

УДК 621.311.24

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ВЭУ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

*А.З. Кулганатов, А.А. Мирошниченко,
Е.М. Гордиевский, Е.А. Сироткин*

В статье рассматривается возможность применения ветроэнергетической установки для электроснабжения объектов нефтедобычи. В качестве альтернативы в сравнительном анализе используется дизельный генератор, являющийся на сегодняшний день основным источником энергии для отдаленных от единой электрической сети объектов. Проведены расчеты капитальных затрат и стоимости одного киловатт-часа электроэнергии.

Ключевые слова: децентрализованные потребители, нефтедобыча, системы электроснабжения, ветроэнергетические установки, дизельный генератор.

Введение

Россия является одним из лидеров в экспорте нефти и газа в мировом сообществе. За первые 8 месяцев 2019 года добыча нефти с газовым конденсатом увеличилась на 1,8 % по сравнению с аналогичным периодом 2018 года, экспорт нефти в 2019 году увеличился на 5,8 % [1].

Разведка новых месторождений газа и нефти ведется в районах, удаленных от единой системы электроснабжения. Такие факторы, как рассредоточение месторождений углеводородов, отсутствие доступной транспортной инфраструктуры, сложный рельеф местности, суровые климатические условия ставят перед энергетическими компаниями сложную задачу: выбор наиболее экономически выгодной системы электроснабжения объектов нефтедобычи. Начальные вложения в геологоразведку месторождений и будущая прибыль компании напрямую связаны с выбором системы электроснабжения объекта. По статистике, доля затрат на энергоснабжение месторождения может составлять более 20 % от общей прибыли энергетической компании. Таким образом, выбор оптимальной системы электроснабжения оказывает существенное влияние на продуктивность работ по добычи нефти, а также рентабельность самого месторождения. Также необходимо отметить значимость обеспечения бесперебойного электроснабжения объектов нефтедобычи. Большинство таких объектов относят к 1 или 2 категории по надежности электроснабжения согласно ПУЭ. То есть отключение подачи электрической энергии могут привести к значительным убыткам, угрозе жизням людей и технологическому процессу. Для месторождений, расположенных в Западной Сибири (в условиях низких температур) остановка добычи в течение нескольких часов влечет за собой проведение для части скважин капи-

тального ремонта. Помимо этого, в виду того, что обводнённость большинства скважин более 50%, а месторождения нефти чаще всего находятся в регионах, где среднегодовая температура ниже 0 °С, при сбоях в электрообеспечении существует угроза замерзания нефтепроводов. Действия по восстановлению работоспособности оборудования объектов нефтедобычи требуют больших финансовых и временных затрат. Электрообеспечение объектов нефтедобычи должно быть не только бесперебойным, но и качественным. Подача электроэнергии, которая не соответствует российским и международным стандартам, приводит к ложному срабатыванию систем автоматизации и защиты электроэнергии, потере активной мощности в линиях электропередач и дополнительным активным потерям в электрических машинах, а также к повышению температуры и перегрева, что может привести к выходу из строя оборудования [2]. В течение последних нескольких лет практически все энергетические компании создают и реализуют программы по поиску новых дешёвых и качественных источников электроэнергии. Аналогично этому, компании по нефтедобыче и геологоразведке также заинтересованы в подобных генерационных установках.

Обеспечение электроэнергией от единой энергосистемы для объектов нефтедобычи в виду огромных затрат на подключение и эксплуатацию систем центрального электрообеспечения считается экономически не выгодным, а в виду труднодоступности и сложности рельефа в некоторых случаях технически не осуществимым. Альтернативными и перспективными вариантами в этом случае является производство электроэнергии непосредственно в местах её потребления, т. е. использование автономных источников энергии. Собственная генерация электроэнергии на объектах нефтедобычи обусловлена несколькими достоинствами:

1. Снижение себестоимости продукции вследствие снижения затрат на электроэнергию за счет использования ВИЭ, сжигание тяжелых остатков переработки (мазут, асфальтены) на нефтеперерабатывающих заводах, сжигание попутного газа.

2. Устранение затрат на передачу электроэнергии по магистральным и распределительным электрическим сетям. Следует отметить, что услуги на передачу и сбытовая надбавка может составлять до 60 % от конечного тарифа на электроэнергию для предприятий.

