

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.317.3:621.317.3:621.313

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>



## Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода

*С.Н. Редников<sup>1</sup>, В.Ф. Сторчевой<sup>2</sup>✉, Е.Н. Ахмедьянова<sup>3</sup>✉, Т.И. Матвеева<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [srednikov@mail.ru](mailto:srednikov@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

<sup>2</sup> [v.storchevoy@rgau-msha.ru](mailto:v.storchevoy@rgau-msha.ru); <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

<sup>3</sup> [karinlen@mail.ru](mailto:karinlen@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

<sup>4</sup> [timatveeva@rgau-msha.ru](mailto:timatveeva@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

**Аннотация.** Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования АПК в планируемые интервалы обслуживания при непрерывном анализе остаточного ресурса позволяет снизить затраты на эксплуатацию оборудования. Применение недорогого универсального диагностического оборудования в комплексе с первичным анализом состояния агрегатов позволяет выявлять 60...80% предотказных состояний. С целью возможности и эффективности применения комплексного подхода к первичной диагностике электротехнических компонентов гидротехнического оборудования АПК рассмотрены наиболее распространенные электродвигатели насосных агрегатов, электрогидравлические распределители и коммутационное оборудование. При комплексной диагностике применялись методы с использованием тепловизора, систем обработки вибрационного сигнала и систем контроля токового сигнала. Проводился анализ виброграмм контрольных точек оборудования, методами акустической и вибрационной диагностики оценивалось состояние подшипниковых узлов, кавитационных характеристик насосов, производился поиск утечек гидравлического оборудования, выявлялись зоны пробоя силовых кабелей в соответствии с методическими указаниями по определению места повреждения силовых кабелей напряжением до 10 кВ РД 34.20.516-90. Показано применение методики диагностики состояния объектов с применением термограмм поверхности при типовых дефектах. Приведены параметры токовых сигналов с катушек электромагнитов при неисправности распределительной аппаратуры. Дана сравнительная оценка методов диагностики с расчетным определением эффективности. Установлено, что метод комбинированной диагностики с использованием анализа внешних тепловых полей позволяет в 2 раза сократить время предварительной диагностики неисправностей со стабильным прогнозом времени отказа за 2-3 месяца до критического состояния. Это снижает затраты на выявление отказов агрегатов и упрощает планирование процедур технического обслуживания.

**Ключевые слова:** диагностика, диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования, отказ, анализ виброграмм, тепловизор, контроль токового сигнала, оборудование, насос, электродвигатели

**Для цитирования:** Редников С.Н., Сторчевой В.Ф., Ахмедьянова Е.Н., Матвеева Т.И. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 71-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-71-77>

## ORIGINAL PAPER

**Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach****S.N. Rednikov<sup>1</sup>, V.F. Storchevoy<sup>2✉</sup>, E.N. Akhmedyanova<sup>3</sup>, T.I. Matveeva<sup>4</sup>**<sup>1,2,3,4</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400<sup>2</sup> v.storchevoy@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919><sup>3</sup> karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813><sup>4</sup> timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

**Abstract.** Diagnostics of electrical components of hydrotechnical equipment used in agricultural production within the planned maintenance intervals with continuous analysis of residual resource is useful for reducing equipment operation costs. The use of inexpensive universal diagnostic equipment in conjunction with primary analysis of the state of units makes it possible to detect 60 to 80% of pre-failure states. To ensure efficient application of complex approach to primary diagnostics of electrical components of hydraulic equipment used in agricultural production, the authors considered the most common electric motors of pumping units, electrohydraulic distributors and switching equipment. Complex diagnostics included the use of a thermal imager, vibration signal processing systems and current signal control systems. The vibrograms of equipment control points were analyzed, the state of bearing units, cavitation characteristics of pumps were assessed by methods of acoustic and vibration diagnostics, hydraulic equipment leaks were searched, power cables breakdown zones were detected in accordance with methodical instructions for determining the breakdowns of power cables with voltage up to 10 kV RD34.20.516-90. The article shows the possibilities of applying the diagnostics methodology based on surface thermograms to determine typical defects. Particularly discussed are the parameters of current signals from the electromagnet coils observed in case of distribution equipment malfunction. The authors give comparative evaluation of diagnostics methods with calculated efficiency determination. It is established that the method of combined diagnostics using the analysis of external thermal fields can halve the time of preliminary diagnostics of faults with a stable forecast of the failure time 2-3 months before the critical state. This reduces the costs for detection of unit failures and simplifies the planning of maintenance procedures.

