

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

УДК 621.65

МРНТИ 55.39.37

**М. Е. Баймиров**, д.т.н., **К. И. Мухамбеткалиев**, к.т.н.,  
**К. К. Куспанова**, к.т.н.

Атырауский институт нефти и газа

## ВЕТРОПРИВОД ШТАНГОВОГО НАСОСА ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ

---

Рассмотрена возможность снижения затрат на электроэнергию, потребляемую из сети центрального электроснабжения глубинным штанговым насосом. Это достигается тем, что глубинный штанговый насос дополнительно снабжается ветроагрегатом, включаемым и отключаемым через обгонную муфту.

**Ключевые слова:** ветроагрегат, штанговый насос, обгонная муфта.



Мақала терең штангалы насостың орталық электрмен жабдықтау желісінен алатын электр энергиясы шығынын азайтуға арналған. Бұл терең штангалы насос қосымша жол агрегатымен жабдықталған. Оның қосылуы және айырылуы қуып жететін муфта арқылы жүргізіледі.

**Түйінді сөздер:** жел агрегат, штангалы насос, қуып жететін муфта.



The article focuses on reducing the cost of electricity from a central power supply network by deep sucker rod pump. This is achieved by the deep rod pump additionally equipped with wind turbines, making and breaking through the overrunning clutch.

**Key words:** wind turbines, sucker rod pump, overrunning clutch.

Перспективным направлением сокращения электрической энергии от сети путем решения экологических проблем является использование возобновляемых источников энергии. Одним из этих источников сдужит энергия ветра. В мировой практике принято считать, что использование ветроустановок перспек-

тивно при среднегодовой скорости ветра более 5 м/с [1], поэтому в некоторых регионах РК целесообразно развивать ветровую энергетику.

На наш взгляд, в первую очередь наиболее эффективно использование ветроустановок на месторождении Кашаган, расположенном в казахстанском секторе Северного Каспия.

Освоение месторождения Кашаган в суровых морских условиях Северного Каспия представляет собой уникальное сочетание технологических сложностей и трудностей в системе снабжения, которые сопряжены с решением инженерно-технических, логистических и экологических задач.

Для предварительных оценок ветровых ресурсов необходимо введение районирования исследуемой местности по классам ветровой активности от первого до седьмого. При этом каждый класс представляет собой диапазон величин среднегодовой скорости ветра на определенной высоте (таблица) [1]. В такой терминологии районы четвертого и высших классов являются благоприятными для установки современных промышленных ветроэнергетических установок (ВЭУ). Районы третьего класса, возможно, подойдут для установки ВЭУ следующего поколения. Районы первого и второго класса не подходят для установки ВЭУ [2].

### Классы ветровой активности

Высота, м	Номер класса						
	1	2	3	4	5	6	7

#### *Скорость ветрового потока, м/с*

10	<4,4	4,4-5,1	5,1-5,6	5,6-6,0	6,0-6,4	6,4-7,0	>7,0
30	<5,1	5,1-5,9	5,9-6,5	6,0-7,0	7,0-7,4	7,4-8,2	>8,2
50	<5,6	5,6-6,4	6,4-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,8	>8,8

Определение вертикального профиля скорости ветра в диапазоне высот 5-50 м можно производить, используя экспоненциальный закон Хелмана, в соответствии с которым скорость ветра на заданной высоте определяется по формуле [3]:

$$V_{H_2} = V_{H_1} \cdot \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^b, \quad (1)$$

где  $H_1$  – высота, для которой произведена обработка статистики (как правило, 10 м);

$H_2$  – заданная высота;

$b$  – показатель, характеризующий вертикальный профиль и рельеф поверхности ( $b=0,14-0,30$ ).

Для расчета количества энергии, вырабатываемой ВЭУ, применяется следующая методика [3]. Энергией, переданной ветровым потоком ВЭУ, является энергия на валу ветроколеса.

