

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 531.7

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

*Уваров С.В., Управление Магистральных Газопроводов «Донбасстрансгаз»,
г. Донецк, Украина*

Показано, что определение диагностических параметров вибрации проводится на интервале упреждения по результатам моделирования. Предложено при определении остаточного ресурса в качестве обобщенного прогнозируемого параметра газотурбинной установки применять эффективный коэффициент полезного действия

Введение

Транспортировка природного газа невозможна без эффективной работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Основными направлениями развития и оптимизации работы агрегатного парка является повышение надежности; экономичности; ремонтпригодности; а также увеличение ресурса.

Разработка эффективных методов контроля технологических параметров ГПА, связанных с выявлением неисправностей на ранней стадии их возникновения и определение остаточного ресурса, является приоритетным направлением в газовой промышленности.

Определение диагностических параметров на интервале упреждения по результатам моделирования проводится путем сравнения параметров исправного агрегата с прогнозируемым, причем интересны не сами параметры, а степень их отклонения от номинальных значений. Для определения диагностических параметров необходимо решать линеаризованную систему функциональных уравнений ГПС, в которой поочередно задаются нормированные неисправности и рассчитываются изменения всех измеряемых параметров мощности, удельного расхода топлива, давления, температуры, частоты вращения и т.д.

Анализ последних публикаций и исследований

Под нормированными неисправностями подразумевается изменение одного из параметров состояния узлов ГПС на 1%. Расчет проводится отдельно для каждого параметра состояния, при этом определяются значения коэффициентов влияния этих параметров на выходные характеристики ГПС [1-3].

Для исследования точности прогноза проводится анализ среднего квадрата ошибки прогноза от объема обучающей выборки N и базы прогноза k с целью получения оптимальной точности прогноза. неисправности проточных частей ГПС при снижении КПД проявляются также падением давления за компрессо-

ром, повышением температуры перед турбиной, снижением частоты вращения ротора высокого давления, снижением расхода воздуха через компрессор [2,3].

Логическая модель ГПС, позволяющая качественно выделить характерные неисправности, предлагается в качестве информативных критериев для идентификации типа неисправности, использовать два результирующих вектора вибрации ГПС, что приведет к достаточно полной информации по дефектам отдельных узлов агрегата [3].

Идентификация неисправности ГПС базируется на разностном методе, а не на абсолютных значениях прогнозируемых величин, поэтому абсолютная точность прогнозирования функциональных параметров не имеет существенного значения.

Постановка задачи

Целью статьи является повышение достоверности и информативности комплексных параметров, определяющих остаточный ресурс ГПА.

Решение задачи

Первым этапом прогнозирования технического состояния агрегата является определение остаточного ресурса, которое заключается в установлении момента времени возникновения какой-либо неисправности и достижения ГПА состояния утраты работоспособности. При рассмотрении одной реализации выходного параметра ГПА можно утверждать о наличии основных временных величинах, характеризующих прогнозирование технического состояния ГПА (рис.1). В момент времени t_1 начинается наблюдение за выходным параметром ГПА. Интервал времени $(t_1, t_2) \in T_{II}$ условно можно назвать интервалом предыстории. Под T_{II} понимается минимальный промежуток времени, на котором проявляются закономерности прогнозируемого процесса, что обеспечивает возможность экстраполяции на заданном интервале упреждения T_Y . Интервал упреждения – это промежуток времени, на который разрабатывается прогноз.

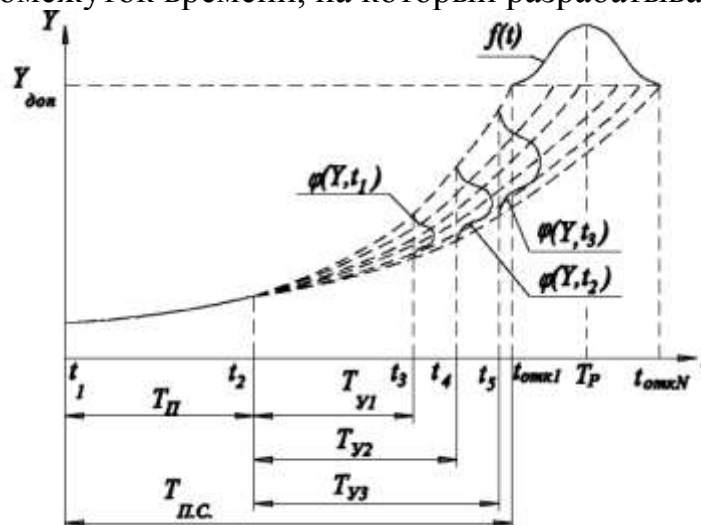


Рис. 1. Динамика временных характеристик прогноза технического состояния газотурбинной установки