**Keywords:** diagnostics, diagnostics of electrical components of hydraulic equipment, failure, vibrogram analysis, thermal imager, current signal control, equipment, pump, electric motors

**For citation:** Rednikov S.N., Storchevoy V.F., Akhmedyanova E.N., Matveeva T.I. Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(2):71-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>

**Введение**

Анализ состояния оборудования современных гидротехнических сооружений включает в себя диагностику различного силового оборудования и систем управления. Практика показала, что наиболее часто применяется метод органолептики, основанный на анализе визуальной, тактильной, акустической информации, при котором первичное воздействие воспринимается органами чувств оператора. Этот подход зависит от индивидуальных особенностей восприятия специалиста и приводит к затратам на устранение внезапных отказов.

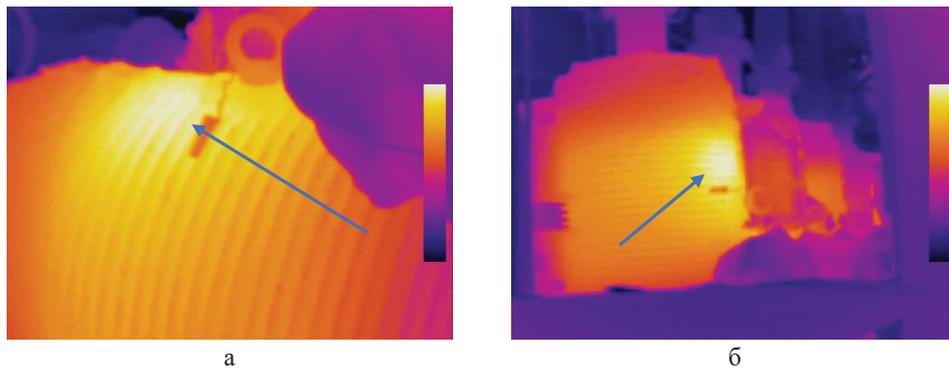
Для оценки состояния механического оборудования применяются методы диагностики по внешним тепловым полям и вибросигналам. Комплекс методов оценки состояния электротехнического оборудования, широко применяемых в промышленности, позволяет значительно повысить эффективность выявления дефектов [1]. Но для АПК применение этого подхода

не всегда экономически оправдано, поскольку для периодической экспертной диагностики требуется дорогостоящее оборудование. При обследовании электротехнического оборудования для АПК наибольший эффект дает применение недорогого универсального диагностического оборудования в комплексе с первичным анализом состояния агрегатов, что позволяет выявлять от 60 до 80% предотказных состояний [2]

**Цель исследований:** анализ возможностей и эффективности применения комплексного подхода к первичной диагностике электротехнических компонентов гидротехнического оборудования.

**Материалы и методы**

Традиционно тепловизионная диагностика осуществляется при сравнении термограмм поверхности объектов с эталоном, предыдущим состоянием или между аналогичными техническими объектами [3]. Достаточно просто выявить неисправности,



**Рис. 1. Тепловизионная диагностика электродвигателей насосных агрегатов:**

а – дефект обмотки статора электродвигателя; б – сравнение тепловых полей ряда электродвигателей

**Fig. 1. Thermal imaging diagnostics of the electric motors of pump units:**

a – defect of the stator winding of the electric motor; b – comparison of thermal fields of a number of electric motors