Пусть  $E$  – энергия потока, переданная ветроколесу за время  $T$  (как правило, в расчётах используется  $T=24$  ч);

$E_U$  – часть этой энергии, переданная ветровым потоком со скоростью и в единичном скоростном интервале. Тогда

$$E = \int_{u=0}^{\infty} E_U du = \int_{u=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{2} \rho A u^3 C_p \Phi_U T \right] du, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха;

$A$  – площадь, ометаемая ветроколесом;

$C_p$  – параметр, характеризующий эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и называемый коэффициентом мощности (для идеальной ВЭУ  $C_p = C_{pmax} = 0,59$ );

$\Phi_U$  – функция распределения вероятности скорости ветра.

При обработке экспериментальных данных для суточного поступления ветровой энергии хорошее согласие с фактическим распределением вероятности ветра имеет аналитическое распределение Вэйбулла:

$$\Phi_U = \frac{k}{c} \left( \frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[ - \left( \frac{u}{c} \right)^k \right], \quad (3)$$

где  $k$  – параметр рассеяния ( $k = 1,6 + 3,0$ );

$c$  – параметр положения (как правило,  $c \approx 2 \bar{u} / \sqrt{\pi}$ ).

Если плотность воздуха считать постоянной, то для вычисления интеграла (2) необходимо знать только зависимость коэффициента  $C_p$  от скорости набегающего потока воздуха. Для этого разобьем весь скоростной диапазон на 4 характерных участка, определив скорость ветра  $u_{\min}$ , при которой ВЭУ включается;

скорость  $u_{\text{ном}}$ , при которой ВЭУ достигает номинальной мощности;

скорость  $u_{\max}$ , при превышении которой ВЭУ отключается. Тогда для  $E_U$  получим выражение:

$$E_U = \begin{cases} 0, & u < u_{\min} \\ (a \cdot u^3 + b \cdot u^2 + c \cdot u + d \cdot P_{\text{ном}}) \Phi_{U_{\min} < U < U_{\text{ном}}} T, & u_{\min} \leq u < u_{\text{ном}} \\ P_{\text{ном}} \Phi_{U_{\text{ном}} \leq U < U_{\max}} T, & u_{\text{ном}} \leq u < u_{\max} \\ 0, & u \geq u_{\max} \end{cases} \quad \text{при } u < u_{\min},$$

$$\text{при } u_{\min} \leq u < u_{\text{ном}}, \text{ при } u_{\text{ном}} \leq u < u_{\max}, \text{ при } u \geq u_{\max} \quad (4)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная (проектная) мощность ВЭУ;

$a, b, c, d$  – параметры, зависящие от технических характеристик ВЭУ.

Из соотношений (1)-(4) следует, что необходимыми входными данными для построения модели являются среднесуточные значения скорости ветра  $\bar{u}$ , м/с, на известной высоте  $H_0$ , м;

- $b$  показатель, характеризующий рельеф поверхности;
- среднегодовое значение плотности воздуха  $\rho_{\text{ср}}$ , кг/м<sup>3</sup>, характерной для исследуемого района;
- параметры различных ВЭУ.

Выходными параметрами модели являются суточные суммы ветровой энергии, которая может быть преобразована ВЭУ каждого типа в полезную работу, а также значения безразмерных параметров  $c$  и  $k$  распределения Вейбулла. Результаты сравнения модели приведены на (рис. 1).