3. Ликвидация затрат, связанных с платой за резерв за заявленную мощность при условии присоединения к центральной системе электрообеспечения.

4. Обеспечение стабильного электрообеспечения независимо от ограничения электропотребления от внешних сетей

В настоящее время собственными источниками электроэнергии на объектах нефтедобычи являются дизельные электростанции, ветрогенераторы, газопоршневые электростанции, фотоэлектрические панели, а также ком-

бинированные системы электроснабжения на базе ВИЭ. Каждая из данных установок имеет свои преимущества и недостатки. Например, дизельный генератор является самым распространенным источником энергоснабжения отдаленных потребителей ввиду надежности электроснабжения, отсутствия достойных современных аналогов и простоте обслуживания. Недостатками являются зависимость от поставки топлива (что особенно заметно в отдаленных территориях с неразвитой инфраструктурой, неэкологичность, шум и др. Генерационные установки на базе ВИЭ являются экологически чистыми, независимыми от поставок топлива. Но главный их минус заключается в непостоянстве во времени и необходимости накапливания энергии для повышения надежности электроснабжения. Поэтому, в каждом конкретном случае целесообразно проводить оценку эффективности и экономичности того или иного источника.

Сравним экономическую выгоду применения дизельной электростанции (ДЭС) и ветроэнергетической установки для энергоснабжения оборудования объектов нефтедобычи.

Для экономического сравнения двух видов генерации энергии, определимся с требуемой мощностью. Условимся что для электроснабжения электроприемников операторных, административно-бытовых корпусов объекта нефтедобычи достаточно энергоисточника мощностью 5 кВт, данные электроприемники согласно [3], относятся к третьей категории по надежности. На основе анализа [3], был сделан вывод о том, что, на сегодняшний день применять установки на базе ВИЭ для электроснабжения объектов нефтедобычи второй категории надежности и выше не представляется возможным.

Экономический расчет дизельного генератора

Сейчас в России 95 % электроэнергии в местах добычи нефти генерируется дизельные электростанции (ДЭС). Однако, ввиду удаленности и труднодоступности месторождений нефти доля затрат на топливо в себестоимости вырабатываемой энергии может достигать 70 %.

Для правильного расчета экономической применимости дизель генератора выберем реально существующий дизельный генератор TSS SGG 5000EH мощностью 5 кВт. Технические характеристики генератора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики дизельного генератора

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	5
Ресурс двигателя, мотор-час	20000
Расход топлива, л/ч	1,9
Номинальный ток, А	21
Напряжение, В	220 (230)
Частота, Гц	50

Основным параметром, по которому будет произведена оценка экономической эффективности как дизельного генератора, так и ветроэнергетической установки, будет стоимость кВт/ч энергии для каждого источника.

Для расчета стоимости 1 кВт/ч энергии необходимо рассчитать мощность Q , которую выработает генератор за все время работы:

$$Q = P_H \cdot T$$

где P_H – номинальная мощность дизель генератора, T – ресурс двигателя.

Таким образом получаем:

$$Q = 5 \text{ кВт} \cdot 20000 \text{ ч} = 100000 \text{ кВт} / \text{ч}$$

Просчитаем расходы на покупку дизельного топлива за все время работы дизель генератора

$$N_D = T \cdot S \cdot P_D.$$

где, S – расход дизельного топлива в час, P_D – цена одного 1 л топлива

$$N = 20000 \cdot 1,9 \cdot 46 = 1748000.$$

Отметим, что авторами в расчете была выбрана относительно невысокая стоимость топлива без учета ежегодного роста цены и инфляции. Далее рассчитаем расход моторного масла за все время работы, при условии замены каждые 250 моточасов:

$$N_M = \frac{T}{250} \cdot P_M,$$

где, P_M – цена 1 л моторного масла

$$N_M = \frac{20000}{250} \cdot 450 = 36000.$$

В статью расходов была добавлена стоимость доставки топлива. Способы доставки топлива для работы отдаленных дизельных электростанций весьма разнообразны. Они зависят от удаленности и состояния дорожно-транспортной сети. Сбор, обобщение и анализ информации о затратах на доставку топлива различными видами транспорта позволили установить, что цены на топливо возрастают при перевозках автомобилями в 1,2–1,5 раза, морскими судами – в 1,3–1,8 раза, бездорожным транспортом – в 1,5–2,5 раза, а при использовании авиации – в 3 раза и более по отношению к отпускной цене на опорных базах топливоснабжения.

