

УДК 62-971

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

Пеньков М.М., Шевченко А.В., Наумчик И.В., Шевченко В.И.

*ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: vka@mail.ru*

В работе рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния насосных агрегатов на основе тепловизионного контроля. Данные работы позволяют сформировать общую методологию диагностирования технического состояния, построения адекватных идентификационных моделей, выбора определяющих параметров технического состояния, определения классов состояния на основе измерения прямых и расчета косвенных параметров. Техническое состояние определяется исходя из анализа температурных полей наружных стенок насосного агрегата, зарегистрированных с помощью тепловизионной камеры. После обработки полученные термограммы заносятся в базу термограмм, откуда берутся готовые расчетные эталонные нестационарные термограммы конкретных типов технического состояния насосного агрегата и сравниваются с полученной термограммой. По результатам тепловизионного контроля планируется техническое обслуживание насосного агрегата, разработка перечня ремонтно-плановых или ремонтно-восстановительных работ.

Ключевые слова: насосный агрегат, тепловизионный контроль, техническое состояние, распознавание, термограмма

DIAGNOSING OF TECHNICAL CONDITION OF PUMP UNITS ON THE BASIS OF THERMOVISION CONTROL

Penkov M.M., Shevchenko A.V., Naumchik I.V., Shevchenko V.I.

A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: vka@mail.ru

In article questions of diagnosing of technical condition of pump units on the basis of thermovision control are considered. These works allow to create the general methodology of diagnosing of technical condition, creation of adequate identification models, a choice of the defining parameters of technical condition, definition of classes of a state on the basis of measurement of straight lines and calculation of indirect parameters. Technical condition is defined proceeding from the analysis of temperature fields of the external walls of the pump unit registered by means of the thermovision camera. After processing of the thermogram are brought in base of thermograms, ready settlement reference non-stationary thermograms of concrete types technical condition of the pump unit from where undertake and are compared to the received thermogram. By results of thermovision control maintenance of the pump unit is planned, to develop the list repair and planned or rescue and recovery operations.

Keywords: pump unit, thermovision control, technical condition, recognition, thermogram

Техническая диагностика является частью системы эксплуатации и исследует формы проявления неисправностей в механизмах, разрабатывает методы и средства их обнаружения, прогнозирует на заданном интервале времени степень надежности и технического состояния механизма.

Применительно к насосным агрегатам диагностика решает следующие задачи:

- установление необходимого объема контролируемых параметров насосного агрегата для получения достаточной информации о состоянии его опорных узлов, определяющих надежность работы;

- установление признаков неисправности узлов насосного агрегата по совокупности контролируемых параметров;

- разработку методов и средств идентификации диагностических сигналов с состоянием узлов насосного агрегата;

- разработку методов прогнозирования состояния объекта;

- разработку рекомендаций по внесению в конструкцию машины конструктивных решений, направленных на упрощение и ускорение процесса диагностирования при последующей эксплуатации.

Увеличение затрат на своевременную и качественную разработку технической диагностики компенсируется существенным снижением эксплуатационных расходов и суммарных приведенных затрат, сокращения численности обслуживающего персонала.

Модель диагностирования технического состояния насосного агрегата

Представим модель объекта диагностирования технического состояния [2]:

$$M = \langle S, Pr, T, W \rangle, \quad (1)$$

где S – множество состояний объекта диагностирования; Pr – множество признаков

по которым определяется состояние объекта; T – множество температурных состояний объекта диагностирования, в момент времени τ ; W – отображение установившейся связи между S , Pr и T .

Оператор W реализует отображение установившейся связи между

$$S = \{S_i | i = \overline{0, m}\} \quad \text{и} \quad Pr = \{Pr_j | j = \overline{0, n}\}$$

и множеством $T = \{T_i(\tau) | i = \overline{0, m}\}$, такое что

$$T_0(\tau) = W(S_i, Pr), \quad S_i \in S, \quad Pr_j \in Pr.$$

Различное состояние объекта характеризуется в каждый момент времени τ , набором переменных $S_i (i = \overline{0, m})$, изменяющихся

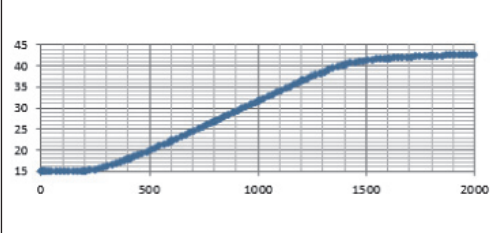
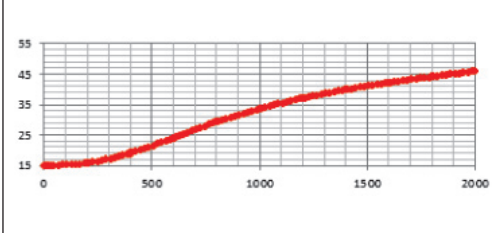
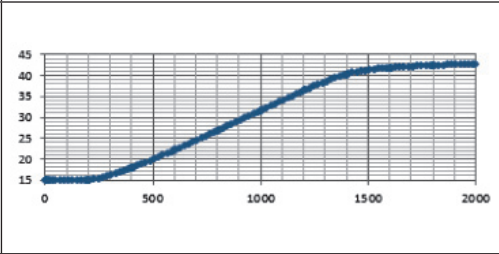
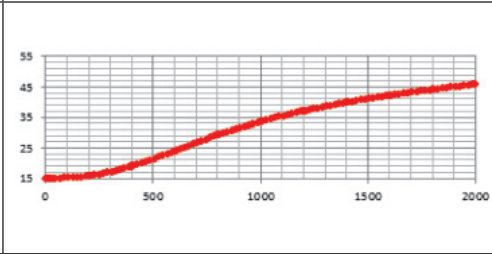
под действием отказов некоторых элементов. Задачей диагностирования технического состояния насосного агрегата является установление, является ли он в данный момент времени исправным или неисправным.