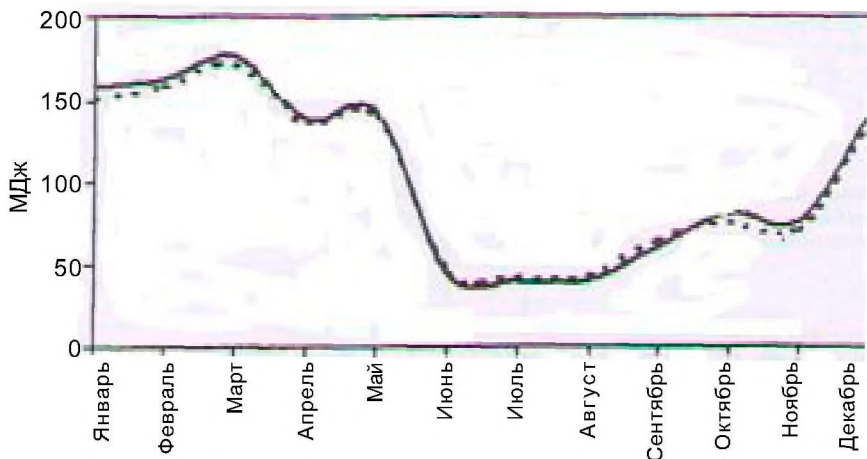


Рис. 1. Ветровая активность для условий месторождения Кашаган

Суточные суммы ветровой энергии, вычисленные с помощью выражения (2), полагая  $\rho_{\text{в}} = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ,  $A = 1 \text{ м}^2$ ,  $C_p = C_{p_{\text{max}}} = 0,59$  со среднесуточной энергией, вычисляемой по выражению, равны

$$E_N = \frac{A \rho_{\text{в}} C_{p_{\text{max}}}}{2} \sum_{i=1}^{144} u_i^3 t_i = \frac{A C_{p_{\text{max}}}}{2} \frac{\mu_a}{R} \frac{P_N}{(273 + \tau_N)} \sum_{i=1}^{144} u_i^3 t_i \quad (5)$$

где  $u_i$  - средняя скорость ветра в течение  $i$ -го десятиминутного интервала  $t_i$  суток  $N$ ;

$\mu_a$  - молярная масса воздуха;

$R$  - универсальная газовая постоянная;

$P_N, \tau_N$  - среднесуточные значения атмосферного давления, Па, и температуры,  $^{\circ}\text{C}$ , для суток  $N$ .

Суточного снижения при работе глубинного штангового насоса, уменьшения затрат на электроэнергию, потребляемую при централизованном энергоснабжении, можно добиться за счёт ветровой энергии. Сущность предлагаемой конструкции пояс-

няется (рис. 2). Конструктивная схема комбинированной ветроэнергетической установки для добычи нефти представлена на рис. 3.

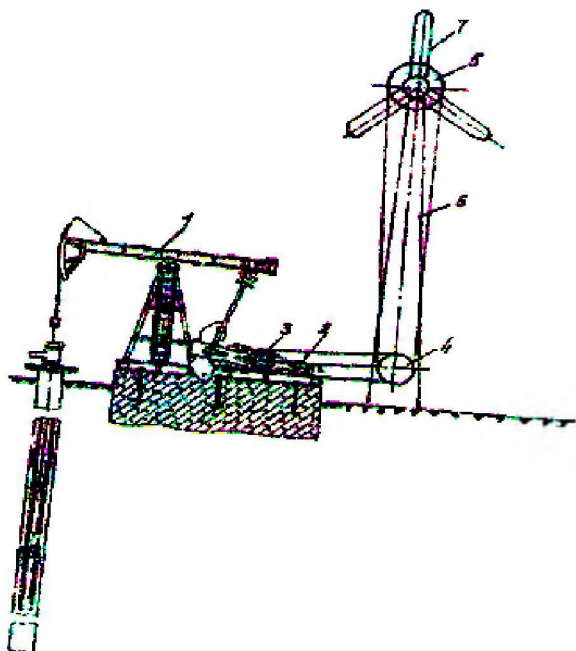


Рис. 2. Комбинированная ветроэнергетическая установка для добычи нефти

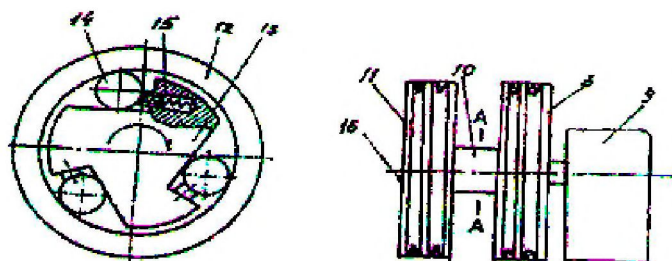


Рис. 3. Механизм включения и отключения ветроагрегата

Комбинированная ветроэнергетическая установка для добычи нефти [4] включает штанговую скважинную насосную установку 1 с двумя приводами: первый от электродвигателя 2 на ведомый шкив 3, второй - от ветроагрегата 5 с ведущим шкивом через промежуточный шкив 4, на ведомый шкив ветроагрегата 11 через обгонную муфту 10, соединенную с ведомым шкивом 3. Обгонная фрикционная муфта 10 состоит из двух полумуфт: наружной 12, жесткосоединенной с ведомым шкивом 11 ветроагрегата 5, и внутренней 13, насаженной на вал редуктора 9 с ведомым шкивом 3. Внутренняя полумуфта (звездочка) образует с наружной обоймой клиновидные пазы, в которых расположены рамки 14, поджимаемые пружинами 15. Для отключения электрической сети на ведомом шкиве 11 ветроагрегата установлен переключатель электрической сети 16.