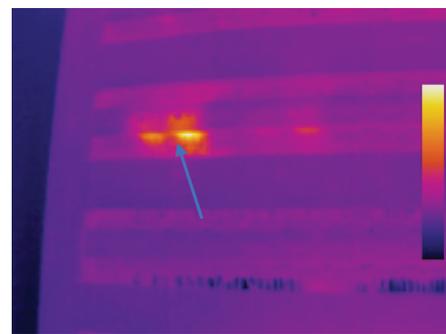
связанные с повреждением обмоток электродвигателей насосных агрегатов (на рисунке 1 стрелками обозначены зоны межвитковых замыканий) и утечками в гидравлическом силовом оборудовании, а также проблемы контактных зон распределительного оборудования (на рисунке 2 стрелкой выделена зона дефекта).

Тепловизионный контроль широко применяется персоналом, контролирующим электротехническое оборудование [4, 5], при выявлении межвитковых замыканий [6], перегрузок катушек магнитных систем управления, ослабших контактных соединений [7], разбега фаз [8]. Но в более сложных случаях единственный анализ термограмм может затруднить выявление причин наступления неисправного состояния. Решить данную задачу можно, применив перекрестные методы диагностики и анализ объемного распределения температур.

Ранее при анализе термограмм поверхности авторами успешно применялся метод определения объемного распределения температур [5] в двухмерной постановке с коррекцией граничных условий. В зависимости от диапазона изменения температур объекта производилась коррекция коэффициентов теплопроводности элементов многослойной конструкции как функции от температуры. На точность локализации внутренних дефектов оказывают влияние разрешающая способность тепловизора, применяемого для получения термограмм внешних поверхностей, и временные интервалы фиксации полей температур при нестационарном режиме.

Применялась система дифференциальных уравнений в цилиндрической системе координат:

$$\begin{cases} (1-s)\rho_k c_k \frac{\partial t_k}{\partial t} = \alpha_v (T-t) + \lambda_b \left( \frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right) \\ (-s)uc_g \frac{\partial T}{\partial x} = a_v (T-t), \end{cases}$$



**Рис. 2. Термограмма дефекта ослабших клееных соединений в шкафу управления**

**Fig. 2. Thermogram of the defect of weakened glued joints in the control cabinet**

с учетом начальных и граничных условий:

$$\tau = 0, t = t(x, R);$$

$$R = 0, \frac{\partial t}{\partial R} = 0, T = T_g;$$

$$R = R_n, k \cdot (t - t_b) = \lambda_b \left( \frac{\partial t}{\partial R} \right);$$

$$x = H, \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

где  $a_v$  – приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $s$  – параметр направления теплового потока ( $s = 1$  при охлаждении,  $s = -1$  при нагреве);  $\rho_k$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>,  $c_k$  – теплоемкость материала, Дж/кг·К;  $\lambda_b$  – теплопроводность, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $c_g$  – теплоемкость газа на границе, Дж/кг·К;  $k$  – коэффициент теплоотдачи к окружающей среде;  $R$ ,  $R_n$  – соответственно текущий и наружный радиусы рассматриваемых зон, м;  $H$  – линейный размер, м;  $t$  – температура материала, К;  $u$  – скорость теплоносителя, м/с;  $t_b$  – температура окружающей среды, К;  $T$  – температура по объему тела, К ( $T_g$  – часть массива температур  $T$  на границе объекта);  $\tau$  – время, с.

При комплексной диагностике авторами применялся анализ виброграмм контрольных точек оборудования [1]. Методами акустической и вибрационной диагностики оценивалось состояние подшипниковых узлов, кавитационных характеристик насосов [6], производился поиск утечек гидравлического оборудования, оценивалось состояние электротехнической части силового оборудования: в частности, выявлялись зоны пробоя силовых кабелей в соответствии с методическими указаниями по определению места повреждения силовых кабелей напряжением до 10 кВ РД 34.20.516-90.

