна большая разоб-

щенность потребителей и подвижный характер работ. Разведка россыпных месторождений ведется на небольшой глубине скважин (15–25 м) самоходными установками ударно-канатного бурения небольшой установленной мощностью ( $P_m = 22$  кВт). Установленная мощность энергопотребителей участка составляет 40–45 кВт. Источником теплоты являются печи, встроенные в передвижные емкости с промывочной жидкостью. Расход угля в зимний период составляет около 4 т, а в летний – 2 т в месяц.

Удаленность участков работ на значительные расстояния друг от друга исключают возможность получения энергии от централизованных систем энергоснабжения. В таком случае, применяется энергообеспечение от

индивидуальных энергоисточников небольшой мощности.

Для разведки коренных месторождений используются буровые установки колонкового бурения типа СКБ-4, СКБ-5, ЗИФ-650м, отмечается большая глубина бурения, а соответственно большая мощность технологических потребителей и длительные сроки разведки. Установленная мощность электрооборудования составляет 35–60 кВт. Потребителями теплоты являются здания буровой установки и емкость с промывочной жидкостью (зумпф). Для получения теплоты применяются теплоэлектронагреватели (ТЭН) и индивидуальные печи [5]. Участки могут получать электроэнергию от ЦДЭС на базе экспедиции. Причем база экспедиции, как правило, располагается либо на месторождении, в центре нагрузок, либо в непосредственной близости от него [3].

Использование гибридных систем энергоснабжения основанных на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) на буровых работах позволит в значительной степени сократить затраты связанные с энергоснабжением объектов ГРР и определить разнообразные варианты применения того или иного ВИЭ, для конкретного региона, применяемого оборудования.

Под гибридной системой энергоснабжения подразумевается совместное использование традиционного источника энергии и возобновляемого. В большинстве случаев в качестве традиционного источника энергии используется бензо или дизель-генератор (ДГ), а в качестве возобновляемого солнечные панели и ветроэлектрические установки (ВЭУ).

Целью использования гибридных систем энергоснабжения является экономия дорогого органического топли-

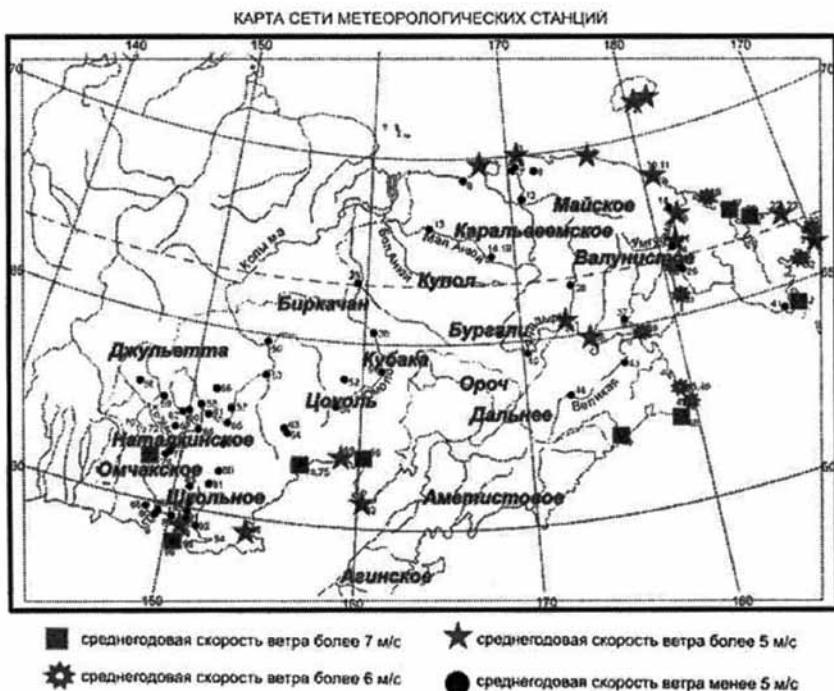


Рис. 1. Карта сети метеорологических станций Магаданской области и Чукотского национального округа с основными месторождениями региона [6]



**Рис. 2. Энергетический баланс буровых установок ударно-канатного и колонкового бурения**

ва за счет использования одного или нескольких ВИЭ для достижения максимальной производительности.

На данный момент самым перспективным и дешевым из ВИЭ является ветер, который распространен повсеместно.

Анализируя разнообразные ВИЭ с точки зрения стадии освоения, перспективности использования, экономической целесообразности, климатических особенностей распространения, особенностей характера ведения буровых работ и т.д., можно сделать вывод о том что, на данный момент самым приемлемым и перспективным вариантом гибридной системы энергоснабжения буровых работ является ветро-дизельный комплекс (ВДК), обладающий относительной простотой, надежностью по сравнению с другими вариантами гибридных систем, который в зависимости от характера ведения работ может выполняться передвижным или стационарным.

