

Устройство для диагностики и определения энергоемкости работы насосного агрегата

Рауф Зарифджанович Юлдашев¹, Зарифджан Шарифович Юлдашев²,
Лоик Сафарович Касобов³✉

¹ частный консультант по энергетике, Душанбе, Таджикистан

² Таджикский аграрный университет им. Шириншо Шотемура, Душанбе, Таджикистан

³ Таджикский технический университет им. академика М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан

Контакт для переписки: loiknstu@mail.ru✉

Аннотация. В статье рассматривается разработанное устройство для диагностики и определения энергоемкости работы насосного агрегата. Приводится структурная схема устройства, последовательность определения энергоемкости работы насосного агрегата и его элементов, а также пример расчета по паспортным данным. Разработанное устройство позволяет контролировать энергоемкость работы насосного агрегата в период эксплуатации: при превышении допустимого значения энергоемкости на мониторе появится предупреждающее сообщение.

Ключевые слова: энергоемкость, насосный агрегат, электродвигатель, энергетический паспорт

Цитирование: Юлдашев Р. З., Юлдашев З. Ш., Касобов Л. С. 2024. Устройство для диагностики и определения энергоемкости работы насосного агрегата // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. Том 10. № 4 (40). С. 6–17. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2024-10-4-6-17>

Поступила 23.10.2024; одобрена 12.12.2024; принята 16.12.2024

Device for diagnostics and determination of energy consumption during the operation of a pumping unit

Rauf Z. Yuldashev¹, Zarifjan Sh. Yuldashev², Loik S. Kasobov³✉

¹ Private Energy Consultant, Dushanbe, Tajikistan

² Tajik Agrarian University named Shirinsho Shotemur, Dushanbe, Tajikistan

³ Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
Corresponding author: loiknstu@mail.ru✉

Abstract. This article presents a device developed for diagnosing and determining the energy consumption of a pumping unit. The authors provide a block diagram of the device and the sequence of determining the energy consumption during the operation of the pumping unit and its elements, accompanied by an example of calculation according to the device's passport data. The device aids in controlling the unit's energy consumption when operated, with a warning system in place in the cases of the energy consumption going beyond the permissible limit.

Keywords: energy consumption, pumping unit, electric motor, energy passport

Citation: Yuldashev, R. Z., Yuldashev, Z. Sh., & Kasobov, L. S. (2024). Device for diagnostics and determination of energy consumption during the operation of a pumping unit. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, 10(4), 6–17. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2024-10-4-6-17>

Received Oct. 23, 2024; Reviewed Dec. 12, 2024; Accepted Dec. 16, 2024

Введение

В народном хозяйстве (например, в промышленности и АПК) насосный агрегат используется практически во всех энерготехнологических процессах (ЭТП) производства разных видов продукции, в том числе при орошении. Обоснование актуальности проблемы энергосбережения при использовании насосных агрегатов приведено, в частности, в работе П. Стасинопулоса и др. [2012].

Наибольший интерес вызывает устройство для определения энергетических параметров электродвигателя (ЭД) и относительной энергоемкости выполненной им работы. Оно содержит ведущий и ведомый валы, объединенные соединительным элементом. Ведомый вал, выполненный из двух частей, которые соединены друг с другом с помощью муфты, закреплен на подшипниковых опорах, позволяющих ограничить его линейное перемещение. На каждой части ведомого вала между подшипниковыми опорами установлены и жестко закреплены два металлических диска, при этом на этих подшипниковых

опорах таким же образом крепятся крестообразные магнитопроводы, на которых, в свою очередь, установлены электромагнитные катушки. В конце ведомого вала для измерения его скорости вращения установлен тахогенератор [Карпов и др., 2010, 2012].

Недостатки данного устройства [Юлдашев, 2010; Пиризода, Юлдашев, 2020]:

- Определяются только энергетические параметры ЭД.
- Не позволяет определять по элементам насосного агрегата их энергоемкость.
- Не позволяет проводить оперативный контроль энергоемкости работы насосного агрегата.