**Результаты и их обсуждение**

После ремонта трехфазного силового электродвигателя [8] традиционными методами (контроль токопотребления, анализ сопротивления обмоток) дефект не был выявлен, но анализ виброграмм электродвигателя выявил аномалию (рис. 3б). Сделано предположение о наличии дефекта крепления стержней ротора. При вскрытии электродвигателя был обнаружен предполагаемый дефект (рис. 3а).

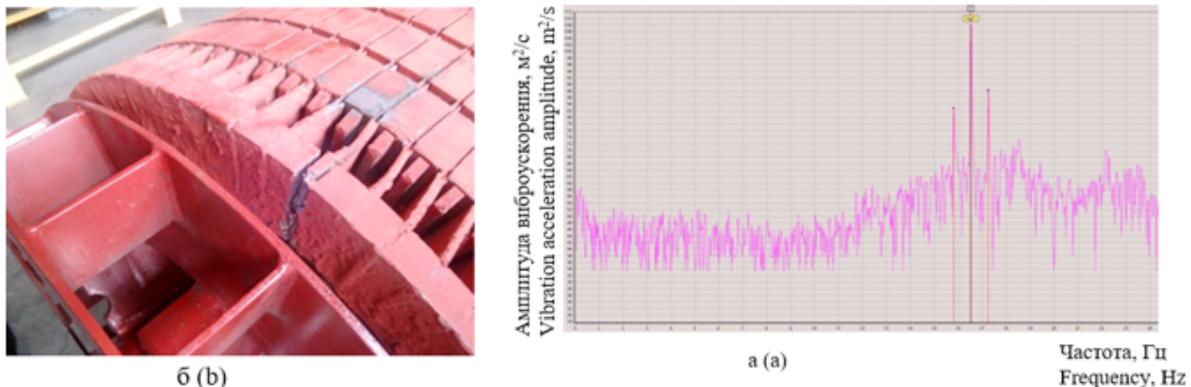
Высокая чувствительность метода затрудняет распознавание спектрограмм при наличии нескольких дефектов разной степени развития и требует высокой квалификации исполнителей, занятых расшифровкой спектра вибрационного сигнала. Комплексное использование нескольких методов оценки состояния позволяет избежать ошибок диагностирования [7]. Использование методов контроля токового сигнала оборудования позволяет значительно упростить выявление дефектов не только электрической части силовых агрегатов [8, 9], но и линейных электромагнитов систем управления. На рисунках 4, 5 представлены записи токовых сигналов, снимаемых с силовых электромагнитов исправного и неисправного электрогидравлических распределителей.

При проведении анализа изменения характера токового сигнала при функционировании электромагнитов распределителей удалось разработать методику выявления неисправностей до момента функционального отказа [6].

Проведение диагностических мероприятий сопровождается затратами [10-12]. Анализ временных затрат диагностических мероприятий приведен в таблице.

Диагностическое мероприятие включает в себя анализ технической документации на объект диагностики, оценку состояния агрегата на основании визуального осмотра, тактильной и акустической информации, непосредственно инструментальное проведение диагностических мероприятий [5]. Оценка состояния агрегата завершается анализом результатов и оценкой времени до оптимального проведения ремонтных мероприятий объекта, подготовкой технического заключения [13]. Использование метода контроля тепловых полей как метода первичной оценки состояния оправдано более чем двукратным снижением затрат времени диагностирования объектов в сравнении с методами вибродиагностики, акустического контроля, методиками, основанными на анализе продуктов износа в рабочих жидкостях [14, 15].

