

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ  
УСТАНОВКИ НОВОГО МАГИСТРАЛЬНОГО НАСОСНОГО  
АГРЕГАТА НА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ**

**METHODOLOGY FOR ASSESSING ELECTRICITY SAVINGS FROM  
THE INSTALLATION OF A NEW MAIN PUMPING UNIT AT AN OIL  
PUMPING STATION**

**УДК 338.32.053.4**

**Омарбеков Айдар Обзорович**, магистрант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, г. Ижевск

**Данилин Олег Евгеньевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, г. Ижевск

**Omarbekov Aidar Obzorovich**, master's student of the direction «Economic», Udmurt State University, Russia, Izhevsk

**Danilin Oleg Evgen'evich**, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Economics, Udmurt State University, Russia, Izhevsk

**Аннотация.** В статье предложена методика расчета оценки экономии электроэнергии в результате замены магистрального насоса нефтеперекачивающей станции. В методе расчета используются фактические данные о работе насосного агрегата, получаемые из корпоративных систем сбора технологических данных АСТУЭ и СДКУ. Представлен алгоритм расчета величины экономии электроэнергии от замены магистрального насоса на нефтеперекачивающей станции. Приведено математическое обоснование получаемой оценки.

**Annotation.** The article proposes a method for calculation of energy saving as a result of replacement of a main line pump at the oil pumping station. The calculation method uses actual data on pump unit operation obtained from the corporate systems of process data collection: Auto- mated System of Electric Power Process Accounting and

Monitoring and Supervisory Control System. An algorithm of calculation of energy saving as a result of replacement of a main line pump at the oil pumping station is presented. Mathematical rationale for the evaluation is provided.

**Ключевые слова.** экономия электроэнергии, КПД, магистральный насос, оценка, алгоритм.

**Key words.** energy saving, efficiency factor, main line pump, assessment, algorithm.

Как известно, основная доля затрат электроэнергии при трубопроводном транспорте нефти приходится на потребление электроэнергии насосными агрегатами (НА) нефтеперекачивающих станций (НПС). В целях экономии электроэнергии проводятся мероприятия по повышению энергоэффективности процесса перекачки нефти, а также осуществляется контроль за исполнением этих мероприятий. В работе [1] рассматривается один из способов мониторинга показателя энергоэффективности насосного оборудования – расчет фактической характеристики КПД магистральных насосных агрегатов по ретроспективным технологическим данным системы диспетчерского контроля и управления (СДКУ) и автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ). При фиксации в процессе мониторинга значительного ухудшения фактической характеристики КПД НА относительно паспортной возникает задача определения целесообразности замены или ремонта такого магистрального насоса. В данной статье описано математическое обоснование оценки экономии электроэнергии замены магистрального насоса НПС без замены электродвигателя, а также приводится алгоритм расчета величины этой экономии электроэнергии, основанной на результатах статьи [1].

#### Оценка экономии электроэнергии

Для расчета величины экономии электроэнергии будем использовать формулу

$$\Delta E = E_{\text{сущ}} - E_{\text{нов}} = E_{\text{сущ}} - kE_{\text{сущ}} = E_{\text{сущ}}(1 - k), \quad (1)$$

где  $E_{\text{сущ}}$ ,  $E_{\text{нов}}$  – величины потребления электроэнергии существующего МНА и МНА после замены соответственно;  $k$  – коэффициент энергоэффективности насосного агрегата.