На основании обзора наиболее существенных устройств нами была поставлена и решена задача оперативного контроля энергетических параметров, в том числе энергоемкости работы насосного агрегата с получением его энергетического паспорта.

Материалы и методы

На основании литературного обзора и патентного поиска установлено, что существует множество устройств для диагностики и определения энергетических показателей выполнения ЭТП.

Например, рассмотрим устройство для определения потерь энергии в ЭТП. В нем используются: измеритель, аппаратура для измерения, пульт управления устройством, блок вычисления, монитор и др. [Карпов и др., 2010, 2012; Стасинопулос и др., 2012].

Устройству присущ ряд несовершенств:

- Нет регистрации текущего времени для сравнения результатов исследований.
- Отсутствует сравнение полученных результатов исследований ЭТП с базовыми данными (справочные данные, паспортные данные, предыдущие результаты исследований, современные инновационные ЭТП).
- Нет возможности получения энергетического паспорта ЭТП.
- Не предусмотрена выработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации исследуемого ЭТП.
- Нет возможности передачи результатов исследований на систему высшего уровня по известным каналам связи.

Цель настоящей статьи — разработать и усовершенствовать конструкцию устройства, которое будет предоставлять оперативную информацию об эффективном использовании энергии по двум измеряемым параметрам ЭТП, результат действия энергии и показатели эффективности использования энергии и энергетического паспорта ЭТП [Юлдашев, 2010].

На рис. 1 приведена структурная схема устройства для диагностики и определения энергоемкости работы насосного агрегата. Для удобства и упрощения чтения схемы группы соединений пронумерованы римскими цифрами.

Электронный регистратор предназначен для записи измеряемых величин, которые поступают от преобразователей напряжения и тока, измерителя $\cos \varphi$ и преобразователей крутящего момента, скорости вращения, напора и расхода.

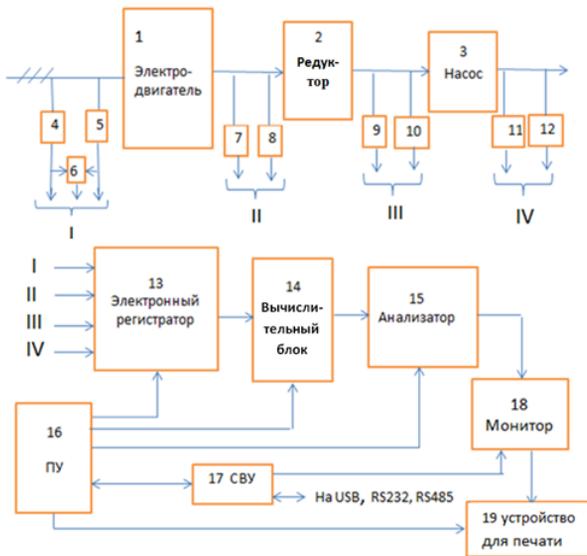


Рис. 1. Структурная схема устройства для диагностики и определения энергоемкости работы насосного агрегата: 1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — насос; 4 — измеритель напряжения; 5 — измеритель тока; 6 — измеритель $\cos \varphi$; 7 — измеритель крутящего момента; 8 — измеритель скорости вращения; 9 — датчик крутящего момента; 10 — датчик скорости вращения; 11 — измеритель напора; 12 — измеритель расхода; 13 — электронный регистратор; 14 — вычислительный блок; 15 — анализатор; 16 — пульт управления; 17 — система высшего уровня; 18 — монитор; 19 — устройство для печати; I, II, III, IV — группы соединений

Fig. 1. The block diagram of a device for diagnosing and determining the energy consumption of a pumping unit: 1 — electric motor; 2 — gearbox; 3 — pump; 4 — voltage meter; 5 — current meter; 6 — $\cos \varphi$ meter; 7 — torque meter; 8 — rotation speed meter; 9 — torque sensor; 10 — rotational speed sensor; 11 — pressure meter; 12 — flow meter; 13 — electronic recorder; 14 — computing unit; 15 — analyzer; 16 — control panel; 17 — top-level system; 18 — monitor; 19 — printing device; I, II, III, IV — connection groups

В качестве электронного регистратора для обработки результатов экспериментальных исследований по определению относительной энергоемкости элементов и ЭТП использовалась информационно-измерительная система на базе многоканального электронного регистратора Ф1771-АД, который имеет 16 каналов регистрации и 8 математических каналов («Вибратор», Санкт-Петербург).