Состояние объекта определяется по выходным сигналам множества значений $T_{из} = \{T_j, | j = \overline{0, m}\}$, двух признаков Pr_j в момент диагностирования τ_d и на промежутке времени $\tau_k = 0, 1, 2, \dots, \tau_n$. Состояние объекта в момент диагностирования представляется решающим правилом (2). Расчетная модель наблюдения представлена в табл. 1, где в качестве признаков Pr_j берется зависимость температуры на корпусе насосного агрегата от времени $T_i(\tau)$

$$S^* = S_i : \Delta T_i(\tau) | T_{из}^*(\tau_d) - T_i(\tau_d) | = \min \{ \Delta T_i ; \Delta T_j \}. \quad (2)$$

Таблица 1

Расчетная модель наблюдения

Техническое состояние	$Pr_1, ^\circ\text{C}$	$Pr_2, ^\circ\text{C}$
S_0		
S_1		
S_2
S_3
S_4
S_5
...
S_n

На основании (2) происходит идентификация S путем отождествления обусловленного им состояния объекта с одним из его заданных технических состояний.

Алгоритм распознавания рабочих термограмм с расчетными эталонными нестационарными термограммами

Распознавание происходит на двумерной криволинейной развернутой поверхности корпуса насосного агрегата в заданных точках M_i (рис. 1), которые образуют температурное поле (рис. 2), ограниченное изотермами точек M_i .

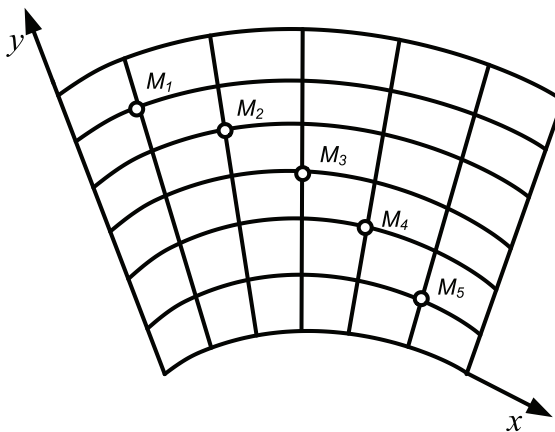


Рис. 1. Двумерная криволинейная поверхность корпуса насосного агрегата с точками M_i при распознавании эталонных нестационарных термограмм

В температурном поле на корпусе насосного агрегата точки M_i эталонной нестационарной термограммы (ЭНТГ) [5] сравниваются с точками M_i термограмм, полученных экспериментальным путем

$$\left(T_{M_i, \text{экс}}^{\tau_1} - T_{M_i, \text{энтг}}^{\tau_1} \right)^2 \leq (\Delta T)^2 \quad (3)$$

и

$$\left(\frac{\partial T_{M_i, \text{экс}}^{\tau_1}}{\partial \tau} - \frac{\partial T_{M_i, \text{энтг}}^{\tau_1}}{\partial \tau} \right)^2 \leq \left(\Delta \frac{\partial T}{\partial \tau} \right)^2. \quad (4)$$

Причем на каждом i -м шаге сравнения ($i = 1 \dots n$) должно выполняться условие

$$T_{M_i, \text{экс}} \in \left[T_{M_i, \text{энтг}}^j - \Delta T; T_{M_i, \text{энтг}}^j + \Delta T \right]; \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial T_{M_i, \text{экс}}}{\partial \tau} \right) \in \left[\left(\frac{\partial T_{M_i, \text{энтг}}}{\partial \tau} \right)^j - \Delta \frac{\partial T}{\partial \tau}; \left(\frac{\partial T_{M_i, \text{энтг}}}{\partial \tau} \right)^j + \Delta \frac{\partial T}{\partial \tau} \right]. \quad (6)$$

