

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: ОСОБЕННОСТИ Т-МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

В статье изложены особенности применения Т-метода динамической нелинейной регрессии для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при изменениях значения и знака погрешностей и их приращений.

In the article the features of application of T-method of dynamic nonlinear regression are expounded for prognostication and determination of time of work on a metrology refuse at the changes of value and sign of errors and their increases.

Ключевые слова: надежность, метрология, метод динамической нелинейной, регрессии.

Введение

В работах [1– 4] впервые описан запатентованный в Украине метод прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ (МО) средств измерений (СИ), названный нами Т-методом динамической нелинейной регрессии. Приведены соответствующие уравнения измерений и уравнения погрешностей. Исследования данного метода показали, что при изменении знака погрешностей и их приращений за время двух соседних проверок имеют место некоторые особенности работы с кривыми прогнозной функцией распределения (ФР) Кондратова – Вейбулла при прогнозировании и определения времени наработки на МО.

Ниже рассматриваются особенности Т-метода динамической нелинейной регрессии, связанные с изменением знака переменной составляющей ФР.

Объект исследований – Т-метод динамической нелинейной регрессии.

Предмет исследований – особенности процесса прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с особенностями прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО при изменениях знака погрешностей и их приращений за межповерочный интервал.

Результаты исследований

Особенности метода прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ

Особенность 1. Изменение знака приращений погрешностей

Погрешность измерения образцовой ФВ x_0 в моменты времени проведения последующих k -х проверок может принимать как положительные, так и отрицательные значения с разной полосой неопределенности. Поэтому, при определении времени наработки на МО, возможны случаи, когда погрешности, полученные в последовательные k -е моменты времени t_{xk1} и t_{xk2} проверок, имеют разные значения и знаки по отношению к погрешности, полученной в момент времени t_{x0} присвоения СИ класса точности или ввода его в эксплуатацию. В этом случае задача прогнозирования и определения времени наработки на МО решается следующим образом.

В k -е моменты времени t_{xk1} и t_{xk2} проведения проверок СИ определяются и запоминаются знаки и значения приращений погрешностей относительно исходной, полученной в момент времени t_{x0} , –

$$\Delta \xi_{xk10} = \overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}), \quad (1)$$

$$\Delta \xi_{xk20} = \overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}), \quad (2)$$

а также приращение

$$\Delta \xi_{xk21} = \overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2}) - \overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1}) \quad (3)$$

этих погрешностей. Как было показано в [2], знак переменной составляющей ФР Кондратова – Вейбулла не изменяется при следующих условиях и знаках приращений (1), (2) и (3):

$$+\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, +\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk20} \geq \Delta \xi_{xk10}; \quad (4)$$

$$+\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, -\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk20} \leq \Delta \xi_{xk10} \quad (5)$$

и

$$-\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, +\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk21} \geq |-\Delta \xi_{xk10}|. \quad (6)$$

Причем в двух последних случаях учитываются только погрешности $\overline{\xi_{x0}}(t_{x0})$ и $\overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2})$, а погрешность

$\overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1})$ считается условным промахом. Кривая ФР проводится через три точки, соответствующие погрешностям измерения в моменты времени t_{x0} , t_{xk1} и t_{xk2} .

Знак переменной (зависимой от времени) составляющей ФР изменяется на противоположный в случаях, когда приращения (1), (2) и (3) имеют знаки:

$$-\Delta \xi_{xk10}, -\Delta \xi_{xk20}, -\Delta \xi_{xk21} \text{ - при условии, что } |-\Delta \xi_{xk20}| \geq |-\Delta \xi_{xk10}|; \quad (7)$$

$$-\Delta \xi_{xk10}, -\Delta \xi_{xk20}, +\Delta \xi_{xk21} \text{ - при условии, что } |-\Delta \xi_{xk20}| \leq |-\Delta \xi_{xk10}| \quad (8)$$

и

$$+\Delta \xi_{xk10}, -\Delta \xi_{xk20}, -\Delta \xi_{xk21} \text{ - при условии, что } (-\Delta \xi_{xk10}) - |-\Delta \xi_{xk20}| \leq 0. \quad (9)$$

В двух последних случаях при расчетах также используются только погрешности $\overline{\xi_{xk0}}(t_{xk0})$ и $\overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2})$, а погрешность $\overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1})$ считается условным промахом. Кривая прогнозной ФР проводится аналогичным образом.