Для оценки эффективности применения того или иного подхода к анализу состояния объекта был получен коэффициент эффективности диагностических мероприятий. Под показателем эффективности использования методов диагностики понимается отношение затрат на проведение диагностических мероприятий с использованием существующих сертифицированных методик [16] к затратам при применении сравниваемой методики комплексной первичной диагностики с коррекцией на вероятность выявляемых дефектов. Результаты расчета коэффициента эффективности диагностических мероприятий [8]



**Рис. 3. Дефект зон крепления стержней ротора электродвигателя (а) и спектр вибрационного сигнала электродвигателя (б)**  
**Fig. 3. Defect of the attachment zones of the rotor rods of the electric motor(a); spectrum of the vibration signal of the electric motor (b)**

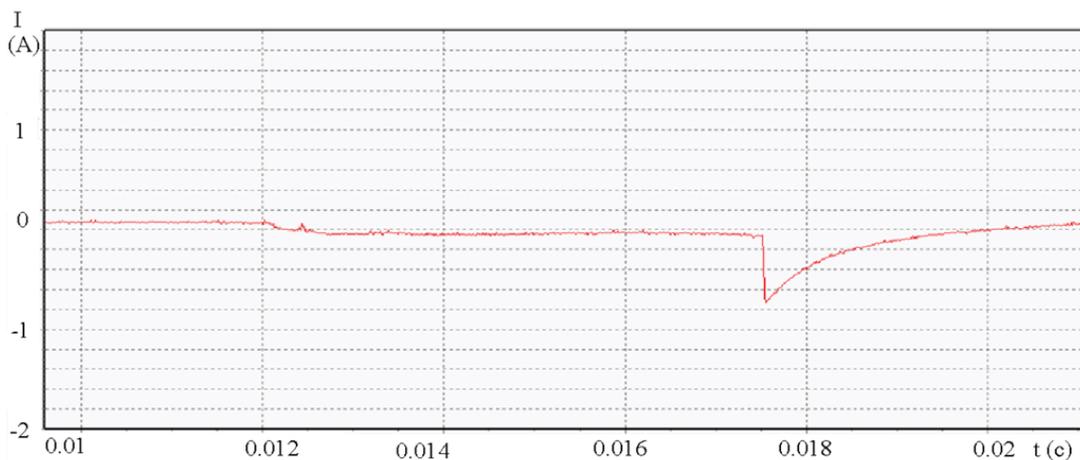


Рис. 4. Работа распределителя при отсутствии предотказного состояния  
 Fig. 4. Distributor operation in the absence of a pre-failure condition

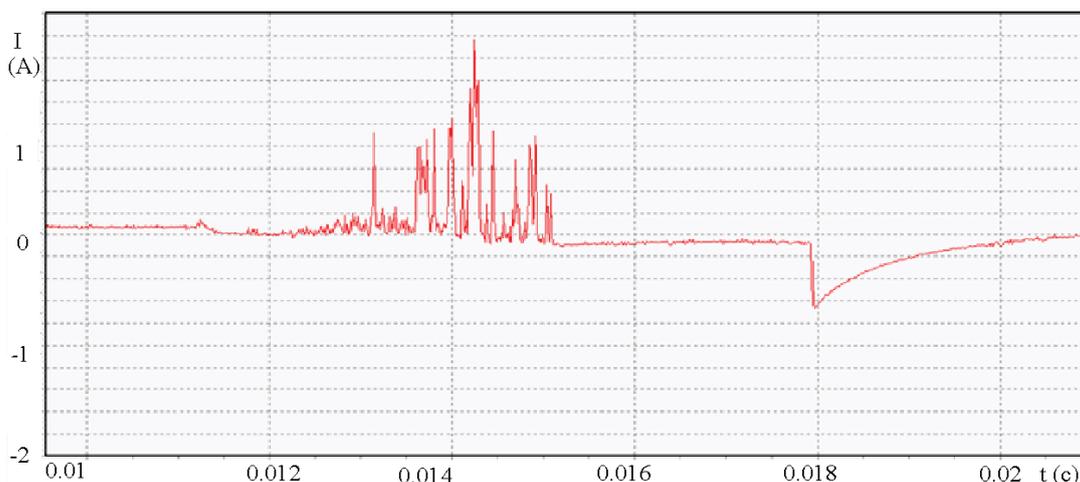


Рис. 5. Токковый сигнал при интенсивном абразивном износе золотника гидравлического распределителя  
 Fig. 5. Current signal in case of intensive abrasive wear of the hydraulic distributor spool