В большинстве регионов наблюдаются значительные сезонные изме-

нения ветровых потоков. Причем в зимние месяцы скорость ветра обычно выше, чем летом, а соответственно выработка электроэнергии ветроагрегатами в зимние месяцы будет больше, что сможет в значительной степени сократить расходы топлива на отопление буровых зданий и согласованно вписаться в графики нагрузок геологоразведочных предприятий.

В перспективных для применения ветроэнергетических установок (ВУ) регионах, среднегодовая скорость ветра должна быть от 5–6 м/с и более.

Территория РФ располагает значительными ресурсами ветровой энергии, они сосредоточены главным образом в тех регионах где отсутствует централизованное энергоснабжение, где содержится большое количество разнообразных полезных ископаемых и, соответственно проводятся различные геологические изыскания (рис. 1).

Сопоставляя долю электроэнергии и теплоты в общем энергобалансе буровой установки, становится очевидным преобладание теплоты [3].

При бурении геологоразведочных скважин потребляется как электрическая, так и тепловая энергия, что дает возможность более широкого применения ВДК, так как при бурении геологоразведочных скважин примерно половина потребляемой энергии расходуется на выработку тепла и не требует высокого качества ее выходных параметров (стабильности частоты и напряжения), что нередко бывает при работе ВА в изменчивом и непостоянном ветровом потоке. А применение при этом ВА без дополнительных преобразующих устройств (инверторов), в разы снижает себестоимость вырабатываемой электроэнергии.

Выбор оптимальной системы энергоснабжения оказывает непосредственное влияние на эффективность буровых работ, поэтому для возможности обеспечения нагрузок за счет

ВДК необходимо знать характер распределения этих нагрузок в процессе бурения.

Сопоставляя расход электроэнергии потребляемой двигателем буровой установки в процессе бурения геологоразведочной скважины с количеством электроэнергии вырабатываемым ВА для данного района, входящим в ВДК, можно судить о возможности полного или частичного обеспечения необходимой мощности.

Так как базы и геологоразведочные поселки основываются на длительный срок и не носят передвижного характера ведения работ, то они являются наиболее привлекательными для использования ВДК, при этом возможно использование стандартных схем ВДК для промышленных объектов, т.к. энергопотребление стационарных объектов ГРР не сильно отличается от энергоснабжения промышленных и гражданских объектов. Этот фактор оказывает значительное влияние на финансирование систем энергоснабжения в сторону снижения, т.к. не требует разработки новых схем

и проведения дополнительных расчетов.

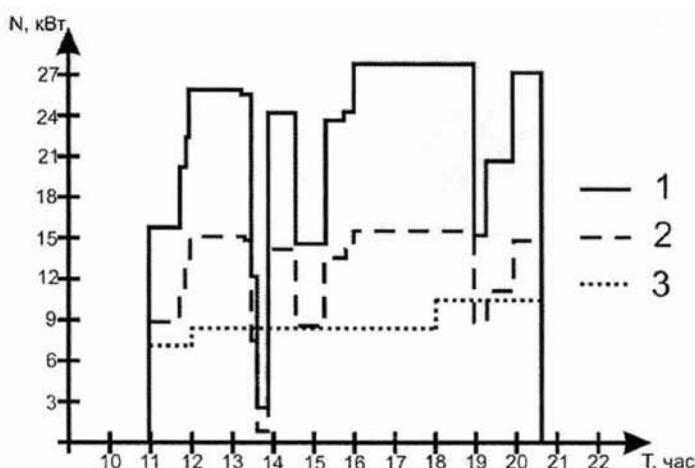
При энергоснабжении буровых работ в зависимости от характера их ведения можно выделить следующие схемы гибридных систем энергоснабжения:

- ВИЭ – передвижная дизельная установка;
- ВИЭ – стационарная дизельная установка;
- комплекс ВИЭ поселка, работающих совместно с ДЭС.

В качестве ВИЭ может быть использована энергия солнца, ветра, биомассы и т.д., но как отмечалось ранее, использование ветра в качестве ВИЭ является наиболее перспективным направлением при энергоснабжении буровых работ.

В общем случае основными элементами гибридных систем энергоснабжения являются:

- установки получающие энергию от ВИЭ;
- аккумуляторные батареи;
- инвертор;
- коммутационная аппаратура и аппаратура управления;



**Рис. 3. 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 – Вырабатывающая электроэнергия ВА

- традиционный источник энергии.