где Y_{don} – предельное допустимое значение выходного параметра; T_{II} – время предыстории (время наблюдения); T_y – время упреждения; $T_{п.с.}$ – продолжительность безотказного состояния; $\varphi(Y, t_i)$ – плотность вероятности параметра в момент времени t_i .

Так как в любой практической ситуации с ростом интервала упреждения точность прогноза уменьшается, то возникает задача определения некоторого минимального интервала упреждения, для которого имеет смысл осуществлять прогноз.

Поскольку прогноз всегда осуществляется на основе некоторой предыстории T_{II} изменения прогнозируемого параметра $Y(t)$, то возможность прогнозирования на заданный интервал упреждения определяется продолжительностью развития предотказового состояния, которая должна быть не менее требуемой продолжительности предыстории: $T_{п.с.} \geq T_{II}$. Процесс прогнозирования газотурбинной установки ГПА, можно представить в следующей последовательности этапов: сбор и подготовка исходных статистических данных; выбор и обоснование прогнозирующих функций (ПФ); обработка исходных и дополнительных данных для определения неизвестных параметров ПФ; собственно прогнозирование. Центральный момент прогнозирования газотурбинной установки ГПА – выбор ПФ, при этом необходимо учитывать характер протекания процесса (эволюционный или скачкообразный); вид функций, описывающих тренд, и т.д. Необходимо также учитывать наличие неопределенностей различной природы, влияющих на поведение процесса, к которым относятся существование контролируемых факторов, погрешности измерений и др.

Приведенный метод прогнозирования достаточно точно учитывает индивидуальные особенности контролируемого ГПА. В качестве обобщенного прогнозируемого параметра агрегата при определении остаточного ресурса, целесообразно применять эффективный КПД. Однако при найденном остаточном сроке эксплуатации необходимо определить тип (класс) неисправности.

В процессе эксплуатации для группы ГПА оцениваются значения КПД. Для каждой наработки рассчитывается среднее значение ГПА h определенной группы наблюдаемых агрегатов, затем исходя из результатов, строится статистическая кривая изменения ГПА h . Прогнозируемое значение ГПА h сравнивается со средним. Определение диагностических параметров на интервале упреждения, по результатам моделирования, проводится путем сравнения параметров исправного агрегата с прогнозируемым, причем интересны не сами параметры, а степень их отклонения от номинальных значений. Для определения диагностических параметров необходимо решать линеаризованную систему функциональных уравнений ГПА, в которой поочередно задаются нормированные неисправности и рассчитываются изменения всех измеряемых параметров мощности, удельного расхода топлива, давления, температуры, частоты вращения и т.д. Под нормированными неисправностями подразумевается изменение одного из параметров состояния узлов ГПА на 1%. Расчет проводится отдельно для каждого параметра состояния, при этом определяются значения коэффициентов

влияния этих параметров на выходные характеристики ГПА. Средняя ошибка прогноза ресурса при объеме усреднения NR определяется

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{NR} \sum_{n=1}^{NR} \Delta_n \quad (1)$$

Для исследования точности прогноза проводится анализ среднеквадрата ошибки прогноза от объема обучающей выборки N и базы прогноза k с целью получения оптимальной точности прогноза.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{NR} \sum_{n=1}^{NR} (\Delta_n)^2} \quad (2)$$

Под оптимальной точностью понимается ситуация, когда средняя ошибка не превосходит дисперсию помехи n .