Анализатор формирует энергетический паспорт насосного агрегата и производит сравнение результатов измерения с паспортными и/или ранее измеренными значениями, на основании которых на мониторе отражаются результаты вычислений. При повышении или снижении диагностируемых параметров, например при повышении энергоемкости работы насосного агрегата (ЭД + редуктор + насос), на анализаторе вырабатывается сигнал на принятие решения, который визуализируется на мониторе.

Пульт управления служит для:

- ввода исходных данных испытуемого насосного агрегата,
- задания количества измеряемых параметров на электронном регистраторе,
- задания алгоритма расчета энергетических параметров на вычислительном блоке,
- задания установок и принятия решений на анализаторе,
- визуализации результатов измерений и вычислений при диагностике на мониторе [Юлдашев и др., 2015],
- передачи паспортных данных испытуемого насосного агрегата,
- приема и передачи результатов измерений и вычислений в систему высшего уровня.

Устройство позволяет проводить все измерения при неразрушающем контроле, т. е. без вмешательства в схему ЭТП и технологию получения результата действия энергии.

После установки измерительных приборов при подаче питания на ЭД вращательное движение поступает на вход редуктора, который, в свою очередь, вращает насос, вследствие чего происходит подача жидкости с напором H и расходом q (процесс заливки насоса не рассматривается).

На каждой из фаз приборами измеряются величины тока и напряжения. На вход измерителя $\cos \varphi$ поступают от выходов измерителя тока и измерителя напряжения измеренные параметры. Измеритель $\cos \varphi$ определяет на каждой из фаз значение $\cos \varphi$. На электронном регистраторе непрерывно с задаваемым интервалом происходит регистрация измеренных значений, поступающих на вход: с выхода измерителя тока, измерителя напряжения и измерителя $\cos \varphi$; с выхода измерителя крутящего момента и измерителя скорости вращения, установленных на выходе ЭД; с выхода измерителя напора и измерителя расхода, установленных на выходе насоса. Длительность интервала регистрации зависит от поставленной задачи экспериментальных исследований, а также от быстротечности самого ЭТП подъема жидкости (динамических характеристик). Результаты регистрации с выхода электронного регистратора поступают на вход вычислительного блока, в котором происходит вычисление и расчет на входах ЭД, редуктора и насоса, а также на выходе насоса [Технический каталог, 2007].

На вычислительном блоке производятся следующие вычисления.

Потребляемая активная мощность каждой фазы во времени на входе ЭД:

$$\begin{aligned} P_a(t) &= U_a(t) I_a(t) \cos \varphi_a, \\ P_b(t) &= U_b(t) I_b(t) \cos \varphi_b, \\ P_c(t) &= U_c(t) I_c(t) \cos \varphi_c, \end{aligned} \quad (1)$$

где $U_a(t)$, $U_b(t)$, $U_c(t)$ — напряжение на соответствующих фазах; $I_a(t)$, $I_b(t)$, $I_c(t)$ — ток на соответствующих фазах; $\cos \varphi_a$, $\cos \varphi_b$, $\cos \varphi_c$ — коэффициент мощности на соответствующих фазах.