Для расчета 1 кВт/ч энергии разделим все затраты, включающие в себя операции по техническому обслуживанию стоимость дизельной установки, транспортные расходы, расходы на покупку смазочного и дизельного топлива на общую выработку электроэнергии итого получаем:

$$F_{DG} = \frac{N_D + N_M + W_{DG} + w_{DG} + D}{Q}$$

где, W_{DG} – стоимость дизельного генератора, w_{DG} – эксплуатационные расходы, D – стоимость доставки дизельного топлива (согласно [3], равна 2170000 рублей)

$$F_{DG} = \frac{1748000 + 36000 + 61000 + 4500 + 2170000}{100000} = 40,195 \text{ руб.}$$

В результате расчета была получена цена 1 кВт/ч энергии, произведенного с помощью дизель генератора, что составляет 40,195 рублей. Однако данная цифра достаточно оптимистична и может быть значительно больше, учитывая неучтенные авторами факторы. Видно, что основными составляющими являются затраты на доставку топлива.

В заключение расчета отметим, что применение дизельных генераторов в качестве основного источника энергии для электроснабжения объектов в мире снижается, они не эффективны с экономической точки зрения, а также наносят большой вред окружающей среде. При сжигании дизельного топлива выделяются много вредных веществ, среди которых присутствует CO₂, который вызывает загрязнение воздуха, повышает температуру в мире, и повреждает озоновый слой. Кроме того, запасы нефти непрерывно снижаются, и стоимость дизельного топлива растет. Несмотря на многочисленные недостатки дизельных генераторов, в комбинации с другими источниками энергии, в качестве резервного источника питания они являются хорошим решением для обеспечения высокой надежности энергосистемы.

Экономический расчет ВЭУ

Территория РФ располагает значительными ресурсами ветровой энергии. Ветровые зоны с наибольшим энергетическим потенциалом расположены в основном на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки. Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % – в Северном экономическом районе, около 16 % – в Западной и Восточной Сибири. В данных регионах находится большая часть нефтяных месторождений России.

К основным достоинствам ВЭУ относятся отсутствие вредных выбросов в процессе производства электроэнергии, хотя производство, транспортировка и установка ветряных турбин постепенно способствуют глобальному потеплению, само производство электроэнергии никак не способствует выбросу парниковых газов; низкая стоимость производимой энергии. Главным недостатком ВЭУ в качестве основного источника питания, как и у всех «зеленых источников энергии» является их непостоянство выработки и зависимость от погодных условий. Срок окупаемости ветрогенератора является основным критерием, которым руководствуются нефтяные компании при его покупке. Этот период зависит от уровня ветрового ресурса, стоимости оборудования и производительности турбины.

Для экономического расчета ВЭУ также выберем реально существующую модель KW-48V LOW WIND, технические характеристики которой представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики ВЭУ

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	5
Максимальная мощность, кВт	7
Номинальная скорость ветра, м/с	8
Стартовая скорость ветра, м/с	3
Тип генератора	трехфазный, на постоянных магнитах
Срок службы, лет	15 лет
Рабочая скорость, м/с	3-30

Рассчитаем выработку электроэнергии для среднегодовой скорости ветра по формуле:

$$Q_w = P_{уст} \cdot T,$$

где $P_{уст}$ – установленная мощность ВЭУ, T – расчетное время работы ВЭУ

$$P_{уст} = P_{МЕХ} \cdot \eta_{ГЕН} \cdot \eta_{ИНВ},$$

где $P_{Мех}$ – механическая мощность ветроколеса, $\eta_{ГЕН}$ – коэффициент полезного действия генератора (в данной работе, принимаем 0,8), $\eta_{ИНВ}$ – коэффициент полезного действия инвертора.

Механическую мощность ветроколеса находим по формуле:

$$P_{МЕХ} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot 10^{-3}$$

где, C_p – коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ), ρ – плотность воздуха, при стандартных условиях принимается $1,225 \text{ кг/м}^3$, S – площадь ометаемая ветроколесом, v – скорость ветра.