Время диагностирования, ч

Таблица

Diagnosis time, h

Table

Затраченное время, ч <i>Diagnosing time, h</i>	Вибро-диагностика <i>Vibration diagnostics</i>	Анализ температурных полей <i>Analysis of temperature fields</i>	Анализ токовых сигналов <i>Analysis of current signal</i>	Анализ состояния смазывающего материала <i>Analysis of the state of lubricants</i>
Работа с технической документацией <i>Working with technical documentation</i>	20,6	20,6	20,6	20,6
Диагностирование / <i>Diagnostic time</i>	10	0,75	7	4
Обработка результатов измерений <i>Processing time of measurement results</i>	10		5	10
Анализ полученных данных <i>Analyzing the received data</i>	8,1		8,1	8,1
Итого / <i>Total</i>	48,7	21,35	40,7	42,7
Норматив / <i>Standard</i>	56,98	24,98	47,62	49,96

с момента постановки диагноза приведены на рисунке 6.

Эффективность диагностических мероприятий и выявляемость дефектов зависят от степени развития дефекта и интенсивности нагружения объекта. Наиболее эффективным является применение предложенного метода за 3 месяца до выхода оборудования из строя. Эффективность метода в этом случае превысила эффективность вибродиагностики почти на 34% ( $K_{\text{ин}} = 1,41$ ,  $K_{\text{эв}} = 1,06$ ).

### Выводы

Метод комбинированной диагностики с использованием анализа внешних тепловых полей позволяет в 2 раза сократить время предварительной диагностики неисправностей со стабильным прогнозом времени отказа за 2-3 месяца до критического состояния, что снижает затраты на выявление отказов агрегатов и упрощает планирование процедур технического обслуживания.

### Список источников

1. Rednikov S., Akhmedyanova E., Akhmedyanova K., Toymurzin D. Effective diagnostics of metallurgical equipment. Proceedings-2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC, 2020. Chelyabinsk, Russia, 2020. Pp. 151-156. <https://doi.org/0.1109/GloSIC50886.2020.9267858>
2. Матвеева Т.И., Редников С.Н. Анализ применения методики экспресс-диагностики насосных агрегатов // Сельский механизатор. 2023. № 6. С. 38-40. EDN: KLDTXQ
3. Макеенко И.П., Семков В.А., Степанов А.А. Совершенствование способов контроля и диагностики электрооборудования // Материалы Национальной научно-практической конференции «Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях»: Сборник статей. Ставрополь, 2020. С. 297-300. EDN: СВАКРН
4. Редников С.Н., Закиров Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Ахмедьянова К.Т. Особенности моделирования и регулировки горелок металлургических агрегатов // Тяжелое машиностроение. 2018. № 10. С. 18-19. EDN: YWLQVN
5. Редников С.Н., Караашев Х.А. Методика оценки режимов работы насосов в системах охлаждения металлургических агрегатов // Тяжелое машиностроение. 2018. № 10. С. 20-23. EDN: VTQSAR
6. Редников С.Н., Ахмедьянова Е.Н., Ахмедьянова К.Т. Использование токовых методов контроля состояния элементов приводов металлургических агрегатов // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 11 (89). С. 27-29. EDN: YURALZ
7. Гареев А.М., Прокофьев А.Б., Рыжкова Ю.П., Стадник Д.М. Прогнозирование остаточного срока службы гидравлического насоса с применением методов машинного обучения // Динамика и виброакустика. 2021. Т. 7, № 3. С. 13-21. <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2021-7-3-13-21>
8. Лобур И.А., Негадаев В.А., Гаргаев А.Н., Котляров Р.В. Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 59-66. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-59-66>
9. Соколова О.В., Соколов И.С. Устройство для диагностики межвитковых замыканий и дефектов подшипников