Потребляемая активная мощность ЭД во времени:

$$P_{\text{ЭД}}(t) = P_a(t) + P_b(t) + P_c(t). \quad (2)$$

Реактивная мощность каждой фазы во времени на входе ЭД:

$$\begin{aligned} Q_a(t) &= U_a(t) I_a(t) \sin \varphi_a, \\ Q_b(t) &= U_b(t) I_b(t) \sin \varphi_b, \\ Q_c(t) &= U_c(t) I_c(t) \sin \varphi_c, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\sin \varphi_a, \sin \varphi_b, \sin \varphi_c$ — коэффициент реактивной составляющей мощности на соответствующих фазах, $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$.

Реактивная мощность ЭД во времени:

$$Q_{\text{ЭД}}(t) = Q_a(t) + Q_b(t) + Q_c(t). \quad (4)$$

Полная мощность ЭД во времени:

$$S_{\text{ЭД}}(t) = \sqrt{P_{\text{ЭД}}^2(t) + Q_{\text{ЭД}}^2(t)}. \quad (5)$$

Из электротехники также известно, что коэффициент мощности можно записать как отношение активной мощности к полной:

$$\cos \varphi_{\text{ЭД}}(t) = \frac{P_{\text{ЭД}}(t)}{S_{\text{ЭД}}(t)}. \quad (6)$$

Активная энергия, затраченная на фазах за время t :

$$\mathcal{E}_{a\text{ЭД}}(t) = P_a(t)t + P_b(t)t + P_c(t)t. \quad (7)$$

Реактивная энергия, затраченная на фазах за время t :

$$\mathcal{E}_{p\text{ЭД}}(t) = Q_a(t)t + Q_b(t)t + Q_c(t)t. \quad (8)$$

Активная энергия, потребленная ЭД из сети за время t :

$$\mathcal{E}_{\text{ЭД}}(t) = \mathcal{E}_a(t) + \mathcal{E}_b(t) + \mathcal{E}_c(t). \quad (9)$$

Мощность на входе редуктора (на выходе ЭД):

$$P_{\text{ред}}(t) = M_{\text{ред}}(t) \omega_{\text{ред}}(t), \quad (10)$$

где $M_{\text{ред}}(t)$ — момент на входе редуктора; $\omega_{\text{ред}}(t)$ — угловая скорость на входе редуктора.

Энергия, потребленная редуктором (энергия на выходе ЭД):

$$\mathcal{E}_{\text{ред}}(t) = P_{\text{ред}}(t)t. \quad (11)$$

Потребляемая мощность на входе насоса (мощность на выходе редуктора):

$$P_{\text{насос}}(t) = M_{\text{ред}}(t) \omega_{\text{ред}}(t), \quad (12)$$

где $M_{\text{ред}}(t)$ — момент на выходе редуктора; $\omega_{\text{ред}}(t)$ — угловая скорость на выходе редуктора.

Энергия, затраченная насосом:

$$\mathcal{E}_{\text{насос}}(t) = P_{\text{насос}}(t)t. \quad (13)$$

Энергоемкость работы ЭД определяется как отношение энергии на входе ЭД на энергию на выходе ЭД в момент времени t :

$$\mathcal{E}_{\text{э.ЭД}}(t) = \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭД}}(t)}{\mathcal{E}_{\text{ред}}(t)}. \quad (14)$$

Энергоемкость работы редуктора определяется как отношение энергии на входе редуктора на энергию на выходе редуктора (на входе насоса) в момент времени t :

$$\mathcal{E}_{\text{э.ред}}(t) = \frac{\mathcal{E}_{\text{ред}}(t)}{\mathcal{E}_{\text{насос}}(t)}. \quad (15)$$

Мощность, необходимая на подъем жидкости на высоту H с расходом q , определяется как произведение g ($\text{м}/\text{с}^2$) на напор H (м) и на расход насоса ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$P_{\text{вых насоса}}(t) = gHq. \quad (16)$$