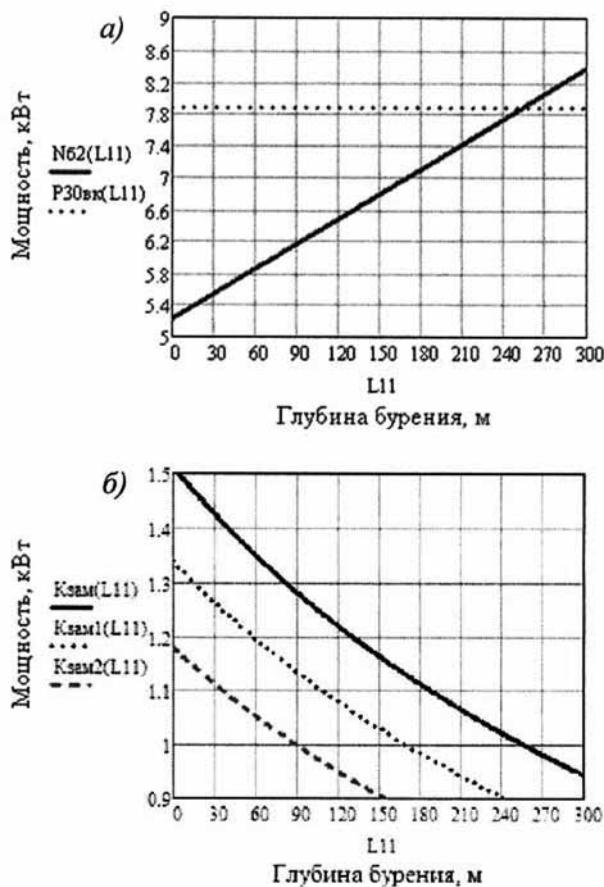
Для эффективного использования ВДК в системе энергоснабжения при бурении геологоразведочных скважин, необходимо сопоставить график нагрузки буровой установки в процессе бурения с графиком выработки электроэнергии ветроагрегатом для конкретного района ведения работ.

Анализируя совмещенный суточный график нагрузок при бурении геологоразведочной скважины буровой установкой УКБ-4 и выработка электроэнергии ВА Н-30 00Т (рис. 3), можно сделать вывод о неравномерности нагрузки в течение процесса бурения, больших кратковременных скачках в потребляемой мощности.

Однако справедливо полагать, что при меньших нагрузках, соответствующих меньшей глубине скважины, меньшей частоте вращения и осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент (ПРИ), ВА способен полностью компенсировать 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 ВДК.

Согласно методике ВИТРА, весь диапазон частот вращения бурового станка по энергозатратам можно разделить на 2 диапазона – низкоо-



**Рис. 4. Совмещенный график зависимости мощности при бурении от глубины скважины, с выработкой мощности ВА Н-30 00Т (а); изменение отношения электроэнергии, выработанной ВА и потребляемой буровым станком при увеличении глубины бурения (б).**  $N_{62}(L_{11})$  – мощность двигателя, расходуемая на бурение скважины, кВт;  $P_{30\text{кв}}(L_{11})$  – мощность вырабатываемая ВА Н30000Н, кВт;  $K_{\text{зам}}(L_{11})$ ,  $K_{\text{зам}1}(L_{11})$ ,  $K_{\text{зам}2}(L_{11})$  – отношение электроэнергии, выработанной ВА при скорости ветра 7,5; 7,2; 7,0 м/с и потребляемой буровым станком УКБ-5П

боротное ( $n < n_0$ ) и высокооборотное ( $n > n_0$ ) бурение. Мощность, расходуемая на бурение геологоразведочных скважин, может быть определена по формуле [4]:

$$N_b = N_a + N_T + N_{CT}; \quad (1)$$

где  $N_a$  – мощность расходуемая на забое скважины, кВт;  $N_T$  – мощность расходуемая на вращение колонны

бурильных труб в скважине, кВт;  $N_{ct}$  – мощность расходуемая в трансмиссии и других узлах бурового станка, кВт.

Мощность ВА определяется его параметрами и скоростью ветра [7]:

$$N_{BA} = P(v(t)), \text{ кВт}$$

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.

$$\frac{\int_0^t P(v(t))dt}{\int_0^t N_{62}(n, L)dt} \quad (2)$$

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

Ниже представлена формула потребляемой мощности буровой установкой УКБ-5П, при высокооборотном бурении алмазными коронками диаметром 59 мм ( $n = 410$  об/мин;  $n_0 = 177,778$  об/мин).

$$N_{62}(L_{11}) = 2 \cdot 10^{-4} PnD_{cp} + \\ + k_c (2,0 \cdot 10^{-6} q\delta_1 n^2 +$$

$$+ 0,8 \cdot 10^{-3} qd^2 n) L_{11} + \\ + 2,45 \cdot 10^{-4} \delta_1 Pn + B_c n; \quad (3)$$

$$P_{30_{BK}}(L_{11}) = 4,81 b_{ba}^2 v^3 \xi_2 \cdot 10^{-4} \cdot j_1, \quad (4)$$