Для оценки вибросостояния реализован метод сведения составляющих вибрации к единому вектору для ГПА. ГПА типа ГТК-10-4 имеет 5 точек контроля вибраций. Точка 1 принадлежит ОУП ТВД (опорно-упорному подшипнику турбины высокого давления), точка 2 – корпусу ОК. ТНД имеет две точки контроля вибрации: точка 3 – корпус турбины и точка 4 – ОУП ТНД. Точка 5 находится на корпусе нагнетателя. Между валами турбин отсутствует механическая связь – они вращаются с разными скоростями. Частота вращения вала ТВД изменяется в пределах от 4330 до 5010 об/мин, при среднем арифметическом - 4703,8 об/мин и среднеквадратическом отклонении (стандарте) – 137,4 об/мин. Частота вращения вала ТНД изменяется в пределах от 3280 до 4300 об/мин, среднее арифметическое – 3679,6 и стандарт – 271,9 об/мин. Отношение частот вращения валов находится в пределах от 1,103 до 1,439 при среднем арифметическом - 1,284 и стандарте – 0,078.

Граф взаимосвязей составляющих вибрации и единых векторов виброскоростей в точках контроля вибрации подшипников, их дальнейшего слияния в общий результирующий вектор ГПА представлен на рис. 2.

Между валами на подшипниках с точками контроля вибрации 3, 4 и 5 нет жесткой механической связи и коэффициенты корреляции между этими объектами близки к нулю. Снижается и влияние вибрации этих точек контроля на общий результирующий вектор вибрации ГПА. Задача прогнозного описания ГПА базируется на теории распознавания образов. Неисправности состояния ГПА разбиваются на конечное число типов, в качестве которых приняты неисправные состояния, наиболее часто встречающиеся при эксплуатации. Для принятия классов неисправных состояний, выбираются диагностические признаки из выявленных параметров рабочего процесса. Распознавание неисправностей базируется на логических системах, использующих методы булевой алгебры.

В процессе эксплуатации при проявлении неисправности после контроля, должна увеличиваться вероятность того класса состояний, в котором находится агрегат. Если используется идеальная по достоверности система распознавания, то после контроля вероятность действительного класса состояния агрегата будет равна единице.