Энергия, затраченная на подъем жидкости на высоту H с расходом q :

$$\mathcal{E}_{\text{вых насоса}}(t) = P_{\text{вых насоса}}(t)t. \quad (17)$$

Энергоемкость работы насоса определяется как отношение энергии на входе насоса на энергию на выходе насоса в момент времени t :

$$\mathcal{E}_{\text{э.насос}}(t) = \frac{\mathcal{E}_{\text{насос}}(t)}{\mathcal{E}_{\text{вых насоса}}(t)}. \quad (18)$$

Энергоемкость насосного агрегата определяется как произведение энергоемкости работы ЭД, энергоемкости работы редуктора и энергоемкости работы насоса:

$$\mathcal{E}_{\text{э.насос.агр}}(t) = \mathcal{E}_{\text{э.ЭД}}(t) \mathcal{E}_{\text{э.ред}}(t) \mathcal{E}_{\text{э.насос}}(t). \quad (19)$$

Определим энергоемкость работы насосного агрегата по измеренным параметрам (расход энергии на подъем 1 м^3 жидкости):

$$\mathcal{E}_{\text{э.насос.агр.расч}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭД}}(T)}{qT}, \quad (20)$$

где q — расход жидкости ($\text{м}^3/\text{с}$); T — время работы насосного агрегата (с).

Пример расчета энергоёмкости работы насосного агрегата по паспортным данным

Определим энергоёмкость работы насоса с учетом его паспортных данных:

$$\Theta_{\text{э насос}} = \frac{1}{\eta_{\text{насос}}} = \frac{1}{0,63} = 1,59, \quad (21)$$

где $\eta_{\text{насос}}$ — паспортное значение КПД насоса.

Энергоёмкость работы редуктора с учетом его паспортных данных:

$$\Theta_{\text{э ред}} = \frac{1}{\eta_{\text{ред}}} = \frac{1}{0,94} = 1,06, \quad (22)$$

где $\eta_{\text{ред}}$ — паспортное значение КПД редуктора.

Энергоёмкость работы ЭД с учетом его паспортных данных:

$$\Theta_{\text{э ЭД}} = \frac{1}{\eta_{\text{ЭД}}} = \frac{1}{0,84} = 1,19, \quad (23)$$

где $\eta_{\text{ЭД}}$ — паспортное значение КПД ЭД.

Определим энергоёмкость насосного агрегата как произведение энергоёмкости элементов:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{э насос.агр.пасп}} &= \Theta_{\text{э насос}} \cdot \Theta_{\text{э ред}} \cdot \Theta_{\text{э ЭД}} = \\ &= 1,59 \cdot 1,06 \cdot 1,19 = 2,006 = 1 + 1,006. \end{aligned} \quad (24)$$

Как видно из расчетов, паспортная энергоёмкость работы насосного агрегата: $\Theta_{\text{э насос.агр.пасп}} = 2,006$.

По результатам измерений параметров насосного агрегата определяются расчетное значение энергоёмкости работы насосного агрегата ($\Theta_{\text{э насос.агр.расч}}$) и паспортное (теоретическое) значение энергоёмкости работы насосного агрегата ($\Theta_{\text{э насос.агр.пасп}}$) [Юлдашев, Касобов, 2014].

На практике по мере эксплуатации насосного агрегата происходит:

- износ рабочего колеса, внутренней поверхности корпуса насоса, опорных подшипников насоса и ЭД, шестеренок и подшипников редуктора;
- ухудшение смазочных свойств масла редуктора;
- снижение сопротивления изоляции обмоток ЭД из-за высокой влажности, вследствие чего происходит нагрев его корпуса;
- износ и снижение сопротивления изоляции проводов и кабелей, питающих электроэнергией ЭД;
- изменение напора и расхода насоса по указанным выше причинам.

При последующих определениях энергоёмкости работы насосного агрегата этот показатель только ухудшается. Изменение показателя фиксируется в энергетическом

паспорте ЭД. При значительном повышении энергоемкости работы насосного агрегата (например, на 10–15%) необходимо своевременное обслуживание и ремонт.

