

УДК 004.934.1'1

**Е.Е. Федоров**Донецкий институт автомобильного транспорта, г.Донецк  
кафедра специализированных компьютерных системE-mail: [fee75@mail.ru](mailto:fee75@mail.ru)**МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК  
НА СТАДИИ МОНТАЖА И НАЛАДКИ****Abstract**

**Fedorov E. Methodology of research fan of the plant at the stage of mounting and adjustment.** In the article the methodology of research fan of the plant at the stage of mounting and adjustment is offered which includes a classification of modes and loads of units fan of the plant, identification of modes, criteria estimation of recognition of modes of units fan of the plant, recognition of modes, estimation of modes and control of loads.

**Keywords:** fan of the plant, editing and adjusting, classification of the modes, classification of loadings, recognition of the modes, recognition of loadings.

**Аннотация**

**Федоров Е.Е. Методология исследования вентиляторных установок на стадии монтажа и наладки.** В статье предложена методология исследования вентиляторных установок на стадии монтажа и наладки, которая включает в себя классификацию режимов и нагрузок узлов вентиляторных установок, идентификацию режимов, критериальное оценивание распознавания режимов узлов вентиляторных установок, распознавание режимов, оценивание режимов и контроля нагрузок.

**Ключевые слова:** вентиляторная установка, монтаж и наладка, классификация режимов, классификация нагрузок, распознавание режимов, распознавание нагрузок.

**Анотація**

**Федоров Є.Є. Методологія дослідження вентиляторних установок на стадії монтажу й налагодження.** У статті запропонована методологія дослідження вентиляторних установок на стадії монтажу й налагодження, що містить у собі класифікацію режимів і навантажень вузлів вентиляторних установок, ідентифікацію режимів, критериальне оцінювання розпізнавання режимів вузлів вентиляторних установок, розпізнавання режимів, оцінювання режимів і контролю навантажень.

**Ключові слова:** установка вентилятора, монтаж і наладка, класифікація режимів, класифікація навантажень, розпізнавання режимів, розпізнавання навантажень.

**Общая постановка проблемы.** В современной отечественной и мировой практике активно ведутся разработки интеллектуальных систем диагностики и управления электромеханическими системами, и, в частности, вентиляторными установками. При создании системы интеллектуальной диагностики необходимо решить задачу анализа состояния вентиляторных установок на стадии монтажа и наладки.

**Анализ исследований.** В работах [1–3] приводятся методы цифровой обработки сигнала. В работах [4–5], рассматриваются методы вибродиагностики, не учитывающие стадию наладки.

**Постановка задачи исследования.** Создать методологию исследования вентиляторных установок на стадии монтажа и наладки.

**Решение задачи.** Предлагаемая методология исследования вентиляторных установок (ВУ) на стадии монтажа и наладки включает в себя следующие этапы:

- 1) Классификация режимов и нагрузок узлов ВУ
- 2) Идентификация режимов
- 3) Критериальное оценивание распознавания режимов узлов ВУ
- 4) Распознавание режимов
- 5) Оценивания режимов и контроля нагрузок

**1. Классификации режимов и нагрузок узлов вентиляторных установок.**

Принципы классификации режимов узлов ВУ заключаются в следующем.

$\Omega_{vw} = \{\omega_{vwz}\}$  — класс объектов (узлов ВУ в режимах),  $z \in \overline{1, Z_{vw}}$ ,  $w \in \overline{1, W_v}$ ,  $v \in \overline{1, 3}$ ,

$v$  — индекс режима,  $w$  — долевого индекса нагрузки  $v$ -го режима,  $z$  — номер под-класса узлов ВУ,  $W_v$  — количество подклассов для  $v$ -го режима,  $Z_{vw}$  — количество под-классов узлов для  $v$ -го режима  $w$ -й нагрузки,

$$v = \begin{cases} 1, & \text{пуск} \\ 2, & \text{нормальная работа} \\ 3, & \text{останов} \end{cases}$$