Необходимо отметить, что возможны и другие условия изменения знака параметра масштаба ФР, которые зависят от конкретных случаев принятия решения поверителями.

Предположим, что $k1$ -я поверка проводится в момент времени $t_{xk1} = t_{x4}$, например, в 12 часов 00 минут 07.05.2020 года (см. рис. 1). Вновь многократно измеряется образцовая ФВ x_0 , а полученные результаты статистически обрабатываются. Затем определяются и запоминаются знак и среднее значение погрешности

$$\xi_{x4} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) = \overline{\Delta_{04}} / x_0, \quad (10)$$

где $\overline{\Delta_{04}}$ – средняя по значению абсолютная погрешность результатов многократных измерения (см. рис. 1, точку E на графике 5, которая соответствует значению погрешности ξ_{x4} в момент времени t_{x4}).

Полученное значение погрешности ξ_{x4} (10) по модулю будет значительно меньшим, чем значение погрешности ξ_{x3} , полученное при предыдущей поверке, но близкое к значению, полученному при более ранней поверке (см. рис. 1, точки C , D и E , соответствующие моментам времени t_{x2} , t_{x3} и t_{x4} на кривых 2, 4 и 5, соответственно).

Значения верхней ($\Delta \xi_{д4в}$) и нижней ($\Delta \xi_{д4н}$) полуширины полосы неопределенности погрешности ξ_{x4} на момент времени t_{x4} определяются согласно уравнениям измерений

$$\Delta \xi_{д4в} = k_{34} \sigma_{в4} [\Delta_{04}] / x_0 = k_{34} \xi_{\sigma в4}, \quad (11)$$

и

$$\Delta \xi_{д4н} = k_{34} \sigma_{н4} [\Delta_{04}] / x_0 = k_{34} \xi_{\sigma н4}, \quad (12)$$

где $\xi_{\sigma в4} = \sigma_{в4} [\Delta_{04}] / x_0$ и $\xi_{\sigma н4} = \sigma_{н4} [\Delta_{04}] / x_0$ – верхнее и нижнее относительные среднеквадратические отклонения результатов измерений на момент времени t_{x4} ; k_{34} – коэффициент запаса ($1 \leq k_{34} \leq 1,42$);

$$\sigma_{в4} [\Delta_{04}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{04}})_{>0} \right)^2}{n(n-n^0)}} \quad (13)$$

- среднеквадратические отклонения результатов измерений при положительном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{04}}$;

$$\sigma_{н4} [\Delta_{04}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{04}})_{<0} \right)^2}{n(n-n^0)}} \quad (14)$$

- среднеквадратические отклонения результатов измерений при отрицательном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{04}}$; $\overline{x_{04}}$ – среднее значение результата измерения нормированной по значению ФВ x_0 ; $\sigma_{в4}$ и $\sigma_{н4}$ – верхнее и нижнее среднеквадратические отклонения результатов измерений на момент времени t_{x4} .

В тот же момент времени t_{x4} определяются знаки и значения приращений

$$\Delta \xi_{x40} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}) = \xi_{x4} - \xi_{x0} \quad (15)$$

и

$$\Delta \xi_{x43} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) - \overline{\xi_{x3}}(t_{x3}) = \xi_{x4} - \xi_{x3} \quad (16)$$

погрешностей, полученных в моменты времени t_{x3} и t_{x4} предыдущей и текущей поверок.

Полученные значения погрешностей ξ_{x4} и ξ_{x5} анализируются, сравниваются между собой и с ξ_{x0} на предмет выполнения условий (4), (5) и (6), а затем решается вопрос относительно изменения знака (и

направления) переменной составляющей ФР.