Запишем аксиому для насосного агрегата по его показателю энергоемкости работы:

$$\mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_0) \geq \mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_1) \geq \mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_2), \quad (25)$$

где $\mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_0)$ — энергоемкость насосного агрегата при $T_0 = 0$ (новый насосный агрегат, который не был в эксплуатации); $\mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_1)$ — энергоемкость насосного агрегата при $T_1 = T_0 + \Delta t_1$ (насосный агрегат, который был в эксплуатации в течение времени Δt_1); $\mathcal{E}_{\text{э насос.агр.расч}}(T_2)$ — энергоемкость насосного агрегата при $T_2 = T_1 + \Delta t_2$ (насосный агрегат, который был в эксплуатации в течение времени Δt_2).

При эксплуатации насосного агрегата в течение некоторого времени, например шести месяцев, из-за износа элементов насоса, редуктора и ЭД произойдет повышение их энергоемкости. Допустим, произошло повышение энергоемкости работы элементов насоса, редуктора и ЭД на 15% [Карпов и др., 2020].

Определим энергоемкость насосного агрегата при повышении энергоемкости элементов на 15%:

$$\mathcal{E}_{\text{э насос.агр}} = 1,15 \mathcal{E}_{\text{э насос}} \cdot 1,15 \mathcal{E}_{\text{э ред}} \cdot 1,15 \mathcal{E}_{\text{э ЭД}} = 3,050. \quad (26)$$

Из расчета видно, что повышение энергоемкости работы элементов насосного агрегата на 15% приводит к повышению энергоемкости работы насосного агрегата на 50% (было 2,006, после эксплуатации стало 3,050).

На практике энергоемкость работы насосного агрегата повышается до значения 5 и более.

На анализаторе с пульта управления устанавливаются уставки (значение превышения параметра, например, на 10–15%) на каждый измеряемый и вычисляемый параметр, при превышении которых на мониторе появляется сообщение о выходе параметров за пределы значения уставки.

На мониторе оперативно (в режиме реального времени) по команде с пульта управления оператор задает различные режимы вывода на экран измеряемых и вычисляемых параметров. По завершении исследований по определению энергоемкости работы насосного агрегата на мониторе визуализируется энергетический паспорт насосного агрегата, в котором отражаются результаты исследований (заводские данные, результаты измерений и вычислений при первом энергоаудите, результаты измерений и вычислений при втором энергоаудите и т. д.). С пульта управления эти данные оператор распечатывает и отправляет через систему высшего уровня (главный инженер, директор и др.) по известным каналам связи. Таким же образом вносятся изменения в программу исследований [Варжапетян и др., 2004].

Можно привести множество примеров повышения энергоемкости работы насосного агрегата (снижения энергоэффективности работы насосного агрегата):

- снижение напряжения сети приводит к снижению мощности ЭД;
- появление вибрации ЭД приводит к повышению потерь энергии;

- попадание влаги на обмотки ЭД снижает сопротивление изоляции обмоток, вызывает потери энергии на нагрев обмоток, приводит к пробое изоляции обмоток;
- снижение уровня масла в редукторе приводит к потере мощности, передаваемой редуктором;
- нарушение соосности соединительной муфты приводит к вибрации и потере мощности;
- по мере использования износ внутренней поверхности рабочего колеса насоса приводит снижению напора и расхода жидкости за единицу времени.

Одним из объектов исследований, где проводилась регистрация энергетических параметров, являлась насосная станция предприятия АПК («Тулома», Мурманская область). В водозаборе устанавливались сетевые насосные агрегаты первого подъема. Вода из водоема при помощи сетевых насосных агрегатов первого подъема через фильтр для очистки воды и расходомер подавалась в резервуар. Резервуар представлял собой капитальное инженерное сооружение емкостью 300 м³. Вода из резервуара по трубопроводу самотеком поступала на сетевые насосные агрегаты второго подъема и далее по трубопроводу подавалась в водопроводную сеть предприятия (на животноводческую ферму, молочный завод, котельную и другие производственные объекты). Мощность сетевых насосных (СН) агрегатов (два — рабочие, один — резерв) первого подъема составляла по 15 кВт, а мощность насосных агрегатов (три — рабочие, один — резерв) второго подъема — 30 кВт. Пульт управления (ПУ) СН первого и второго подъема, расходомер, фильтр и насосные агрегаты второго подъема располагались в здании насосной станции [Карпов, Юлдашев, 2014].