$\forall \Omega_{vw} \exists \omega_{vwz} : \omega_{vwz} \leftrightarrow D_{vwz}$ ,  $z \in \overline{1, Z_{vw}}$ ,  $w \in \overline{1, W_v}$ ,  $v \in \overline{1, 3}$ ,

$D_{vwz} = ((\pi_{z1}, \vartheta_{z1}), \dots, (\pi_{zN}, \vartheta_{zN}))$  — эталон узла ВУ в режиме,

$\pi_{zk}$ ,  $k \in \overline{1, N}$  — математические ожидания значений диагностических признаков узлов ВУ в режимах,

$\vartheta_{zk}$ ,  $k \in \overline{1, N}$  — среднеквадратические отклонения значений диагностических признаков узлов ВУ в режимах,

$N$  — количество признаков.

$\Omega_v = \{\omega_{vw}\}$  — класс объектов (режимов),  $w \in \overline{1, W_v}$ ,  $v \in \overline{1, 3}$ ,

$v$  — индекс режима,  $w$  — долевого индекса нагрузки  $v$ -го режима,  $W_v$  — количество подклассов для  $v$ -го режима

$$v = \begin{cases} 1, & \text{пуск} \\ 2, & \text{нормальная работа} \\ 3, & \text{останов} \end{cases}$$

$\forall \Omega_v \exists \omega_{vw} : \omega_{vw} \leftrightarrow D_{vw}$ ,  $w \in \overline{1, W_v}$ ,  $v \in \overline{1, 3}$ ,

$D_{vw} = ((\xi_1, \zeta_1), \dots, (\xi_N, \zeta_N))$  — эталон режима,

$\xi_k$ ,  $k \in \overline{1, N}$  — математические ожидания значений диагностических признаков режимов,

$\zeta_k$ ,  $k \in \overline{1, N}$  — среднеквадратические отклонения значений диагностических признаков режимов,

**2. Идентификация режимов.**

Идентификации режимов узлов ВУ на стадии наладки включает в себя следующие шаги:

- 1) Вычисление спектра  $B^p(k)$  акустического сигнала  $x^p(n)$  для каждой  $p$ -й обучающей реализации узлов посредством прямого дискретного преобразования Фурье

$$X^p(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x^p(n) e^{-j(2\pi/N)nk}, \quad k \in \overline{0, N-1}$$

$$B^p(k) = |X^p(k)|, \quad k \in \overline{0, N-1},$$

где  $N$  — длина сигнала,

2) Центрирование сигнала на основе множества допустимых частот для всей ВУ ( $K2_{vw}$ ) и ее узлов ( $K2_{v wz}$ )

$$\widehat{B}^p(k) = \begin{cases} B^p(k), & k \in K2_{vw}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

$$\widehat{B}_z^p(k) = \begin{cases} B^p(k), & k \in K2_{v wz}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

3) Вычисление обратного преобразования Фурье

$$\check{B}^p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \widehat{B}^p(k) e^{j(2\pi/N)nk}, \quad n \in \overline{0, N-1}$$

$$\check{B}_z^p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \widehat{B}_z^p(k) e^{j(2\pi/N)nk}, \quad n \in \overline{0, N-1}$$

4) Вычисление среднеквадратичного значения, пик-фактора и эксцесса

$$\check{B}^p(1) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\check{B}^p(n))^2} \quad \check{B}_z^p(1) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\check{B}_z^p(n))^2}$$

$$\check{B}^p(2) = \frac{\max_{n \in \overline{0, N-1}} \check{B}^p(n)}{\check{B}^p(1)} \quad \check{B}_z^p(2) = \frac{\max_{n \in \overline{0, N-1}} \check{B}_z^p(n)}{\check{B}_z^p(1)}$$

$$\check{B}^p(3) = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3,$$

$$\mu_4 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}^p(n) \right)^4, \quad \mu_2^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}^p(n) \right)^2 \right)^2,$$

$$\check{B}_z^p(3) = \frac{\mu_{4z}}{\mu_{2z}^2} - 3,$$

$$\mu_{4z} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}_z^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}_z^p(n) \right)^4, \quad \mu_{2z}^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}_z^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}_z^p(n) \right)^2 \right)^2$$