Комбинированная ветроэнергетическая установка для добычи нефти работает следующим образом.

При отсутствии или слабом ветре (до 3 м/с) обгонная муфта 10 отключена и штанговая скважинная насосная установка 1 работает от электродвигателя 2. В этом случае вращение наружной муфты 12, связанной с ведомым шкивом 11 ветроагрегата с угловой скоростью, меньшей угловой скорости внутренней полумуфты 13, т.е. ведомого шкива 3, ролики 14 не препятствуют движению полумуфт, и валы отключены. Если повысится скорость ветра, и угловая скорость наружной полумуфты 12 достигнет угловой скорости внутренней полумуфты 13, тогда ролик затягивается силами трения в суживающийся паз и заклинивается между полумуфтами, передавая движение на штанговую скважинную насосную установку 1. Одновременно при соответствующей угловой скорости ведомого шкива 11 через переключатель электрической сети 16 отключается электродвигатель 2.

Дальнейшая передача движения осуществляется от ветродвигателя 5 с ведущими шкивом посредством клиноременной передачи через промежуточный шкив 4 и ведомый шкив 11. Привод от ветродвигателя будет работать до тех пор, пока не произойдет следующее затишье (менее 3 м/с) ветра.

Таким образом, в течение работы ветроэнергетической установки происходит значительная экономия электроэнергии, потребляемой из сети централизованного энергоснабжения.

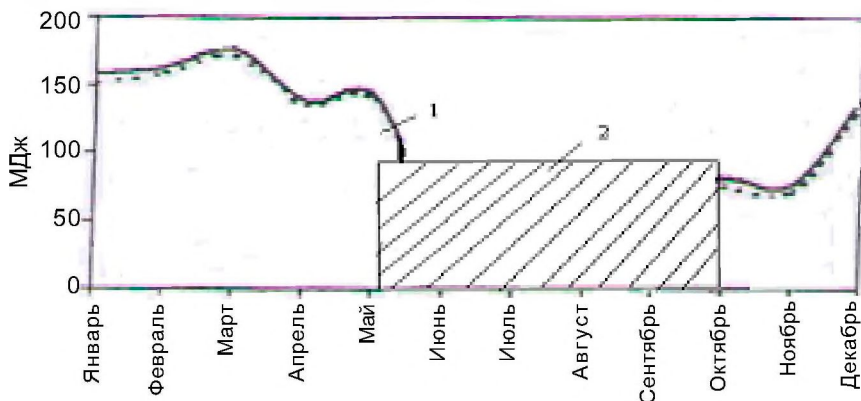


Рис. 4. Результаты выработки электроэнергии комбинированной ветроэнергетической установкой: 1 - выработка энергии ВЭУ, МДж; 2 - энергия, полученная от сети, МДж

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об энергоснабжении глубинного штангового насоса (рис. 4). Величина вырабатываемой энергии ВЭУ за год составляет 60-70 % и возможно использование энергии с октября до мая. В то время как центральное энергоснабжение электроэнергией осуществляется с мая по октябрь и составляет 30-40 %.



## Литература

1 Advanced Wind Turbine Conceptual Study / Final Report, August 1990 - March 1992. - R.Lynette & Associates, July 1995. - 146 p. - Report NREL/TP - 441 - 692.

2 *De Meow E.A., Glade J.F.* Renewable Energy Technology Characterizations TR- 109496 //EPRI and DOE Topical Report, 1997. - 270 p.

3 *Твайдел Дж., Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 392 с.

4 *Баймиров М.Е.* и др. Комбинированная ветроэнергетическая установка для добычи нефти // Предпатент РК № 19729, 2009. - 3 с.