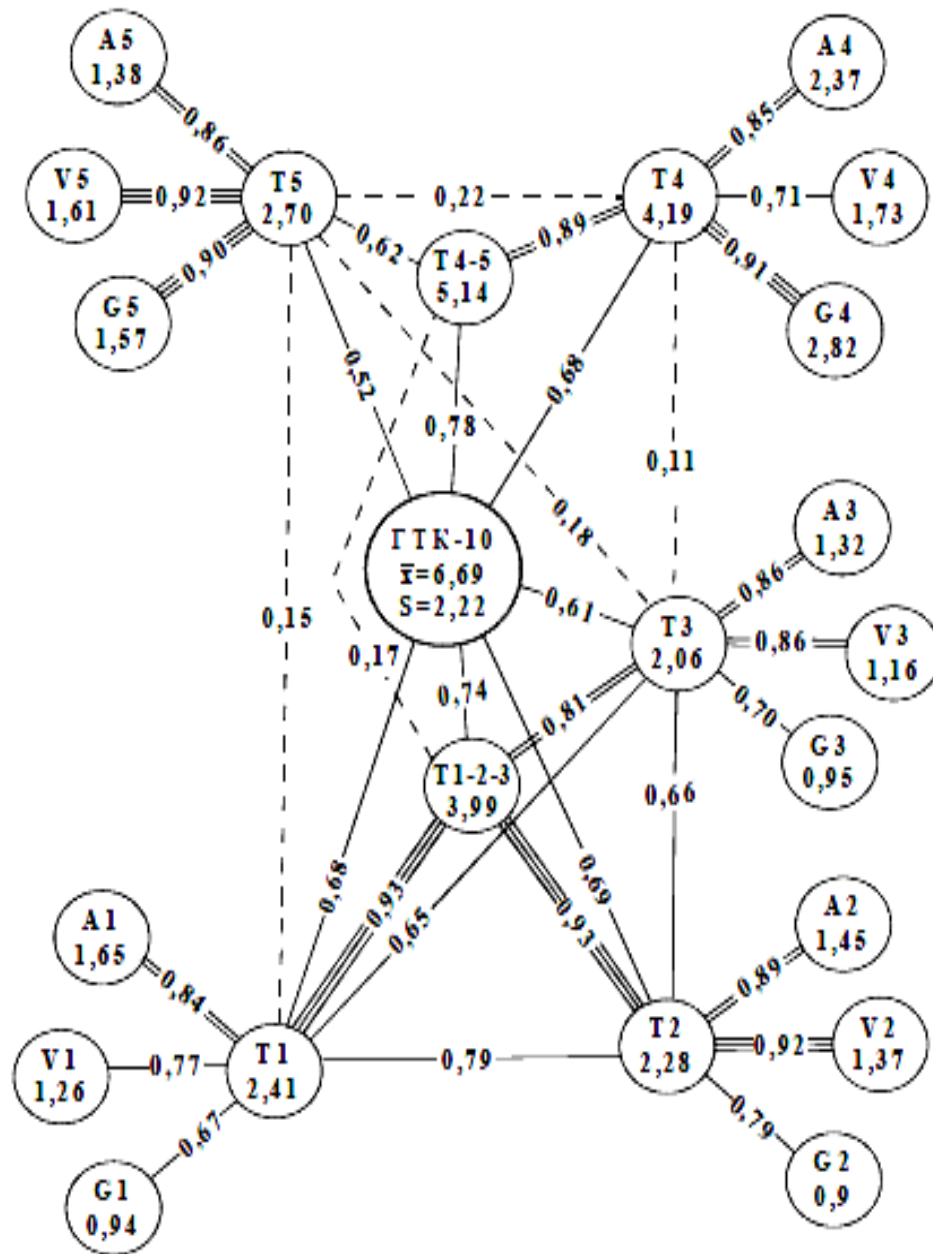


Рис. 2. Граф взаємозв'язків от складових вібрацій корпусоводшипників до загального результуючого вектора швидкості віброшвидкості восьми ГПА типу ГТК-10-4

Однако из-за ошибок системы распознавания некоторая неопределенность состояния агрегата останется. Она может быть выражена через апостериорные вероятности классов состояния $P_{an}(K_1), P_{an}(K_2), \dots, P_{an}(K_i)$, характеризующие нахождение состояний объекта в соответствующем классе, если получены определенные результаты измерений. Эти вероятности определяются, с использованием формул Байеса. В статье приняты следующие допущения:

1. Априорные вероятности классов одинаковы, т.е.

$$P(K_1) = P(K_2) = \dots = P(K_N) = P(K).$$

Тогда $P(H_1) = P(H_2) = \dots = P(H_N) = P(H)$ и $\sum P(H) = 1$.

2. Статистическая зависимость признаков. В этом случае многомерную функцию $f\left[\frac{B_j}{y_1^{(K_i)}, y_2^{(K_i)}, \dots, y_n^{(K_i)}}\right]$ можно представить в виде

$$f\left[\frac{B_j}{y_1^{(K_i)}, y_2^{(K_i)}, \dots, y_n^{(K_i)}}\right] = f\left[\frac{y_1^{B_j}}{y_1^{K_j}}\right] f\left[\frac{y_2^{B_j}}{y_2^{K_j}}\right] \dots f\left[\frac{y_m^{B_j}}{y_m^{K_j}}\right],$$

где $f\left[\frac{y_m^{B_j}}{y_m^{K_j}}\right]$ – одномерные функции распределения.

Для нормального закона распределения признаков функция распределения определяется, как $f\left[\frac{y_m^{B_j}}{y_m^{K_j}}\right] = \frac{1}{\sigma_{y_m}^{(K_i)} \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[y_m^{(B_j)} - my_m^{(B_j)}]^2}{2\sigma^2 y_m^{(B_j)}}\right\}$,

где $my_m^{(K_i)}$, $\sigma_{y_m}^{(K_i)}$ – математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение признаков K_i -класса, или статистические характеристики образа i K_i -класса, полученные до контроля; $y_m^{(B_j)}$ – значение признака B_j -реализации, полученное системой прогнозирования.