где  $P$  – осевая нагрузка на коронку даН;  $n$  – частота вращения коронки об/мин;  $D_{cp}$  – средний диаметр коронки, м;  $k_c$  – коэффициент учитывающий влияние смазки и промывочной жидкости;  $q$  – масса 1 м бурильной колонны;  $\delta_1$  – радиальный зазор, м;  $d$  – наружный диаметр бурильных труб, м;  $L_{11}$  – глубина скважины, м;  $B_c$  – опытный коэффициент, характеризующий переменные потери в станке кВт·мин/об.;  $b_{ba}$  – диаметр лопасти ВА, м;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\xi$  – коэффициент использования ветра;  $j_1$  – число ВА.

На рис. 4, а приводится график выработки электроэнергии 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.

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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Гланц А.А., Чайкин А.С. Передвижные и стационарные электростанции в геологоразведочных организациях. – М., Недра, 1984. – 246 с.

2. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение ГРР. – М.: РУДН, 2009. – 345 с.

3. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А., Ивченко И.А. Особенности

обоснования оптимальных систем энергоснабжения геологоразведочных работ в современных условиях // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 6.

4. Михайлова Н.Д. Техническое проектирование колонкового бурения. – М.: Недра, 1985. – 199 с.

5. Меркулов М.В. Оптимизация энергетических комплексов при бурении геолого-

разведочных скважин в условиях Крайнего Севера. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 2008. – 276 с.

6. Справочник по климату СССР, вып. 33 ч. III. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 349 с.

7. Шертер Я.И. Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергогатомиздат, 1983. – 200 с. ГИАБ

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

Ивченко И.А. – старший преподаватель,

Меркулов М.В. – доктор технических наук, профессор,

Куликов В.В. – доктор технических наук, профессор,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, e-mail: office@mgri-rggru.ru.

---

UDC 622.32:622. 24

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА БУРОВЫХ РАБОТАХ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Ivchenko I.A., Senior Lecturer,

Merkulov M.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,

Kulikov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,

Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU),

e-mail: office@mgri-rggru.ru.

---

*Further development of geological prospecting works is connected with development of remote and remote territories of Russia in which the numerous mineral deposits, being at various stages of development and development are concentrated.*

*The majority of these territories are located in areas with severe climatic conditions – Siberia, the Far East, Far North, relating to zones of the decentralized power supply. The share of expenses for power supply in these conditions can reach 50% from the general financing. For independent power supply on geological exploration, independent diesel (DES) or petrol power plants are usually used. It demands seasonal or all-the-year-round delivery of fuel to a place of works that considerably raises expenses and prime cost of energy. Application of renewables (VIE) as a part of independent systems of power supply allows to lower a fuel component in prime cost of the developed electric power, thereby it is essential to reduce costs of power supply of object and to increase technical and economic efficiency of chisel works.*

*Key words: increase of efficiency of chisel works; improvement of systems of power supply; application of vetro-diesel complexes of power supply on geological prospecting works.*

## **REFERENCES**

1. Alekseev V.V., Glants A.A., Chaikin A.S. *Peredvizhnye i statcionarnye elektrostantsii v geologorazvedochnykh organizatsiyakh* (Mobile and stationary electric power plants in mineral exploration), Moscow, Nedra, 1984, 246 p.
2. Limitovskii A.M., Kos'yanov V.A. *Elektrooborudovanie i elektrosnabzhenie GRR* (Electric equipment and power supply in mineral exploration), Moscow, RUDN, 2009, 345 p.
3. Limitovskii A.M., Merkulov M.V., Kos'yanov V.A., Ivchenko I.A. *Razvedka i okhrana nedr* (Exploration and conservancy of mineral wealth), 2010, no 6.
4. Mikhailova N.D. *Tekhnicheskoe proektirovanie kolonkovogo bureniya* (Preliminary design of core bit), Moscow, Nedra, 1985, 199 p.
5. Merkulov M.V. *Optimizatsiya energeticheskikh kompleksov pri burenii geologorazvedochnykh skvazhin v usloviyakh Krainego Severa* (Optimizing power complexes in exploration drilling in the far north conditions), Doctor's thesis, Moscow, 2008, 276 p.
6. *Spravochnik po klimatu SSSR*, вып. 33, ч. III (USSR climate reference guide, issue 33, part III), Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1968, 349 p.
7. Sherter Ya.I. *Ispol'zovanie energii vетра*. 2-е изд. (Wind energy utilization, 2nd edition), Moscow, Energoatomizdat, 1983, 200 p.