Предположим, что выполняется условие (5). На первый взгляд следует поменять знак чувствительности на противоположный, поскольку $|\xi_{x5}| < |\xi_{x4}|$. Но необходимо знать и учитывать тенденцию дальнейшего изменения значения случайной погрешности. Если в момент времени t_{x5} значение погрешности ξ_{x5} меньше значения погрешности ξ_{x4} , т.е. выполняется условие (4), то знак ФР не меняется. Кривая прогнозной ФР (при $k_{\phi5} = 7$) пройдет через точки A , E и E' , соответствующие значениям погрешностей, полученными в моменты времени t_{x0} , t_{x4} и t_{x5} , а значение погрешности ξ_{x3} считается условным промахом (см. рис. 1, кривая 6).

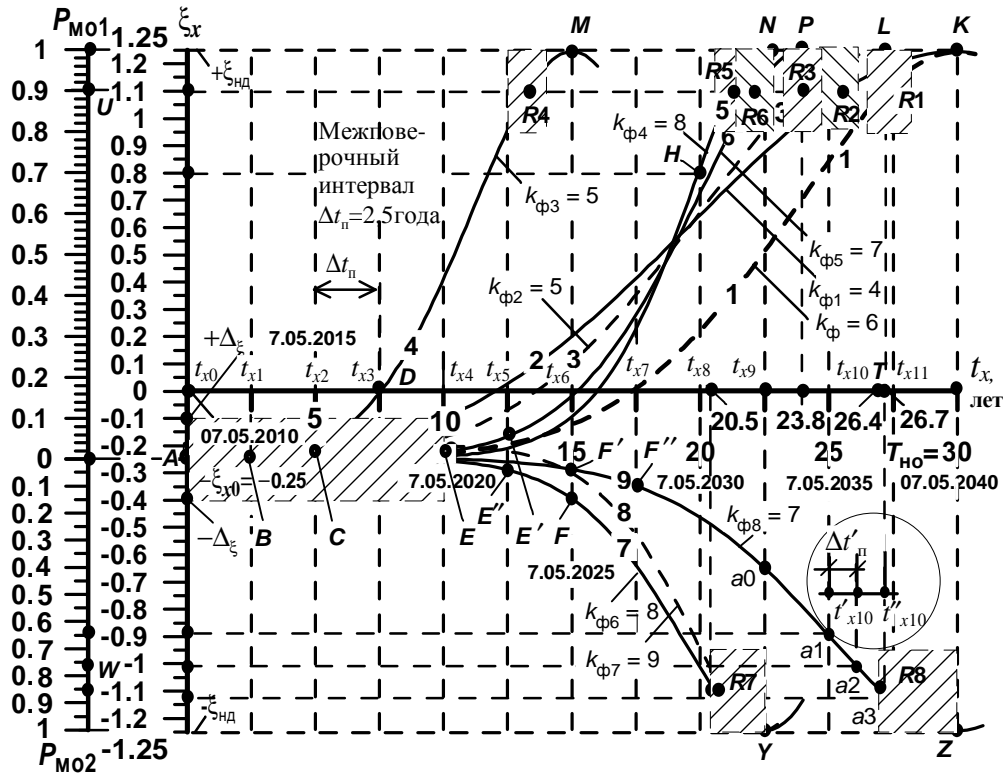


Рис. 1. Графический портрет ВФ-моделей МО СИ, поясняющий сущность и особенности метода динамической регрессии при разных знаках приращений погрешности

Знак чувствительности ФР изменяется на противоположный в случае, когда в момент времени t_{x5} будет получено значение погрешности ξ_{x5}'' , которое по модулю будет больше значения погрешности ξ_{x4} (см. рис. 1, точки E и E''), т.е. будет выполняться условие (7). В данном случае кривая прогнозной ФР пройдет через значения погрешностей, соответствующие моментам времени t_{x0} , t_{x1} и t_{x5} , отмеченные точками A , B и E'' (см. рис. 1, кривую 7 при $T_{нo4} = 22,5$ года и $k_{\phi6} = 8$).

При прогножном времени наработки на МО $T_{нo4}$ (в годах), параметре формы $k_{\phi4}$ и при выполнении условия (7) ФР Кондратова – Вейбулла принимает вид (т.е. меняет знак при S_{ξ} на противоположный)

$$\xi_x(t_x) = -S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_x}{T_{нo4}}\right)^{k_{\phi4} - k_{\phi4}^0} \exp\left(-\left(\frac{t_x}{T_{нo4}}\right)^{k_{\phi4} - k_{\phi4}^0}\right) + \xi_{x0} \quad (17)$$

где $k_{\phi4}^0 = 1$.