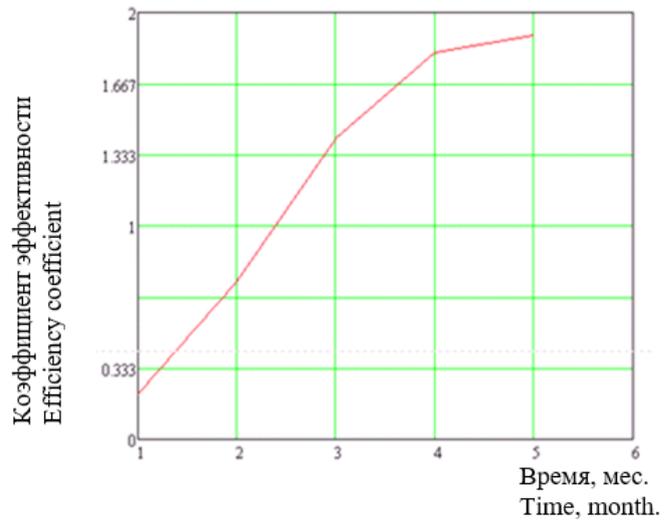


Рис. 6. Результат оценки коэффициента эффективности метода контроля внешних температурных полей

Fig. 6. Evaluation results for the efficiency coefficient of the control method of external temperature fields

### References

1. Rednikov S., Akhmedyanova E., Akhmedyanova K., Toymurzin D. Effective diagnostics of metallurgical equipment. Proceedings – 2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC2020, Chelyabinsk, Russia, 2020. Pp. 151-156. <https://doi.org/0.1109/GloSIC50886.2020.9267858>
2. Matveeva T.I., Rednikov S.N. Analysis of the application of the method of express diagnostics of pumping units. *Selskiy Mechanizator*. 2023;6:38-40. (In Russ.)
3. Makeenko I.P., Semkov V.A., Stepanov A.A. Improving methods of monitoring and diagnostics of electrical equipment. In: *Innovative trends of development in education, economics, engineering and technology. National Scientific and Practical Conference: collection of papers*. Stavropol, 2020:297-300. (In Russ.)
4. Rednikov S.N., Zakirov D.M., Akhmedyanova E.N., Akhmedyanova K.T. Features of modelling and adjusting of metallurgical units' burners. *Russian Journal of Heavy Machinery*. 2018;10:18-19. (In Russ.)
5. Rednikov S.N., Karaashev H.A. Evaluation method of pump duty in the systems of cooling melting facilities. *Russian Journal of Heavy Machinery*. 2018;10:20-23. (In Russ.)
6. Rednikov S.N., Akhmedyanova E.N., Akhmedyanova K.T. The use of the current control over the state of drive elements of metallurgical units. *Science and Business: Ways of Development*. 2018;11:27. (In Russ.)
7. Gareev A.M., Prokofiev A.B., Ryzhkova Yu.P., Stadnik D.M. Forecasting the residual service life of a hydraulic pump using machine learning methods. *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*. 2021;7(3):13-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2021-7-3-13-21>
8. Lobur I.A., Negadaev V.A., Gargaev A.N., Kotlyarov R.V. Automated system for diagnostics of the state of electric drive units. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;3(161):59-66. (In Russ.)
9. Sokolova O.V., Sokolov I.S. A device for diagnostics of turn-to-turn faults and bearings defects of induction electric motors. *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota imeni Admirala S.O. Makarova*. 2019;11(3):592-599. (In Russ.)

асинхронных электродвигателей // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11, № 3. С. 592-599. EDN: RTEUIU

10. Шакурова Р.З. Разработка надежного и энергоэффективного способа диагностики технического состояния энергетического оборудования // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 195-197. EDN: CQDRFA

11. Шичёв П.С. Решения по реализации автоматизированных систем технической диагностики электроприводного оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 12. С. 279-281. EDN: KURBIQ

12. Старцев А.Э., Шичёв П.С., Канев В.А., Канев В.В. Анализ амплитудных спектров тока и напряжения цепи питания асинхронного электродвигателя при изменении нагрузки на его валу // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2020. Т. 63, № 5. С. 32-39. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2020-5-32-39>