На насосных агрегатах первого подъема устанавливались трехфазные асинхронные двигатели АИР160S2У3; $P_{\text{ном}} = 15$ кВт; $U_{\text{ном}} = 380$ В; $I_{\text{ном}} = 30$ А; $n_{\text{ном}} = 2940$ об./мин.; $\eta_{\text{ном}} = 0,88$; $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,86$; $m = 118$ кг.

В каталогах заводов-изготовителей приведены для каждого типа нового ЭД зависимости $\cos \varphi$ и η от коэффициента загрузки K_z , например, при значениях 0,25, 0,50, 0,75, 1,0 и 1,25.

Результаты измерений на насосных агрегатах первого подъема и результаты расчета позволяют получить достоверные данные об энергетическом состоянии насосного агрегата, что делает возможным использование приведенного выше алгоритма расчета и на других ЭТП.

Заключение

С использованием разработанного устройства появляется возможность оперативно контролировать энергоемкость работы насосного агрегата в период эксплуатации. При повышении энергоемкости работы насосного агрегата или какого-либо его элемента (асинхронный двигатель, редуктор, насос), например, на 10–15% на мониторе появится предупреждающее сообщение, что позволит своевременно устранить недостатки и ввести необходимые корректировки на элементе (например, заменить его на более энергоэффективный).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Варжапетян А. Г., Глущенко В. В., Глущенко П. В. 2004. Системность процессов создания и диагностики технических структур. СПб.: Политехника. 186 с.
- Карпов В. Н., Юлдашев З. Ш. 2014. Показатели энергетической эффективности действующих агроинженерных (технических) систем: монография. СПб.: СПбГАУ. 159 с.
- Карпов В. Н., Юлдашев З. Ш., Немцев А. А., Немцев И. А., Старостенков Ю. А. 2020. Устройство для определения потерь энергии в энерготехнологических процессах: пат. № 2726149 РФ / патентообладатели СПбГАУ, В. Н. Карпов. № 2017146053; заявл. 28.03.2017; опубл. 09.07.2020, Бюл. № 19.
- Карпов В. Н., Юлдашев З. Ш., Юлдашев Р. З. 2010. Стенд для определения энергетических параметров электродвигателя: мал. пат. № ТЈ362 / патентообладатель З. Ш. Юлдашев. № 1000455; заявл. 23.04.2010; опуб. 09.08.2010, Бюл. № 59 (3).
- Карпов В. Н., Юлдашев З. Ш., Юлдашев Р. З. 2012. Устройство для определения энергетических параметров электродвигателя и относительной энергоемкости выполненной им работы: пат. № 2449251 РФ / патентообладатели СПбГАУ, В. Н. Карпов. № 2010110913/28; заявл. 22.03.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12.
- Пиризода Д. С., Юлдашев З. Ш. 2020. Экспериментальные исследования по определению энергетической эффективности работы насосных агрегатов на предприятиях АПК // Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук. № 3 (65). С. 77–83. <https://www.elibrary.ru/adlmmv>
- Стасинопулос П., Смит М., Харгроувс К., Деша Ч. 2012. Проектирование систем как единого целого: интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития. М.: Эксмо. 288 с.
- Технический каталог. 2007. Владимир: Владимирский электромоторный завод. 108 с.
- Юлдашев З. Ш. 2010. Стенд для контроля энергетических параметров электродвигателей и относительной энергоемкости выполненной ими работы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. № 21. С. 276–280.
- Юлдашев З. Ш., Касобов Л. С. 2014. Эффективность энергоиспользования и его контроль // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. № 1–1 (126). С. 82–86.
- Юлдашев Р. З., Юлдашев З. Ш., Гайратов М. Т. 2015. Энергетические параметры электродвигателей и методика их определения на испытательном стенде // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. № 1-5-2 (188). С. 201–204.