Так, при  $k \leq 1$  существующий НА потребляет меньше электроэнергии при той же производительности. Рассмотрим почасовые данные по потреблению НА за длительный период времени –  $n$  часов. Выбор периода должен обуславливаться его продолжительностью (не менее двух месяцев) и сроком давности (выбираются последние месяцы). Тогда (1) можно записать в

следующем виде

$$\Delta E = \sum_{t=1}^n E_t(1-k_t) = \sum_{t=1}^n N_t L_t(1-k_t), \quad (2)$$

где  $N_t$  – средняя мощность МНА за период времени  $t$  ( $\Delta t = L_t = 1$  час);  $k_t = \eta_{\text{cur}}^t / \eta_{\text{new}}^t$  – коэффициент улучшения энергоэффективности НА за период времени  $t$ ;  $L_t$  – длина периода времени  $t$ ;  $\eta^t$  – среднее за период времени  $t$  значение КПД существующего насоса;  $\eta^t$  – среднее за период времени  $t$  значение КПД нового насоса.

В дальнейшем будем рассматривать только случаи  $k_t < 1$ , так как в противном случае не будет эффекта от замены НА и задача оценки экономии электроэнергии от замены насоса в таком случае будет неактуальной. Так как  $L_t = \text{const}$  для всех периодов, то равенство (2) можно переписать в следующем виде

$$\Delta E = \sum_{t=1}^n N_t L_t(1-k_t) = L_t \sum_{t=1}^n N_t(1-k_t). \quad (3)$$

Так как  $N_t \geq 0 \forall t$  и  $0 < k_t < 1$ , для равенства (3) справедливо неравенство Чебышева для сумм [2]

$$\Delta E = L_t \sum_{t=1}^n N_t(1-k_t) \geq L_t \left( \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n N_t \sum_{t=1}^n (1-k_t) \right).$$

Или

$$\Delta E \geq L_t \sum_{t=1}^n N_t \left( \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (1-k_t) \right). \quad (4)$$

Заметим, что в неравенстве (4) выражение в скобках можно представить как

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (1-k_t) = \frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n 1 - \sum_{t=1}^n k_t \right) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n k_t = 1 - k_{\text{cp}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{cp}}$  – среднее значение коэффициента улучшения энергоэффективности НА за  $n$  часов.

На практике перекачка нефти производится в основном на стационарных режимах работы технологического участка, т.е. без существенного изменения технологических параметров участка на выбранном режиме. Тогда с учетом выбора достаточно большого периода времени  $n$  можно применить закон больших чисел [3]: среднее арифметическое достаточно большой конечной выборки из фиксированного распределения близко к теоретическому среднему (математическому ожиданию) этого распределения, т.е.

$$k_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n k_t \cong \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m k_z, \quad (6)$$

где  $m$  – количество периодов времени длиной  $L_m = L_t$  работы технологического участка на стационарном режиме работы.

Выбор  $m$  периодов стационарной работы осуществляется с помощью алгоритма фильтрации данных, описанного в статье [1].

С учетом формул (5), (6) неравенство (4) примет вид

$$\Delta E \geq L_t \sum_{t=1}^n N_t (1 - k_{cp}) = L_t \sum_{t=1}^n N_t \left( 1 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m k_z \right).$$

Заметим, что

$$k_z = \frac{\eta_{curHA}^z}{\eta_{newHA}^z} = \frac{\eta_{cur}^z \cdot \eta_{эдв}^z}{\eta_{new}^z \cdot \eta_{эдв}^z} = \frac{\eta_{cur}^z}{\eta_{new}^z},$$

где  $\eta_{cur}^z$  – значение КПД существующего насоса за период времени  $z$ ;  $\eta_{new}^z$  – значение КПД нового насоса за период времени  $z$ ;  $\eta_{эдв}^z$  – значение КПД электродвигателя за период времени  $z$ .

