

Разработка Алгоритмов и Программных Средств для Выявления Неисправностей Технических Объектов на Ранней Стадии

Тельман Алиев¹, Наиля Мусаева², Матанат Сулейманова³

^{1,3}Институт Систем Управления НАНА, Баку, Азербайджан

²Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, Баку, Азербайджан

¹telmancyber@gmail.com, ²musanaila@gmail.com, ³metanet_suli@yahoo.com

Аннотация— Разработаны алгоритмы и технологии вычисления характеристик помехи, которая зарождается в результате появления неисправности в техническом состоянии объекта. Разработаны программные средства вычисления этих характеристик. Показано, что применение данных пакетов программ в системах мониторинга, контроля, диагностики, управления и т.д. позволяет выявить неисправность на ранней стадии, и, таким образом, предотвратить возникновение аварийных ситуаций.

Ключевые слова— помеха, неисправность, пакет программ, мониторинг

I. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что при работе систем мониторинга, контроля, диагностики, прогноза, идентификации, управления и т.д. на технологические параметры $X(t)$ действуют различные помехи $E(t)$, под действием которых происходит искажение сигналов:

$$G(t) = X(t) + E(t). \quad (1)$$

Это внутренняя помеха, которая возникает в результате изменения технического состояния исследуемого объекта вследствие появления дефектов, износов, коррозии, трещин, поломок и т.д. Например, при эксплуатации штанговых насосов помехи появляются от зарождения таких неисправностей, как прихват плунжера, утечка нагнетательного клапана (УНК), утечка нагнетательного клапана (УНК) и труб, утечка приемного клапана (УПК), течь в насосных трубах, ослабление, приводящее к обрыву штанг. Для объектов теплоснабжения помехи появляются в результате таких неисправностей, как изношенность котельного оборудования; повреждения, возникающие на действующих газопроводах; повреждение тепловых сетей, связанные с образованием наружной коррозии трубопроводов; коррозионное разрушение металлов трубопровода в водной среде; потеря напора трубопровода от утечки воды; накипные отложения в теплообменниках и т.д. [1, 2].

Из всех перечисленных неисправностей самыми опасными неисправностями являются те, которые могут привести к аварийным ситуациям, а также к необходимости проведения капитального ремонта и

остановки работы оборудования. Самыми безопасными являются те, устранение которых сводится всего лишь к локализации места образования дефекта. А это возможно только в том случае, если определить дефект на ранней стадии. Существующие методы выявления дефектов сводятся к техническому решению этой проблемы, когда дефект приобретает явно выраженную форму [3-5]. В работах же [6-10] показано, что вычисление значений характеристик помехи, которая появляется в результате возникновения дефекта, позволяет на ранней стадии установить наличие неисправности в техническом состоянии исследуемого объекта. Причем по значению среднего квадратического отклонения помехи можно выявить момент зарождения дефекта, а по функции плотности распределения можно выявить степени развития этой неисправности. Использование алгоритмов, технологий и программных средств вычисления характеристик помехи в системах мониторинга и контроля позволит выявить неисправность технических объектов на ранней стадии и своевременно провести соответствующие ремонтные работы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На временном интервале $0 \leq t \leq T$ наблюдается непрерывный случайный стационарный эргодический зашумленный технологический процесс $G(t)$, состоящий из суммы случайной полезной составляющей $X(t)$ и случайной помехи $E(t)$, которые также являются стационарными эргодическими и их невозможно выделить из $G(t)$. Случайный процесс $G(t)$ может подчиняться различным законам распределения и для него можно вычислить выборочные оценки таких характеристик как математическое ожидание m_G , дисперсию D_G , среднее квадратическое отклонение σ_G , корреляционную функцию $R_{GG}(\tau)$ по формулам [11-12]:

:

$$m_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G(i\Delta t) \quad (2)$$

$$D_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G(i\Delta t) - m_G)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{G}(i\Delta t), \quad (3)$$

$$\sigma_G = \sqrt{D_G}, \quad (4)$$

$$R_{GG}^{\circ}(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{G}(i\Delta t) \overset{\circ}{G}((i+\mu)\Delta t) \quad (5)$$

где $\overset{\circ}{G}(t) = G(t) - m_G$, $\tau = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ – временной сдвиг.