Если при проведении шестой поверки получили отрицательное значение погрешности ξ_{x6} соответствующее не точке F , а F' (см. рис. 1, точку F'), т.е. меньшее, чем при предыдущей поверке (см. рис. 1, точку E''), то в этом случае выполняется условие (8) и кривая прогнозной ФР пройдет через точки E и F' , а точка E' или точка E'' будут считаться условным промахом (см. рис. 1, кривая 8). В данном случае особенностью построения кривой 8 прогнозной ФР (при $k_{\phi7} = 9$ и $T_{нo4} = 22,5$ года) является изменение начального значения погрешности ξ_{x0} в пределах полосы неопределенности $\pm 0,15$ (см. рис. 1, пунктирную кривую 8).

Это не противоречит 3ξ -гипотезе проф. Кондратова: при n поверках СИ необходимым и достаточным условием определения времени наработки на МО является обязательное прохождение кривых прогнозной ФР не менее, чем через три точки. Первая соответствует погрешности ξ_{x0} , определенной в момент времени t_{x0} введения СИ в эксплуатацию; вторая точка, полученная при $k1$ -й поверке, характеризует погрешность ξ_{xk1} , которая занимает промежуточное положение между первой и третьей точками. Обычно она должна быть размещена на кривой рядом с третьей точкой, соответствующей погрешности (ξ_{xk2}), полученной при $k2$ -й поверке.

Размещение на кривой второй точки ближе к третьей связано с необходимостью сохранения большего значения параметра формы или малого значения погрешности определения времени наработки на МО.

Возможен случай, когда в момент времени t_{x7} седьмой поверки получено отрицательное значение погрешности ξ_{x7} , которое по модулю больше, чем значение погрешности ξ_{x6} , полученное при шестой поверке (см. рис. 1, точки F' и F'' на кривой 9). В этом случае кривая прогнозной ФР пройдет через точки A , F' и F'' , соответствующие погрешностям ξ_{x0} , ξ_{x6} и ξ_{x7} (рис. 1, кривая 9 при $k_{ф8} = 7$ и $T_{но4} = 30$ лет).

По результатам седьмой поверки можно утверждать, что МО может наступить, с вероятностью $P_{\xi} = 0,85$, после 26,4 года использования СИ, т.е. в промежутке от 26,4 года до 30 лет (см. рис. 1, кривая 9 при $k_{ф7} = 7$ и заштрихованную полосу неопределенности относительно точки $R8$).

Далее, согласно предложенному методу, аналогичным образом определяются прогнозные значения времени наработки на МО, ее погрешность, а также вероятность МО СИ.

Особенность 2. Уменьшение межповерочного интервала

Предположим, что в t_{x10} -й момент времени предпоследней поверки ($i = 10$) получено такое значение погрешности $\xi_{x10} = 0,88 \pm 0,15$ результата измерения образцовой ФВ x_0 , при котором вершина кривой прогнозной ФР, проведенной через точки A , a_0 и a_1 , указывает на возможность МО в течение следующего межповерочного интервала, т.е. после 26,4 года использования СИ (рис. 1, точка $a1$ на кривой 9 и точка $R8$ с заштрихованной полосой неопределенности).

В этом случае интервал времени между запланированными поверками делится на более мелкие градации, например, через год. В результате получают новые интервалы времени $\Delta t'_{pi}$ двух-пяти дополнительных поверок с значениями межповерочных интервалов, например, $\{\Delta t'_{pi}\} = (\{t_{x11}\} - \{t_{x10}\}) / n$, где $n = 2...5$. Допустим, что интервал времени (от 07.05.2035 года до 07.05.2037 года) до ожидаемого МО разделен на два интервала продолжительностью $\Delta t'_{pi} = 1$ год (см. окружность на рис. 1, с дополнительной осью времени, на которой указанный интервал $\Delta t'_{pi} = t'_{x10} - t_{x10} = t''_{x10} - t'_{x10} = 1$ год разделен на две части, каждая из которых соответствует определенной календарной дате поверок).