5) Определение характеристик эталонов  $D_{vw}$  и  $D_{v wz}$  для режимов и узлов ВУ в режимах соответственно

$$\pi_{zk} = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \check{B}_z^p(k), \quad k \in \overline{1, 3} \quad \text{— оценки математических ожиданий среднеквадратичного}$$

значения, пик-фактора и эксцесса узлов ВУ в режимах,

$$\mathcal{G}_{zk} = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (\check{B}_z^{sp}(k))^2} - (\pi_{zk})^2, \quad k \in \overline{1, 3} \quad \text{— среднеквадратические отклонения средне-$$

квадратичного значения, пик-фактора и эксцесса узлов ВУ в режимах,

$$D_{v wz} = ((\pi_{z1}, \mathcal{G}_{z1}), \dots, (\pi_{zN}, \mathcal{G}_{zN})),$$

$$\forall \Omega 2_{vw} \exists \omega_{v wz} : \omega_{v wz} \leftrightarrow D_{v wz}, \quad z \in \overline{1, Z_{vw}}, \quad w \in \overline{1, W_v}, \quad v \in \overline{1, 3},$$

$$\xi_k = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \check{B}^p(k), \quad k \in \overline{1, 3} \quad \text{— оценки математических ожиданий среднеквадратичного}$$

значения, пик-фактора и эксцесса узлов ВУ в режимах,

$$\zeta_k = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (\tilde{B}^{sp}(k))^2 - (\xi_k)^2}, \quad k \in \overline{1,3} \quad \text{— среднеквадратические отклонения средне-}$$

квадратичного значения, пик-фактора и эксцесса узлов ВУ в режимах,

$$D_{vw} = ((\xi_1, \zeta_1), \dots, (\xi_N, \zeta_N)), \\ \forall \Omega_{2_v} \exists \omega_{vw}: \omega_{vw} \leftrightarrow D_{vw}, \quad w \in \overline{1, W_v}, \quad v \in \overline{1,3},$$

где  $p$  — номер реализации,  $P$  — количество реализаций

### 3. Критериальное оценивание распознавания режимов узлов вентиляторных установок.

Функционал критериального оценивания распознавания режимов узлов ВУ представлен в следующем виде

$$F2 = \psi 2(\phi 2(x), D_{vw}(\xi_k^*)) \rightarrow \min_{\xi_k^*},$$

Ограничения:

$$\xi_{\min} \leq \xi_k^*, \quad \xi_k^* \leq \xi_{\max} \quad \text{— на оценки математических ожиданий,}$$

где  $\phi 2(x)$  — функционал определения вектора признаков на основе предложенной идентификации эталонов режимов (шаги 1–4 пункта 4),  $\phi 2(x) = \phi 2_4(\phi 2_3(\phi 2_2(\phi 2_1(x))))$

$\psi 2(\phi 2(x), D_{vw}(\xi_k^*))$  — функционал определения меры близости полученного вектора признаков и эталона режима (шаг 5 пункта 4),

$x(n)$  — акустический входной сигнал,  $D_{vw}$  — эталоны режимов.