КИЭВ зависит от типа ветродвигателя, качества его изготовления, от профиля лопасти и от степени ее шероховатости, а также от соотношения между скоростью вращения лопастей и скоростью ветра, называемым коэффициентом быстроходности. КИЭВ у современных ВЭУ, имеющих лопасти с аэродинамическим профилем, равен 0,43–0,47. В данной работе КИЭВ примем 0,43.

Площадь, ометаемую ветроколесом, можно рассчитать по формуле:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

где, D – диаметр ветроколеса.

Тогда,

$$S = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,26 \text{ м}^2$$

В расчете будем принимать среднегодовую скорость ветра на Западно-Юбилейное нефтяном месторождении, (месторождение расположено в Надымском районе Ямало-Ненецкого АО, в 100 км северо-западнее г. Надым.

В географическом плане месторождение находится на Ненецкой возвышенности, в приполярной зоне водораздельного участка р. Ныда) $v = 5,9$ м/с.

Тогда механическая мощность ветроколеса равна:

$$P_{MEK} = \frac{1}{2} \cdot 0,43 \cdot 1,225 \cdot 28,26 \cdot 5,9^3 \cdot 10^{-3} = 1,68 \text{ кВт}.$$

Выбор инвертора проведем на основании модельного МАП «Энергия» SIN. Оптимально подходящим для нас вариантом является инвертор МАП-SIN 48 12 кВт Pro HYBRID. Некоторые технические характеристики инвертора приведены в табл. 3.

Таблица 3
Технические характеристики инвертора

Параметр	Значение
Максимальная мощность, кВт	9
$U_{вх}$, В	48
$U_{вых}$, В	220
КПД, %	96

После нахождения всех неизвестных, найдем установленную мощность ВЭУ

$$P_{уст} = 1,68 \cdot 0,8 \cdot 0,96 = 1,29 \text{ кВт}.$$

Для правильности результата расчетный период работы ВЭУ, примем таким же как для дизельного генератора. Количество электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, напрямую зависит от скорости ветра в месте установки, в данной работе вырабатываемая энергия была рассчитана для скорости ветра 5,9 м/с

$$Q_w = 1,29 \cdot 20000 = 25843,57.$$

Для расчета стоимости кВт/ч энергии воспользуемся следующей формулой:

$$F_w = \frac{W_w + w_w + W_{ИНВ}}{Q_w},$$

где, W_w – стоимость ВЭУ, w_w – эксплуатационные расходы, $W_{ИНВ}$ – стоимость инвертора.

$$F_w = \frac{299000 + 5000 + 100900}{25843,57} = 15,66.$$

Итого получаем себестоимость одного кВт/часа энергии, полученного с помощью ВЭУ равна 15,66 рубля.

Заключение

В статье представлен анализ экономической эффективности использования ВЭУ и дизель генератора для электроснабжения объектов нефтедобычи. Показано, что ВЭУ конкурентоспособны, а в связи с все более строгими законами в области экологии набирают все большую популярность у

российских нефтедобывающих компаний. При текущих ценах на дизельное топливо применение ветрогенераторов эффективно, даже если среднегодовая скорость ветра является относительно низкой (около 4,5 м/с). В периоды сильного ветра некоторое количество энергии, вырабатываемой ветряными турбинами, оказывается избыточным, следовательно, его можно запасать и использовать в безветренную погоду.

Библиографический список

1. Об использовании комбинированных установок на базе ВИЭ для электроснабжения ответственных потребителей / А.А. Мирошниченко и др. // Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии: сб. науч. статей по итогам работы третьего международного круглого стола. – 2019. – С. 30–32.
2. Внедрение комбинированных установок на базе ВИЭ в процессы нефтедобычи и геологоразведочных работ / А.З. Кулганатов и др. // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. статей по итогам десятой международной научной конференции. – 2019. – С. 245–248.
3. Устинов, Д.А. Обоснование схем электроснабжения удаленных районов нефтегазодобычи / Д.А. Устинов, А.В. Турышева, И.Г. Плотников // Записки Горного института. – 2012. – № 196. – С. 277–280.

[К содержанию](#)