В момент времени t'_{x10} осуществляется первая дополнительная поверка, при которой, например, получено значение погрешности $\xi'_{x10} = -1,1 \pm 0,15$ и значение вероятности МО $P_{мо} = 0,76 \pm 0,15$. Кривая 9 прогнозной ФР проходит через точки A , $a1$ и $a2$. Анализ кривой 9 показал, что в течение времени следующей дополнительной поверки возможен МО (см. на рис. 1, точку $a2$ на кривой 9, характеризующей погрешность $\xi''_{x10} = -1,12 \pm 0,15$ и вероятность МО $P_{мо} = 0,76 \pm 0,15$. Следовательно, вторая дополнительная поверка в момент времени t''_{x10} не проводится, т.к. $P_{мо} = 0,86 \pm 0,15 > 1$ (рис. 1, точка $R8$ на кривой 9).

При острой необходимости итерационный процесс деления интервалов времени между поверками повторяется до получения необходимой точности определения прогнозного интервала времени наработки СИ на МО. Например, вместо дополнительных поверок с интервалами в 1 год можно осуществлять поверки с интервалами 0,5 года.

Особенность 3. Изменение знака переменной составляющей ФР, знака и значения параметра смещения

Предположим, что после проведения четвертой поверки получено значение погрешности (см. рис. 2, точку F на кривой 4), которое совпало с теоретическим значением, рассчитанным по предыдущей прогнозной ФР на момент времени t_{x4} . В результате кривая 4 не поменяла свое положение и форму и прошла через точки A , D и F . В момент времени проведения пятой поверки ситуация повторилась. Кривая 4 прошла через точки A , F и H .

С вероятностью $P_{мо} = 0,9 \pm 0,1$ можно констатировать, что МО наступит не 07.05. 2040 года и не 07.05.2025 года, а после 13,3 лет использования СИ, т.е. после 7.06.2023 года (см. рис. 2, отметка 13,3 на оси времени).

При проведении шестой поверки было установлено, например, что погрешность измерений уменьшилась до значения $\xi_{x6} = 0,54 \pm 0,15$ (см. рис. 2, точка P на кривой 6), а значение приращения погрешностей, практически полученных по результатам шестой и пятой поверок, поменяло свой знак на противоположный. Казалось бы, что прогнозную кривую можно провести через точки A , C и P (см. рис. 2,

пунктирная кривая 5 при $k_{\phi 4} = 5$ и $T_{\text{но}} = 20$ лет, показывающая на возможность МО в период с 7.08.2028 по 7.05.2030 года). Но это будет противоречить условиям изменения знака переменной составляющей ФР при изменении знака приращения погрешностей.

Поэтому принимается решение: 1) об изменении знака переменной составляющей ФР на противоположный и 2) об изменении начального значения погрешности $\xi_{x0} = -0,25 \pm 0,15$ (при t_{x0}) на значение $\xi_{x0} = 1,1 \pm 0,15$, отличающееся от верхнего граничного значения на половину ширины полосы неопределенности (рис. 2). Кривая 6 проводится, при установленных значениях $k_{\phi 5} = 7$ и $T_{\text{но}} = 21,4$, через точки A', H и P , соответствующие погрешностям ξ'_{x0}, ξ_{x5} и ξ_{x6} .

Можно, в порядке исключения, принять начальное значение погрешности равным верхнему граничному значению, т.е. $\xi_{x0} = \xi_{\text{нд}} = 1,25$. В этом случае кривая 8 прогнозной ФР незначительно будет отличаться от кривой 7 (см. рис. 2, пунктирная кривая 8 с параметрами $\xi_{x0} = \xi_{\text{нд}} = 1,25$, $k_{\phi 5} = 6$ и $T_{\text{но}} = 22$ года).