13. Евсюкова В.К., Сысолятина В.В., Герасимов Д.А. Thermal diagnostics of pump motor in conditions of Yakutia // AgroEcoInfo. 2019. № 1 (35). С. 33. EDN: ADZIWF

14. Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R. Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques. *E3S Web of Conferences*. 2020;220:01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001066>

15. Bashirov M.G., Khismatullin A.S., Sirotina E.V. Cooling system oil-immersed transformers with the use of a circulating sulfur hexafluoride. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2020;641LNEE:613-621. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_67)

16. Bashirov M.G., Luneva N.N., Khusnutdinova I.G., Bashirova E.M., Zakharov N.M., Gaziev R.R. Perfecting evaluation methods of energy equipment technical condition and resource based on electromagnetic-acoustic effect. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES2019. 2019;124:05034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405034>

#### Информация об авторах

**Сергей Николаевич Редников**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, доцент; srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

**Владимир Фёдорович Сторчевой**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор; v.storchevoy@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

**Елена Наильевна Ахмедьянова**<sup>3</sup>, старший преподаватель; karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

**Татьяна Ивановна Матвеева**<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доцент; timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

<sup>1,2,3,4</sup> ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Российская Федерация

#### Вклад авторов

С.Н. Редников – руководство исследованием, концептуализация

В.Ф. Сторчевой – методология

Е.Н. Ахмедьянова – проведение исследования, программное обеспечение, верификация данных, формальный анализ

Т.И. Матвеева – администрирование данных, создание рукописи и ее редактирование.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 07.11.2023, после рецензирования и доработки 19.02.2024, принята к публикации 26.02.2024

10. Shakurova R.Z. Development of a reliable and energy-efficient method for diagnosing the technical condition of power equipment. *Nauchnomu Progressu – Tvorchestvo Molodykh*. 2019;2:195-197. (In Russ.)

11. Shichev P.S. Solutions for the implementation of automated systems for technical diagnostics of electric drive equipment. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2022;12:279-281. (In Russ.)

12. Startsev A.E., Shichev P.S., Kanev V.A., Kanev V.V. Amplitude spectrum analysis of the current and voltage of the asynchronous motor power circuit when changing the load on its shaf. *Russian Electromechanics*. 2020;63(5):32-39. (In Russ.)

13. Evsyukova V.K., Sisyolyatina V.V., Gerasimov D.A. Thermal diagnostics of pump motor in conditions of yakutia. *AgroEcoInfo*. 2019;1(35):33.

14. Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R. Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques. *E3S Web of Conferences*. 2020;220:01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001066>

15. Bashirov M.G., Khismatullin A.S., Sirotina E.V. Cooling system oil-immersed transformers with the use of a circulating sulfur hexafluoride. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2020;641LNEE:613-621. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_67)

16. Bashirov M.G., Luneva N.N., Khusnutdinova I.G., Bashirova E.M., Zakharov N.M., Gaziev R.R. Perfecting evaluation methods of energy equipment technical condition and resource based on electromagnetic-acoustic effect. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES2019. 2019;124:05034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405034>

#### Author Information

**Sergei N. Rednikov**<sup>1</sup>, DSc (Eng), Associate Professor, srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

**Vladimir F. Storchevov**<sup>2</sup>, DSc (Eng), Professor, v.storchevoy@rgau-msha.ru

**Elena N. Akhmedyanova**<sup>3</sup>, senior lecturer; karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

**Tatiana I. Matveeva**<sup>4</sup>, CSc (Eng), Associate Professor, timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

<sup>1,2,3,4</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

#### Author Contribution

S.N. Rednikov – research supervision, conceptualization

V.F. Storcheva – methodology

E.N. Akhmedyanova – research, software, data verification, formal analysis

T.I. Matveeva – data curation, original draft preparation and editing

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 07.11.2023; Revised 19.02.2024; Accepted 26.02.2024.