если  $F2(\xi_k^*) > \varepsilon 2(\zeta_k^*)$ , то

$$F2_z = \psi 2(\phi 2(x), D_{vwz}(\pi_{zk}^*)) \rightarrow \min_{\pi_{zk}^*},$$

Ограничения:

$$\pi_{\min} \leq \pi_{zk}^*, \quad \pi_{zk}^* \leq \pi_{\max} \quad \text{— на оценки математических ожиданий,}$$

где  $\phi 2(x)$  — функционал определения вектора признаков на основе предложенных методик идентификации эталонов узлов ВУ в режимах (шаги 1–4 пункта 4),  $\phi 2(x) = \phi 2_4(\phi 2_3(\phi 2_2(\phi 2_1(x))))$

$\psi 2(\phi 2(x), D_{vwz}(\pi_{zk}^*))$  — функционал определения меры близости полученного вектора признаков и эталона узла ВУ в режиме (шаг 6 пункта 4),

$x(n)$  — акустический входной сигнал,

$D_{vwz}$  — эталоны узлов ВУ в режимах.

**4. Распознавание режимов.** Идентификации режимов узлов ВУ на стадии наладки состоит из следующих шагов:

1) Вычисление спектра  $B(k)$  акустического сигнала  $x^p(n)$  посредством прямого дискретного преобразования Фурье ( $\phi 2_1 : x \rightarrow B$ )

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(2\pi/N)nk}, \quad k \in \overline{0, N-1} \\ B(k) = |X^p(k)|, \quad k \in \overline{0, N-1},$$

где  $N$  — длина сигнала,

2) Центрирование сигнала на основе множества допустимых частот для всей ВУ ( $K2_{vw}$ ) и ее узлов ( $K2_{vwz}$ ) ( $\phi 2_2 : B \rightarrow \tilde{B}$ )

$$\widehat{B}^p(k) = \begin{cases} B^p(k), & k \in K2_{vw}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\widehat{B}_z^p(k) = \begin{cases} B^p(k), & k \in K2_{vwz}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

3) Вычисление обратного преобразования Фурье ( $\phi2_3 : \widehat{B} \rightarrow \check{B}$ )

$$\check{B}^p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \widehat{B}^p(k) e^{j(2\pi/N)nk}, \quad n \in \overline{0, N-1}$$

$$\check{B}_z^p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \widehat{B}_z^p(k) e^{j(2\pi/N)nk}, \quad n \in \overline{0, N-1}$$

4) Вычисление среднеквадратичного значения, пик-фактора и эксцесса ( $\phi2_4 : \check{B} \rightarrow \check{B}$ )

$$\check{B}^p(1) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\check{B}^p(n))^2} \quad \check{B}_z^p(1) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\check{B}_z^p(n))^2}$$

$$\check{B}^p(2) = \frac{\max_{n \in \overline{0, N-1}} \check{B}^p(n)}{\check{B}^p(1)} \quad \check{B}_z^p(2) = \frac{\max_{n \in \overline{0, N-1}} \check{B}_z^p(n)}{\check{B}_z^p(1)}$$

$$\check{B}^p(3) = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3,$$

$$\mu_4 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}^p(n) \right)^4, \quad \mu_2^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}^p(n) \right)^2 \right)^2,$$

$$\check{B}_z^p(3) = \frac{\mu_{4z}}{\mu_{2z}^2} - 3,$$

$$\mu_{4z} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}_z^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}_z^p(n) \right)^4, \quad \mu_{2z}^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \check{B}_z^p(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \check{B}_z^p(n) \right)^2 \right)^2$$

5) Сопоставление вектора признаков  $\check{B}$  с эталонами  $D_{vw}$  на основе метрики  $N$ -мерного евклидова пространства  $\psi2$

$$F2 = \psi2(\check{B}, D_{vw}(\xi_k^*)) = \left\| \check{B} - D_{vw}(\xi_k^*) \right\| = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (\check{B}(k) - \xi_k^*)^2} \rightarrow \min_{\xi_k^*}$$

$$\xi_{\min} \leq \xi_k^*, \quad \xi_k^* \leq \xi_{\max},$$

$$\varepsilon2 = \left\| D_{vw}(\xi_k^*) \right\| = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (\xi_k^*)^2} \text{ — норма } N\text{-мерного евклидова пространства}$$