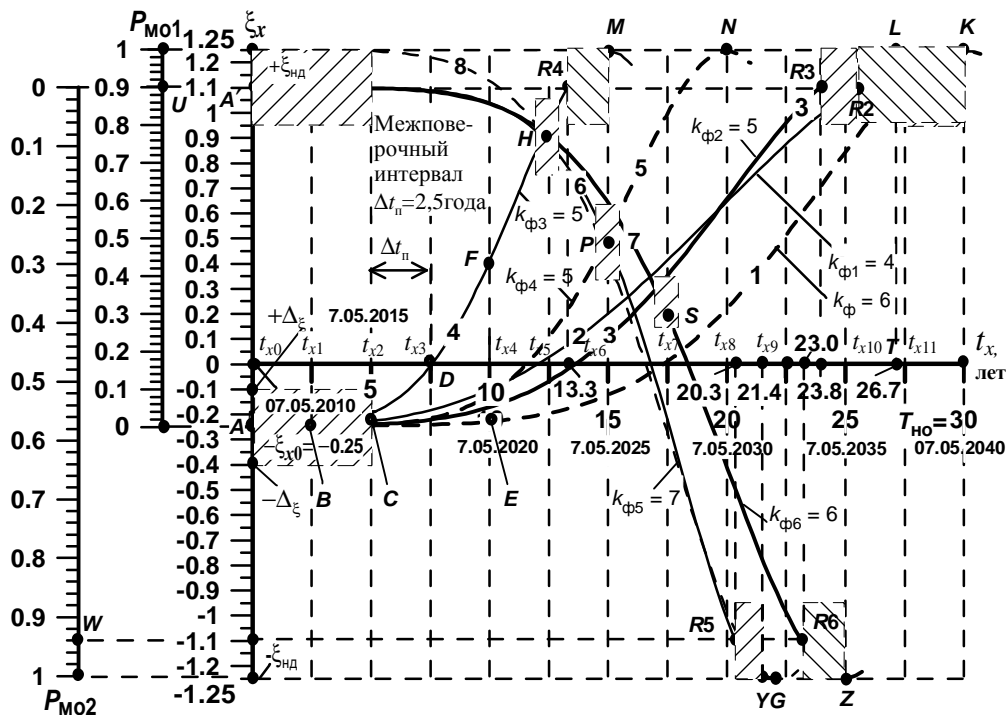


Рис. 2. Графический портрет ВФ-моделей МО СИ, поясняющий особенности метода динамической регрессии при значениях погрешностей близких к граничным

Предположим, что при проведении следующей, седьмой, поверки установлено дальнейшее уменьшение значения погрешности измерения до значения $\xi_{x7} = 0,22 \pm 0,15$ (см. рис. 2, точка S на кривой 7). Знак разности сохранился. Следовательно, принятое при шестой поверке решение об изменении знака переменной составляющей ФР и параметра смещения было правильным. По результатам седьмой поверки проводится кривая 7 прогнозной ФР с параметрами $\xi_{x0} = 1,1 \pm 0,15$, $k_{\phi 6} = 6$ и $T_{\text{но}} = 25$ лет, которая проходит через точки A', H и S (см. рис. 2, кривая 7). Значение погрешности ξ_{x6} , полученное при шестой поверке, принимается за условный промах. По результатам данной поверки можно констатировать, что МО СИ произойдет после 25 лет его использования.

Одновременно, по результатам шестой поверки, на графическом портрете ВФ-моделей МО СИ дополнительно строится новая шкала вероятностных значений МО, соответствующая кривым 6 и 7 ФР. Она привязана, соответственно, к значениям погрешностей $\xi_{x0} = 1,1$ и $\xi_{\text{нд}} = -1,25$. От первой шкалы вероятностных значений МО дополнительная шкала отличается ценой делений (см. рис. 2, крайняя левая шкала). По результатам, например, шестой поверки, можно утверждать, что с вероятностью $P_{\text{Mo2}} = 0,94$ МО может наступить после 20,3 года использования поверяемого СИ (см. рис. 2, точка W на шкале вероятностных значений МО и отметка интервального времени 20,3, соответствующая погрешности $\xi_{x7} = -1,1 \pm 0,15$). Седьмая поверка показала, что МО может наступить после 23 лет использования СИ (см. рис. 2, точка $R6$ на заштрихованной полосе неопределенности и соответствующая ей отметка 23 на шкале времени).