С учетом приведенных допущений зависимость для определения апостериорных вероятностей можно представить в виде

$$P\left(\frac{H_i}{B_j}\right) = \prod_{i=1, j=1}^m f\left[\frac{y_m^{(B_j)}}{y_m^{(K_i)}}\right] / \sum_{i=1, j=1}^m f\left[\frac{y_m^{(B_j)}}{y_m^{(K_i)}}\right].$$

По полученному распределению апостериорных вероятностей определяется, к какому классу K_i из N принадлежит B_j -реализация. Вероятность правильного решения D и соответствующее ему значение параметра находятся при наличии границы прогнозируемого интервала $F_n = F_n$. Для нормального распределения F_n определяется как $F_n = 1 - \Phi\left[\frac{y_0 - my}{\sigma_y}\right]$, откуда $y / \sigma_y = \Phi(1 - F_n)$,

где $\Phi\left[\frac{y_0 - my}{\sigma_y}\right]$ – табулированная величина.

$$\text{Тогда } D = 1 - \Phi\left[\Phi(1 - F_n) + \frac{(my_2 - my_1)}{\sigma_y}\right].$$

Логические признаки распознаваемых неисправностей рассматриваются как элементарные высказывания, к которым относится прямой способ определения параметров состояния. Идентификация неисправности ГПА базируется на разностном методе, а не на абсолютных значениях прогнозируемых величин, поэтому абсолютная точность прогнозирования функциональных параметров не имеет существенного значения. Группируя диагностические признаки в соот-

ветствии с решающим правилом, определяется характер неисправного состояния.

Выводы

Предложенная методика позволяет прогнозировать возникновение тех или иных неисправностей ГПА, что дает возможность перехода от метода планово-предупредительных ремонтов (ППР) эксплуатации энергетического оборудования КС к эксплуатации по фактическому ТС. Дальнейшие исследования вибраций позволят разработать теоретические основы расчета вибрационных характеристик газотурбинных установок.

Литература

1. Иванов В.А. Пути реализации эксплуатационной надежности газоперекачивающих агрегатов / В.А. Иванов, А.С. Семенов, С.В. Кузьмин// Изв. ВУЗов, Нефть и газ. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2004, №2. –С.124-125
2. Семенов А.С. Прогнозирование технического состояния газоперекачивающих агрегатов / А.С. Семенов // Сб. науч. тр. «Вопросы состояния и перспективы развития нефтегазовых объектов Западной Сибири». -Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. — С. 82 – 87.
3. Карасев В.А., Максимов В.П., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей. -М.: Машиностроение, 1978.-132с.

<p>Уваров С.В. Діагностика параметрів вібрацій газотурбінної установки</p> <p>Показано, що визначення діагностичних параметрів вібрацій проводиться на інтервалі упередження за результатами моделювання. Запропоновано при визначенні залишкового ресурсу в якості узагальненого прогнозування параметра газотурбінної установки використовувати ефективний коефіцієнт корисної дії.</p>	<p>Uvarov S.V. Vibration parameters of gas turbine plant diagnostics</p> <p>Determination of vibration diagnostic parameters is carried out at the interval of pre-empt results of simulation is presented. Residual resource determination, is proposed, as a generalize project, parameters of gas turbine plant applied the efficiency.</p>
---	---

Надійшло до редакції
25 березня 2009 року

УДК 531.7

НЕЧІТКИЙ МЕТОД ОБХОДУ ТРАЄКТОРІЇ З ПЕРЕШКОДАМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМ НАКОНЕЧНИКОМ

Тимофієва М.А., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

У статті розглянуто нечіткий метод обходу контуру деталі вимірювальним наконечником координатно-вимірювальної машини. Метод заснований на порівнянні багатовимірних векторів нечітких чисел, сформованих із множини вимірних координат деталі

Вступ

Надійність правильно сконструйованої машини, функціонування її вузлів у

розрахунковому режимі у певній мірі залежать від геометричної точності виготовлення деталей по поверхням, що сполучаються. Підвищення вимог до якості машин веде до за собою підсилювання допусків. Одночасно підвищується і доля трудомісткості операцій контролю в технологічному процесі виготовлення деталей і виробів. Для повного контролю деталей промисловість отримала універсальний, автоматичний, досить гнучкий засіб контролю – координатно-вимірвальні машини (КВМ).

Під координатним вимірюванням розуміється визначення геометричних параметрів об'єктів шляхом послідовного знаходження значень координат необхідного числа точок об'єкта в прийнятій системі координат із подальшою обробкою цієї інформації.