Получим

$$\Delta E \geq L_t \sum_{t=1}^n N_t \left( 1 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \frac{\eta_{cur}^z}{\eta_{new}^z} \right) \quad (7)$$

Используя следующую очевидную оценку

$$\frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \frac{\eta_{cur}^z}{\eta_{new}^z} \leq \frac{\frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \eta_{cur}^z}{\min_z (\eta_{new}^z)},$$

неравенство (7) примет вид

$$\Delta E \geq L_t \sum_{t=1}^n N_t \left( 1 - \frac{\frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \eta_{cur}^z}{\min_z (\eta_{new}^z)} \right). \quad (8)$$

Исходя из вида формулы (8), для численного расчета оценки понадобятся следующие данные:

$L_t \sum_{t=1}^n N_t$  – потребление насосного агрегата за рассматриваемый период, получаемое из данных АСТУЭ;

$\frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \eta_{cur}^z = \eta_{cur}^{avg}$  – среднее арифметическое значение КПД насосного агрегата за рассматриваемый период времени в стационарных режимах работы. Процедура расчета этой величины описана в работе [1], в качестве исходных данных расчета используется информация из систем АСТУЭ и СДКУ;

$\min_z(\eta_{new}^z)$  – минимум значения КПД нового агрегата, работающего на тех же стационарных режимах работы технологического участка.

Опишем процедуру расчета этого значения. Возьмем  $\eta_{cur}^{min} = \min(\eta_{new}^z)$  – минимальное значение КПД существующего НА на стационарном режиме работы технологического участка. Пусть  $Q^*$  – производительность, соответствующая  $\eta_{cur}^{min}$  на кривой КПД (например, построенной по алгоритму, описанному в работе [1]).  $\eta_{new}^* = \eta_{new}(Q^*)$  – значение КПД нового НА по заводской характеристике, соответствующее производительности  $Q^*$ . Отображение  $\eta_{new}(Q^*)$ , как правило, не является объективным. Иными словами, существует несколько значений  $Q$ , соответствующих одному  $\eta_{cur}$ .

Для решения этой проблемы рассмотрим набор  $\{Q_i\}$  производительностей, соответствующих  $\eta_{cur}$ . Для каждой производительности  $Q_i$  запишем  $\eta_{new}(Q_i)$  (инъективность функции КПД очевидна). Далее построим биективную функцию  $\eta_{new}^* \times (\eta_{cur}^{min}) = \eta_{cur}^{min} = \min_i(\eta_{new}(Q_i))$ .

Таким образом

$$\frac{\eta_{cur}^{avg}}{\min_z(\eta_{new}^z)} \leq \frac{\eta_{cur}^{avg}}{\eta_{new}^*(\eta_{cur}^{min})}. \quad (9)$$

Применив (9) к неравенству (8), получим итоговую оценку

$$\Delta E \geq L_t \sum_{t=1}^n N_t \left( 1 - \frac{\eta_{cur}^{avg}}{\eta_{new}^*(\eta_{cur}^{min})} \right). \quad (10)$$