Следовательно, если при проведении двух текущих поверок получены приращения значений

погрешностей противоположного от предыдущих знака и установлено, что имеет место уменьшение значения погрешности измерения $\pm \xi_{xi}$ от значений, близких к граничным: $+\xi_{нд} - \Delta \xi_{нд}$ или $-\xi_{нд} + \Delta \xi_{нд}$, т.е. $|\pm \xi_{xi}| < |\pm \xi_{нд} \pm \Delta \xi_{нд}|$ или от значений, близких к граничному уровню (значению) $+\xi_{нд}$ или $-\xi_{нд}$, т.е. $|\pm \xi_{xi}| < |\pm \xi_{нд}|$, то в этих случаях осуществляются следующие действия:

изменяют начальное значение погрешности ξ_{x0} на значения $\{\xi'_{x0}\} \leq \{+\xi_{нд}\} - \{\Delta \xi_{нд}\}$ или $\{\xi''_{x0}\} = -\{\xi_{нд}\} + \{\Delta \xi_{нд}\}$;

изменяют на противоположный знак чувствительности ФР;

определяют параметры ФР;

строят кривую прогнозной ФР при полученных в t_{x0} , t_{xk1} -й и t_{xk2} -й моменты времени значениях погрешностей.

После проведения всех n проверок осуществляются следующие действия:

1. Определяются наиболее вероятные (действительные) значения параметров ФР, в том числе времени наработки на МО, верхней и нижней допустимых границ полос неопределенности и т.д. Причем всегда за основу выбираются результаты многократных измерений образцовой ФВ x_0 в определенные моменты времени t_{x0} и t_{xi-1}, t_{xi} проверок и результаты определения соответствующих погрешностей (т.е. первое и два последующих соседних значений погрешности измерения).

2. Запоминаются полученные во время каждой i -й проверки значения $T_{noi}(t_{xi})$, $T_{ноів}(t_{xi})$, $T_{ноін}(t_{xi})$, $\Delta T_{ноі}(t_{xi})$, $\Delta T_{ноів}(t_{xi}) = k_{ziT} \sigma_{Tvi}$ и $\Delta T_{ноін}(t_{xi}) = k_{ziT} \sigma_{Tni}$ при $i = 1, \dots, n$.

3. По результатам последней проверки определяются среднестатистические значения времени $\overline{T_{но}}$ наработки на МО, значение параметра формы $\overline{k_{\phi}}$, а также среднеквадратические отклонения $\pm \sigma_{Ti}$ и $\pm \sigma_{k_{\phi i}}$.

4. По полученным среднестатистическим значениям времени $\overline{T_{но}}$ наработки на МО и параметра формы $\overline{k_{\phi}}$ строится уточненная прогнозная кривая ФР с указанием ее верхней и нижней границ при заданном значении погрешности ξ_{x0} .

Полученные показатели МН являются наиболее вероятными и по ним уточняются параметры базовых кривых прогнозной ФР для СИ данного типа и класса точности.

Необходимо отметить, что описанный метод тесно связан как с априорным (предварительным) прогнозированием значения времени наработки на МО при проектировании СИ, так и с определением этих параметров и характеристик при использовании СИ.

Проведение одновременных проверок группы СИ одного типа

При проведении одновременных проверок группы n_0 СИ одного вида, но с разными k -ми значениями погрешностей $\xi_{x0k}(t_{x0})$ или коэффициентами метрологического запаса $k_{мзк}$, по результатам последней проверки для каждого СИ определяются: среднестатистическое значение погрешности $\overline{\xi_{x0}}$; значение времени наработки на МО $\overline{T_{но}}$ и значение параметра формы $\overline{k_{\phi}}$ по следующим уравнениям величин:

$$\overline{\xi_{x0}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} \xi_{x0i}$$

$$T_{но\Sigma} = \overline{T_{но}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{i=n_0} T_{ноі}$$

и

$$k_{\phi\Sigma} = \overline{k_{\phi}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{i=n_0} k_{\phi i}$$

Полученные среднестатистические значения параметров прогнозных ФР для группы СИ одного типа запоминаются и используются, как наиболее вероятные, в качестве базовых параметров ВФ-модели МО СИ.