Известно, что в системе мониторинга, контроля, диагностики, прогноза, управления, идентификации и т.д. помеха появилась в результате возникновения дефектов, неисправностей, неполадок и т.д., имеет нормальное распределение $N(\varepsilon; m_\varepsilon, \sigma_\varepsilon)$ и нулевое среднее $m_\varepsilon = 0$. Так как стационарная случайная помеха $E(t)$ является эргодической, то ее математическое ожидание m_E и среднее квадратическое отклонение σ_E имеют одно и то же значение для любой из случайных функций, входящих в совокупность. Поэтому функцию плотности нормального распределения $N(\varepsilon; m_E, \sigma_E) = N(\varepsilon)$ помехи представим в виде [11-12]:

$$N(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma_E \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\varepsilon - m_\varepsilon)^2}{2\sigma_E^2}}. \quad (6)$$

Из этой формулы очевидно, что для определения функции плотности распределения $N(\varepsilon)$ помехи $E(t)$, необходимо знание среднего квадратического отклонения σ_E , которое неизвестно, и его значение невозможно выделить из зашумленного процесса $G(t)$. Поэтому ниже предлагается алгоритм и пакет программ вычисления среднего квадратического отклонения σ_E помехи $E(t)$ и использования его для определения дискретных значений функции плотности нормального распределения $N(\varepsilon)$ помехи.

III. АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОМЕХИ

Пусть от датчика, размещенного в зоне действия влияющих на объект факторов, поступают цифровые значения аддитивного зашумленного цифрового сигнала $G(\Delta t)$, состоящего из полезного сигнала $X(\Delta t)$ и помехи $E(\Delta t)$. Шаг дискретизации Δt выбранным в соответствии с условием: $\Delta t = 1/2\omega_E$, где ω_E – частота среза помехи [11-12]:

Тогда алгоритм вычисления дискретных значений функции плотности распределения $N^*(\varepsilon)$ помехи $E(\Delta t)$ можно представить следующим образом [6-10]:

1) Вычисляются дискретные оценки автокорреляционной функции централизованного зашумленного сигнала $G(\Delta t)$ при $\mu = 0, \Delta t, 2\Delta t$:

$$R_{GG}^{\circ}(\mu = 0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{G}(i\Delta t) \overset{\circ}{G}(i\Delta t), \quad (7)$$

$$R_{GG}^{\circ}(\mu = \Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{G}(i\Delta t) \overset{\circ}{G}((i+1)\Delta t), \quad (8)$$

$$R_{GG}^{\circ}(\mu = 2\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overset{\circ}{G}(i\Delta t) \overset{\circ}{G}((i+2)\Delta t). \quad (9)$$

2) Вычисляется среднее квадратическое отклонение σ_E^* помехи $E(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ [3-10]:

$$\sigma_E^* = \sqrt{D_E^*}, \quad (10)$$

где

$$D_E^* = R_{GG}^{\circ}(\mu = 0) - 2R_{GG}^{\circ}(\mu = \Delta t) + R_{GG}^{\circ}(\mu = 2\Delta t).$$

3) С определенным шагом $\Delta\varepsilon$ задается последовательность возможных значений помехи $E(t)$ в порядке возрастания от ε_{\min} до ε_{\max} :

$$\varepsilon(1) = \varepsilon_{\min}, \quad \varepsilon(i+1) = \varepsilon(i) + \Delta\varepsilon, \quad \dots, \quad \varepsilon_{\max},$$

и формируется последовательность возможных значений помехи

$$\varepsilon(1), \quad \varepsilon(2), \quad \varepsilon(3), \quad \dots, \quad \varepsilon_{\max},$$

для которой выполняется условие $\varepsilon(i-1) < \varepsilon(i)$.

Затем в точках $\varepsilon(1), \varepsilon(2), \varepsilon(3), \dots, \varepsilon_{\max}$ вычисляется функция плотности нормального распределения помехи $E(t)$. Учитывая, что $m_\varepsilon = 0$, получаем

$$N^*(\varepsilon(i)) = \frac{1}{\sigma_E^* \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\varepsilon^2(i)}{2(\sigma_E^*)^2}}. \quad (11)$$

Вычисляется максимум функции плотности распределения $N_{\max}(\varepsilon)$ помехи $E(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$:

$$N_{\max}^*(\varepsilon = 0) = \frac{1}{\sigma_E^* \sqrt{2\pi}}. \quad (12)$$

4) Вычисляются координаты точек перегиба функции плотности распределения помехи:

- для первой точки по оси абсцисс:

$$AE1 = -\sqrt{\sigma_E^*}; \quad (13)$$

- для второй точки по оси абсцисс:

$$AE2 = \sqrt{\sigma_E^*}; \quad (14)$$

- для первой и второй точек по оси ординат:

$$OE = \frac{1}{\sqrt{2\sigma_E^*\pi}}. \quad (15)$$

IV. ОПИСАНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ И ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОМЕХИ

Программы вычисления среднего квадратического отклонения и функции плотности распределения помехи написаны с использованием средства компьютерной математики MATLAB. Пакет программ состоит из следующих блоков.

1. Вводятся дискретные значения $G(i\Delta t)$ исследуемого сигнала.

2. Вычисляются дискретные оценки автокорреляционной функции центрированного зашумленного сигнала $G(\Delta t)$ при $\mu = 0$, Δt , $2\Delta t$:

```
rg(1:20)=0;
fori=1:20
for j=1:raz
rg(i)=rg(i)+(g(j)-mean(g))*(g(j+i-1)-mean(g));
end;
rg(i)=rg(i)/raz;
end;
```

3. Вычисляется дисперсия D_E^* помехи:

$$dx1=rg(1)+rg(3)-2*rg(2);$$

4. Вычисляется среднее квадратическое отклонение σ_E^* помехи:

$$sdx1=sqrt(dx1);$$

5. Вычисляется функция плотности распределения помехи $E(t)$:

```
vmue=0;
ve1=vmue-3*sdx1:1:vmue+3*sdx1;
```

```
vye = normpdf(e1,vmue,sdx1);
```

6. Вычисляется максимум функции плотности распределения помехи $E(t)$:

```
vuemax=max(vye);
vuemaxv=1/(sdx1*(2*pi)^(1/2));
```

7. Вычисляются координаты точек перегиба функция плотности распределения помехи:

```
vtpel=vmue-sdx1;
vtpel2=vmue+sdx1;
vtpye=1/(sdx1*(2*pi*exp(1))^(1/2));
```

V. АЛГОРИТМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА РАННЕЙ СТАДИИ С ПОМОЩЬЮ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХИ

Ниже предлагается алгоритмы и технологии выявления неисправностей технических объектов на ранней стадии с помощью характеристик помехи.

1. В момент времени t_1 вычисляются значения дисперсии помехи $D_{E_{t_1}}^*$, среднее квадратическое отклонение $\sigma_{E_{t_1}}^*$, значений функции плотности распределения $N_{t_1}^*(\varepsilon(i))$, ее максимума $N_{t_1,\max}^*(0)$ и точек перегиба по оси абсцисс $A1_{t_1}$, $A2_{t_1}$ и ординат O_{t_1} ; полученные значения заносятся в банк данных.

2. Затем в момент времени t_2 вычисляются значения дисперсии помехи $D_{E_{t_2}}^*$, среднее квадратическое отклонение $\sigma_{E_{t_2}}^*$, значений функции плотности распределения $N_{t_2}^*(\varepsilon(i))$, ее максимума $N_{t_2,\max}^*(0)$ и точек перегиба по оси абсцисс $A1_{t_2}$, $A2_{t_2}$ и ординат O_{t_2} ; полученные значения также заносятся в банк данных.

3. Проводится анализ оценок помехи, полученных в моменты времени t_1 и t_2 , и делаются следующие выводы.

3.1. Если

$$D_{E_{t_1}}^* = D_{E_{t_2}}^*, \sigma_{E_{t_1}}^* = \sigma_{E_{t_2}}^*,$$

$$N_{t_1}^*(\varepsilon(i)) = N_{t_2}^*(\varepsilon(i)),$$

$$N_{t_1,\max}^*(0) = N_{t_2,\max}^*(0),$$

$$A1_{t_1} = A1_{t_2}, A2_{t_1} = A2_{t_2}, O_{t_1} = O_{t_2},$$

то динамика развития неисправности не наблюдается. Поэтому можно проводить профилактические работы в режиме нормальной эксплуатации объекта.