Рис. 1 Фактическая характеристика КПД НА

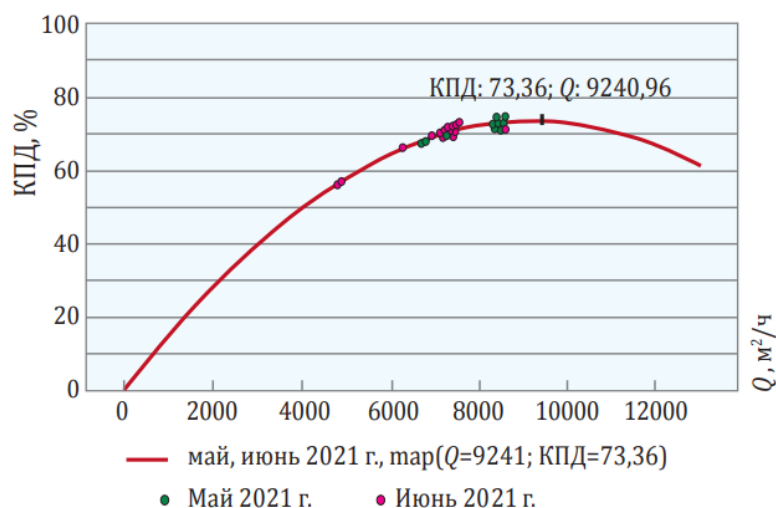
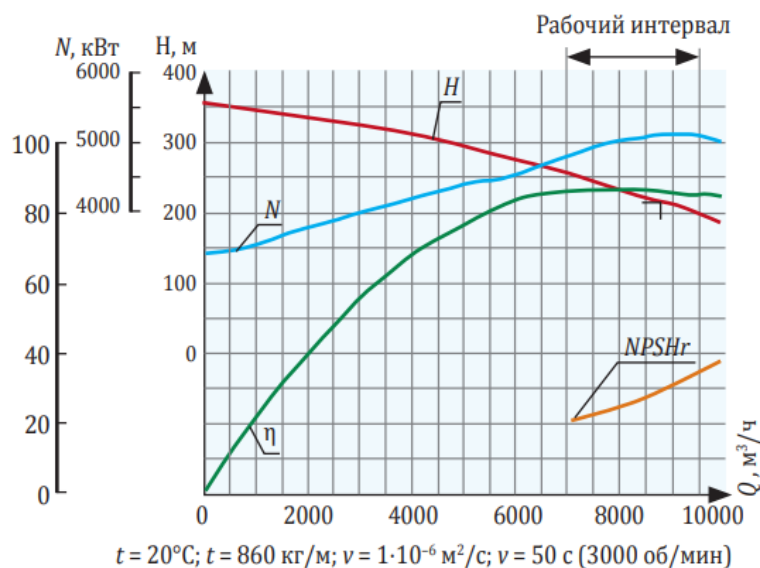


Рис. 2 Паспортная характеристика НА

Характеристики насоса НМ 7000/1,25-210-2,1 УХЛ4



### Пример расчета

Рассмотрим работу насоса НМ 7000-210/1,25 за

период май–июнь 2021 г.:  $L_t \sum_{t=1}^n N_t = 2715,7$  МВт·ч – потребление НА за рассматриваемый период;  $\eta_{cur}^{avg} = 69,7$  % – среднее значение КПД НА за рассматриваемый период;  $\eta_{cur}^{min} = 56,6$  % – минимальное значение КПД НА за рассматриваемый период на стационарном режиме работы ТУ.

Фактическая характеристика КПД насосного агрегата, построенная по данным за рассматриваемый период, представлена на рис. 1. Паспортная характеристика насоса представлена на рис. 2.

Расчет величины экономии электроэнергии от замены насоса:  $Q^* = 4855$  м<sup>3</sup>/ч – значение производительности НА, соответствующее минимальному  $\eta_{cur}^{min}; \eta_{new}(\eta_{min})$

значению КПД  $\eta = 76,7\%$  – значение КПД НА после замены, соответствующее производительности  $Q^*$ ;  $\Delta E \geq 2715,7(1-69,7/76,7) = 247,8$  МВт·ч – минимальная величина экономии электроэнергии за рассматриваемый период.

Таким образом, величина экономии электроэнергии при замене насоса НМ 7000-210/1,25 за период май–июнь 2021 г. будет не меньше 247,8 МВт·ч.

В работе рассмотрены вопросы оценки экономии электроэнергии в результате замены насосного оборудования. представлено математическое обоснование предлагаемой оценки экономии электро- энергии от замены насоса. Данная методика оценки носит не только теоретический, но и практический характер, так как фактические данные, необходимые для расчета, собираются корпоративными системами АСТУЭ и СДКУ. Представлена и опробована процедура расчета оценки величины экономии электроэнергии снизу (величина экономии будет не меньше расчетной). Полученные результаты могут представлять практическую ценность для ОАО «АК «Транснефть» в области мониторинга и улучшения энергоэффективности работы насосного оборудования.

### Список литературы

1. Методика определения кривой КПД МНА по ретроспективной технологической информации о работе МН и оборудования /

А. В. Ковардаков [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 3. С. 30–35.

2. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М. : Наука, 1976. 544 с.

3. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. 8. М. : Едиториал УРСС, 2005. 448 с.