References

- Varjapetyan, A. G., Glushenko, V. V., & Gusshenko, P. V. (2004). *Consistency of the Processes of Creating and Diagnosing Technical Structures*. Politekhnika. [In Russian]
- Karpov, V. N., & Yuldashev, Z. Sh. (2014). *Indicators of Energy Efficiency of Existing Agro-Engineering (Technical) Systems*. St. Petersburg State Agrarian University. [In Russian]
- Karpov, V. N., Yuldashev, Z. Sh., Nemtsev, A. A., Nemtsev, I. A., & Starostenkov, Yu. A. (2020). *Device for Determining Energy Losses in Energy-Technological Processes* (RF Patent No. 2726149). St. Petersburg State Agrarian University. [In Russian]
- Karpov, V. N., Yuldashev, Z. Sh., & Yuldashev, R. Z. (2010). *Stand for Determining the Energy Parameters of an Electric Motor* (Republic of Tajikistan Patent No. TJ362). [In Russian]

- Karpov, V. N., Yuldashev, Z. Sh., & Yuldashev, R. Z. (2012). *A Device for Determining the Energy Parameters of an Electric Motor and the Relative Energy Intensity of the Work Performed* (RF Patent No. 2449251). St. Petersburg State Agrarian University. [In Russian]
- Pirizoda, Ja. S., & Yuldashev, Z. Sh. (2020). Experimental studies on determination energy efficiency of pumping units in AIC enterprises. *Reports of the Tajik Academy of Agricultural Sciences*, (3), 77–83. <https://www.elibrary.ru/adlmmv> [In Russian]
- Stansinoupolos, P., Smith, M., Hargroves, K., & Desha, Ch. (2012). *Whole System Design: An Integrated Approach to Sustainable Engineering*. Eksmo. [In Russian] (Original work published 2008, Routledge)
- RusElProm. (2007). *Technical Catalog*. Vladimir Electric Motor Plant. [In Russian]
- Yuldashev, Z. Sh. (2010). A stand for monitoring the energy parameters of electric motors and the relative energy intensity of the work performed by them. *Izvestia Saint Petersburg State Agrarian University*, (21), 276–280. [In Russian]
- Yuldashev, Z. Sh., & Kasobov, L. S. (2014). Energy efficiency and control. *The Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*, (1-1), 82–86. [In Russian]
- Yuldashev, R. Z., Yuldashev, Z. Sh., & Gayratov, M. T. (2015). Energy parameters of electric motors and methods for their determination on a test bench. *The Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*, (1-5-2), 201–204. [In Russian]

Информация об авторах

Рауф Зарифджанович Юлдашев, кандидат технических наук, частный консультант по энергетике, Душанбе, Таджикистан
raufyuldashev@gmail.ru

Зарифджан Шарифович Юлдашев, доктор технических наук, профессор, кафедра электрификации и автоматизации сельского хозяйства, Таджикский аграрный университет им. Шириншо Шотемура, Душанбе, Таджикистан
zarifjan_yz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9924-2952>

Лоик Сафарович Касобов, кандидат технических наук, доцент, кафедра электрических станций, Таджикский технический университет им. академика М. С. Осими, Душанбе, Таджикистан
loiknstu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9271-6908>

Information about the authors

Rauf Z. Yuldashev, Cand. Sci. (Tech.), Private Energy Consultant, Dushanbe, Tajikistan
raufyuldashev@gmail.ru

Zarifjan Sh. Yuldashev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Electrification And Automation Of Agriculture, Tajik Agrarian University named Shirinsho Shotemur, Dushanbe, Tajikistan
zarifjan_yz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9924-2952>

Loik S. Kasobov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Power Electrical Station, Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
loiknstu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9271-6908>