3.2. Если

$$D_{E_{t1}}^* \neq D_{E_{t2}}^*, \sigma_{E_{t1}}^* \neq \sigma_{E_{t2}}^*,$$

$$N_{t1}^*(\varepsilon(i)) \neq N_{t2}^*(\varepsilon(i)),$$

$$N_{t1,\max}^*(0) \neq N_{t2,\max}^*(0),$$

$$A1_{t1} \neq A1_{t2}, A2_{t1} \neq A2_{t2}, O_{t1} \neq O_{t2},$$

то неисправность находится в процессе развития. Причем, если

$$D_{E_{t1}}^* > D_{E_{t2}}^*, \sigma_{E_{t1}}^* > \sigma_{E_{t2}}^*,$$

то это означает, что дефект увеличился и следует провести ремонтные работы.

3.3. Если

$$D_{E_{t1}}^* \gg D_{E_{t2}}^*, \sigma_{E_{t1}}^* \gg \sigma_{E_{t2}}^*,$$

то это означает, что повреждение существенно, и неисправность развивается интенсивно. Тогда необходимо остановить работу оборудования во избежание возникновения аварии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны алгоритмы и программные средства для выявления неисправностей технических объектов на ранней стадии с помощью таких характеристик помехи как дисперсия, среднеквадратическое отклонение, функция плотности распределения, ее максимум, точки перегиба по оси абсцисс и ординат. Показано, что в зависимости от степени изменения значений этих характеристик можно судить о возникновении и интенсивности развития дефекта. Применение разработанных алгоритмов и программных средств в системах мониторинга, контроля, диагностики, управления и т.д. позволяет определить момент, когда необходимо провести соответствующий ремонт, и, таким образом, избежать возникновения аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Установка штангового глубинного насоса (УШГН): <http://vseonefti.ru/upstream/shtangovyi-nasos.html>
- [2] Новые технологии в теплоснабжении и строительстве: Сборник работ аспирантов и студентов – сотрудников научно-исследовательской лаборатории «Телозэнергетические системы и установки», Выпуск 8, Ульяновск : УЛГТУ, 2010, 274 с.
- [3] T.A. Aliev, N.F. Musaeva, “An algorithm for Eliminating Microerrors of Noise in the Solution of Statistical Dynamics Problems”, Automation and Remote Control: Springer, 1998, vol. 59, No. 5, p. 679-688.
- [4] N.F. Musaeva, “Robust correlation coefficients as initial data for solving a problem of confluent analysis”, Automatic Control and Computer Sciences: Springer, 2007, vol. 41, No. 2, p. 76-87.
- [5] N.F. Musaeva, “Robust method of estimation with “contaminated” coarse errors”, Automatic Control and Computer Sciences: Springer, 2003, No. 6, p. 50-63.
- [6] T.A. Aliev, N.F. Musaeva, M.T. Suleymanova, B.I. Gazizade, “Analytic representation of the density function of normal distribution of noise”, Journal of Automation and Information Sciences: Begell House, 2015, vol. 47(8), No 4, p.2 4-40.
- [7] T.A. Aliev, N.F. Musaeva, M.T. Suleymanova, B.I. Gazizade, “Technology for calculating the parameters of the density function of normal distribution of the useful component in a noisy process”, Journal of Automation and Information Sciences: Begell House, 2016, vol. 48, No 4, p.35-55.
- [8] T.A. Aliev, N.F. Musaeva, M.T. Suleymanova, B.I. Gazizade, “Digital algorithms for calculating the differential function of normal distribution of noise”, National Academy of Sciences of Azerbaijan. Reports, 2016, vol. 72, No 1, p.18-22.
- [9] T.A. Алиев, Н.Ф. Мусаева, М.Т. Сулейманова, Б.И. Газызаде, “Чувствительные алгоритмы выявления степени развития неисправности штанговой глубинной насосной установки”, Мехатроника, автоматизация, управление: Москва, 2017, vol, 18, № 2, с. 94-102.
- [10] T.A. Алиев, Н.Ф. Мусаева, М.Т. Сулейманова, “Функция плотности распределения помехи как индикатор для выявления степени развития неисправности штанговой глубинной насосной установки”, Проблемы управления и информатики: Киев, 2017, № 2, с. 94-103.
- [11] Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров, Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. 5-е изд., М.: КНОРУС, 2013, 448 с.
- [12] Техническая кибернетика. Книга 2. / Под ред. Солодовникова В.В., М.: Машиностроение, 1967, 682 с.