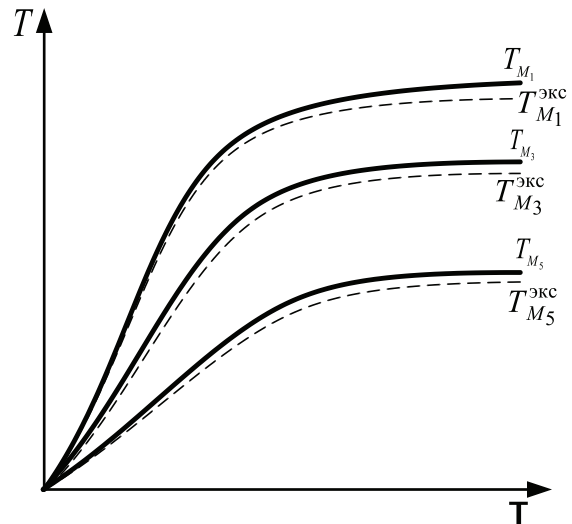


Рис. 2. Температурное поле на поверхности насосного агрегата в точках M_i

Последовательность распознавания ЭНТГ выглядит следующим образом [5]. Происходит получение средних значений T_M в точках M_i на корпусе насосного агрегата во времени. Далее происходит сравнение значений T_M с температурами $T_{\text{энтг}}$ расчетных ЭНТГ в соответствующих точках, для определения одного из заданных видов технического состояния насосного агрегата S_j . При совпадении T_M и $T_{\text{энтг}}$, выполняя условия (3)–(6) происходит определение технического состояния S_j .

Обсуждение результатов

Результаты выполненной работы предназначены для решения задачи диагностирования технического состояния насосного агрегата на основе тепловизионного контроля [1, 4].

Техническое состояние определяется исходя из анализа температур наружных температурных полей насосного агрегата, зарегистрированных с помощью тепловизионной камеры. После обработки термограммы заносятся в базу термограмм и сравниваются с расчетными ЭНТГ, для определения конкретного вида технического состояния насосного агрегата.

Такой метод позволяет сократить время, затрачиваемое на пересчет показателей работы насосного агрегата, что позволяет проводить диагностирование технического состояния в режиме реального времени.

По результатам тепловизионного контроля может планироваться техническое обслуживание насосного агрегата, разрабатываться перечень ремонтно-плановых

или ремонтно-восстановительных работ. Кроме этого, результаты, полученные при проведении диагностирования технического состояния насосных агрегата, могут быть использованы для прогнозирования его остаточного ресурса.

Заключение

Результаты выполненной работы показали необходимость выполнения комплекса работ по следующим направлениям.

1. Оценка технического состояния насосного агрегата в зависимости от количественных характеристик параметров состояния его опорных узлов:

– сбор и обработка статистических данных распределения вероятностей отказов и закономерностей их появления;

– выбор оптимального количества независимых параметров технического состояния насосного агрегата;

– установление области номинальных и предельных значений параметров состояния опорных узлов насосного агрегата;

– исследование динамики изменения количественных характеристик параметров состояния опорных узлов насосного агрегата для прогнозирования их остаточного ресурса.

2. Оценка информационной емкости параметров выходных процессов в опорных узлах насосного агрегата, путем анализа причинно-следственных связей между их структурными параметрами и обоснования выбора диагностических сигналов:

– установление связи между характером взаимодействия структурных параметров и выходными процессами в опорных узлах;

– количественная оценка параметров выходных процессов в зависимости от параметров технического состояния объекта.

3. Разработка методов диагностирования и технических средств их осуществления:

– выбор параметров диагностических сигналов;

– разработка технических средств осуществления диагностирования;

– разработка технологии диагностирования;

– идентификация параметров диагностических сигналов с параметрами технического состояния объекта и разработка эталонов нормального состояния узла.

4. Стандартизация критериев оценки технического состояния насосного агрегата и элементов системы диагностики [3].

Список литературы

1. Будадин О.Н. Тепловой неразрушающий контроль изделий: научно-методическое пособие. – М.: Наука, 2002. – 472 с.

2. Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика: учебник. – М.: МО СССР, 1987. – 521 с.

3. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.

4. Неразрушающий контроль: справочник / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – Т.5: Тепловой контроль. – 679 с.

5. Шевченко А.В., Наумчик И.В., Полупан А.В. Моделирование температурных полей неисправного электронасоса ЦН-112М для получения эталонных термограмм // Контроль. Диагностика. – М.: Спектр, 2012. – № 4. – С. 55–59.

References

1. Budadin O.N. Teplovoj nerazruchauchij control izdelij: nauchno-metodicheskoe posobie. M.: Nauka, 2002. 472 p.

2. Dmitriev A.K., Yusupov R.M. Identifikatsiya i tekhnicheskaya diagnostika: uchebnik. M.: MO SSSR, 1987. 521 p.

3. Kanevskiy I.N., Salnikova E.N. Nerazrushaushie metodi kontrolja: ucheb. posobie // Vladivostok: Izd-vo DVG TU, 2007. 243 p.

4. Nerazrushaushij control: spravochnik / pod obsh. red. V.V. Klueva. M.: Mashinostroenie, 2005. T. 5: Teplovoj control. 679 p.

5. Shevchenko A.V., Polupan A.V., Naumchik I.V. Modelirovanie temperaturnuch polej neispravnogo elektronasosa CN-112 dlja poluchenija etalonnuch termogramm // Kontrol. Diagnostika. no. 4. M.: SPEKTR, 2012. pp. 55–59.