Выводы

Изложены особенности применения T -метода динамической нелинейной регрессии для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при изменениях значения и знака погрешностей и их приращений.

Установлены условия изменения знака переменной составляющей функции распределения на противоположный, что дает возможность их использования при решении частных случаев определения времени наработки на метрологический отказ.

Показана возможность определения значения вероятности метрологического отказа средства

измерений по дополнительным вероятностным шкалам.

Описаны условия и приведен пример изменения знака переменной составляющей функции распределения, знака и значения параметра смещения. Рассмотрен случай привязки начала кривой функции распределения к граничному значению погрешности, соответствующей моменту времени t_{x0} или к близкому к нему значению.

Предложено интервал времени использования СИ при доверительной вероятности $P_{Mo} \geq 0,9 \pm 0,1$ делить на более мелкие градации и проводить дополнительные проверки.

Результаты n проверок могут быть использованы для исследования динамики кривых прогнозных функции распределения при разных значениях ее параметров (и ее метрологических характеристик).

Результаты одновременной проверок группы СИ одного типа могут быть использованы для определения среднестатистических значений параметров функции распределения и корректировки их значений в базовой функции распределения.

Описанный T -метод динамической регрессии является универсальным и может быть использован для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при многопараметровых функций распределения иного вида, т.е. при разных ВФ-моделях метрологических отказов средств измерений.

Литература

1. Пат. України № 90122 С2, кл. G01M 1/00. Спосіб визначення часу наробітку на метрологічну відмову засоба вимірювання / Кондратов В. Т.; Бюл. № 7 від 12.04.2010 р.
2. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: применение нелинейного регрессионного анализа для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 138–148.
3. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 57–65.
4. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 5. – С. 200–205.

УДК 519.83

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

РЕГУЛЯРНА ОПТИМАЛЬНА СТРАТЕГІЯ ПРОЕКТУВАЛЬНИКА У КЛАСИЧНІЙ КОНСТРУКЦІЇ З ЧОТИРМА ОПОРАМИ, НА ЯКІ ДІЮТЬ ЧАСТКОВО НЕВИЗНАЧЕНІ СТИСКАЮЧІ ЗУСИЛЛЯ

Дію нормованого навантаження на конструкцію з чотирма опорами, на які діють частково невизначені стискаючі зусилля, змодельовано як неперервну антагоністичну гру з ядром на шестивимірному гіперпаралелепіпеді. Доведено, що у такій грі другий гравець, якого уособлює проектувальник, має єдину оптимальну стратегію. Ця стратегія, визначена за певної умови, названа регулярною і дозволяє мінімізувати максимально можливі частки від граничного навантаження на опори конструкції.

The normed load action on construction with four supports, on which partially undetermined compressive forces act, has been modeled as continuous antagonistic game with kernel on six-dimensional hyperparallelepiped. It has been proved, that in such game the second player, what is personified by projector, has the single optimal strategy. This strategy, determined under some condition, has been called regular and allows minimizing the maximally possible parts from boundary load on the construction supports.

Ключові слова: конструкція з опорами, часткова невизначеність, нормоване навантаження, стискаюче зусилля, максимінний результат, ігрове антагоністичне моделювання, антагоністична гра, опуклість, оптимальна стратегія проектувальника.

Актуальність і значущість проблеми у загальному виді

Рациональний розподіл доступних ресурсів є практично повсякденною проблемою, котра виникає у будь-якій сфері суспільної активності. Проблеми такого розподілу постають й у будівельній механіці та машинобудуванні, де завжди існує дилема: з одного боку, необхідно забезпечувати надійність опорних конструкцій, на що додатково витрачається будівельний матеріал (металеві сплави, деревина, неорганічні сполуки), а з іншого боку — варто заощаджувати будівельні ресурси як для економії коштів, так і для того, щоб вага опорної конструкції була не надто великою [1, 2]. Компромісні рішення тут недопустимі, оскільки йдеться про безпеку, тому прийнятним є лише представлення рішень з гарантованим або максимінним результатом, де оптимізація витрат проектування відбувається на фоні забезпечення цілковитої надійності. Такий результат отримується часто за допомогою ігрового антагоністичного моделювання, де першого