если  $F2(\xi_k^*) > \varepsilon2(\xi_k^*)$ , то переход к шагу 6

6) Сопоставление вектора признаков  $\check{B}$  с эталонами  $D_{vwz}$  на основе метрики  $N$ -мерного евклидова пространства  $\psi2$

$$F2_z = \psi2(\check{B}_z, D_{vwz}(\pi_{zk}^*)) = \left\| \check{B}_z - D_{vwz}(\pi_{zk}^*) \right\| = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (\check{B}_z(k) - \pi_{zk}^*)^2} \rightarrow \min_{\pi_{zk}^*}$$

$$\pi_{\min} \leq \pi_{zk}^*, \quad \pi_{zk}^* \leq \pi_{\max},$$

$$\varepsilon 2_z = \|D_{vwz}(g_{zk}^*)\| = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (g_{zk}^*)^2} \text{ — норма } N\text{-мерного евклидова пространства}$$

Если  $F 2_r(\pi_{zk}^*) > \varepsilon 2_z(g_{zk}^*)$ , то обнаружен дефект  $z$ -го типа

### 5. Оценивание режимов и контроля нагрузок

Оценивания режимов и контроля нагрузок состоит из следующих шагов:

1) Диагностика режимов:

а) пуск

$$v = 1 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 < \varepsilon 2 \rightarrow q = 1 \wedge \Pi 2_{vw} = D_{vw}$$

$$v = 1 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 > \varepsilon 2 \rightarrow q = 0$$

б) нормальная работа

$$v = 2 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 < \varepsilon 2 \rightarrow q = 1 \wedge \Pi 2_{vw} = D_{vw}$$

$$v = 2 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 > \varepsilon 2 \rightarrow q = 0$$

в) останов

$$v = 3 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 < \varepsilon 2 \rightarrow q = 1 \wedge \Pi 2_{vw} = D_{vw}$$

$$v = 3 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2 > \varepsilon 2 \rightarrow q = 0$$

2)  $z := 1$

3)  $z \leq Z_{vw}$

4) Контроль нагрузки

$$1 \leq v \leq 3 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2_z > \varepsilon 2_z \rightarrow q_z = 1$$

$$1 \leq v \leq 3 \wedge 1 \leq w \leq W_v \wedge F 2_z < \varepsilon 2_z \rightarrow q_z = 0$$

5)  $z := z + 1$ , переход к шагу 3

где  $\Pi 2_{vw}$  — паспорт для  $v$ -го режима с  $w$ -й нагрузкой,  $q$  — состояние ВУ ( $q = 1$  — режим соответствует,  $q = 0$  — режим не соответствует),  $q_z$  — признак дефекта  $z$ -го узла ВУ ( $q_z = 1$  — узел ВУ исправен,  $q_z = 0$  — узел ВУ неисправен)

### Выводы.

1) В статье была предложена методология исследования вентиляторных установок (ВУ) на стадии монтажа и наладки. Эта методология включает в себя классификацию режимов и нагрузок узлов ВУ, идентификацию режимов, критериальное оценивание распознавания режимов узлов ВУ, распознавание режимов, оценивание режимов и контроля нагрузок.

2) Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах управления электромеханическими системами

### Литература

1. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. — М.: Радио и связь, 1981. — 496 с.
2. Секунов Н.Ю. Обработка звука на РС. — СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 2001. — 1248 с.
3. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 448 с.
4. Карасев В.А., Ройтман А.Б. Доводка эксплуатируемых машин. Вибродиагностические методы. — М.: Машиностроение, 1986. — 192 с.
5. Баркова В.А. Современное состояние виброакустической диагностики машин. — С.-П.: Ассоциация ВАСТ, 2002. — 100 с.

Здано в редакцію:  
16.03.2009р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н, проф. Чичикало Н.І.