При керуванні сучасними КВМ існує необхідність у розробці алгоритмів руху вимірвального наконечника (ВН) при обході контуру деталі. Базовими частинами при цьому є: позиціонування, калібрування вимірвальної головки, утворення системи координат деталі, розрахунок геометричних параметрів і взаємного розташування геометричних елементів поверхонь деталей, розрахунок відхилень дійсних розмірів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомі моделі КВМ мають низку недоліків: невисока точність, недостатня швидкодія, непристосованість для вимірювання лінійних розмірів великогабаритних деталей, відсутність прогнозованого розрахунку точності вимірювання деталі, відсутність у програмно-математичному забезпеченні КВМ автоматизованого обходу ВН контуру перешкод та ін.

У сучасних дослідженнях [1-4] відсутні алгоритми побудови програмного руху КВМ, що забезпечують необхідну траєкторію переміщення ВН з урахуванням конструктивних обмежень і перешкод.

Існує низка задач по забезпеченню високої якості, точності, надійності і швидкодії вимірювання. Важливими питаннями при цьому є вибір оптимальної траєкторії руху й орієнтації ВН, вимірювання об'єктів зі складною просторовою поверхнею з урахуванням їх особливостей. Отже, необхідно розробити алгоритм, що буде враховувати зазначені особливості. Застосування нечіткої логіки дозволяє ефективно вирішити ці питання.

Постановка задачі

Розробити метод обходу контуру деталі з перешкодами ВН при вимірюванні деталей, заснований на нечіткій множині.

Розв'язання поставленої задачі

Для вирішення задачі обходу траєкторії (розрахунку відхилень дійсних розмірів) необхідно проводити порівняння наступних наборів координат. Еталонні значення наборів координат зберігаються у базі даних КВМ. Виміряні – це значення наборів координат, отримані внаслідок зйому інформації з датчиків при обході контуру деталі, які необхідно зіставити з еталонними.

Більшість відомих алгоритмів опрацювання даних потребує значних розрахункових ресурсів. В основі розробленого методу обходу траєкторії деталі покладена теорія нечітких множин. Він передбачає обхід траєкторії з перешкодами.

Фазифікація вхідних значень координат передбачає їх попередню обробку – формування нечітких множин із наступним об'єднанням у лінгвістичну змінну (рис. 1).

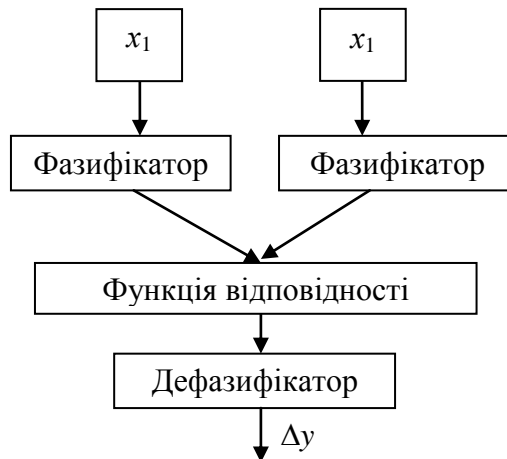


Рис. 1. Нечіткий контролер

У результаті розрахунків знайдено чисельний критерій відповідності між порівнювальними величинами.

Нехай ВН роботу рухається за траєкторією. Позначимо $A = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ – вектор параметрів, що містить значення вимірних координат точок $a_i (i=1, \dots, n)$. Під час руху головки вимірювального робота формується сукупність векторів $A(t) = \{A(t_0), A(t_1), \dots, A(t_k)\}$ – траєкторія. Необхідно зіставити координати точок траєкторії $A(t)$.

Припустимо, що координати точок еталонного набору даних формуються із координат точок траєкторії, хоча в загальному вигляді вони можуть бути задані апріорно.

Представимо компонент a_i вектора координат як лінгвістичну змінну L_i , яку можна записати у вигляді кортежу [5]:

$$L_i = (x_i, T_i, U_i, G_i, M_i), \quad (1)$$

де x_i – ім'я змінної; T_i – множина термів; U_i – область визначення лінгвістичної змінної; G_i – синтаксичне правило формування змінної; M_i – семантичне правило.

Множина термів лінгвістичної змінної L_i має вигляд:

$$T_i = \{N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_m\}, \quad (2)$$

де $N_j, j = (1, 2, \dots, m)$ – нечітка множина.

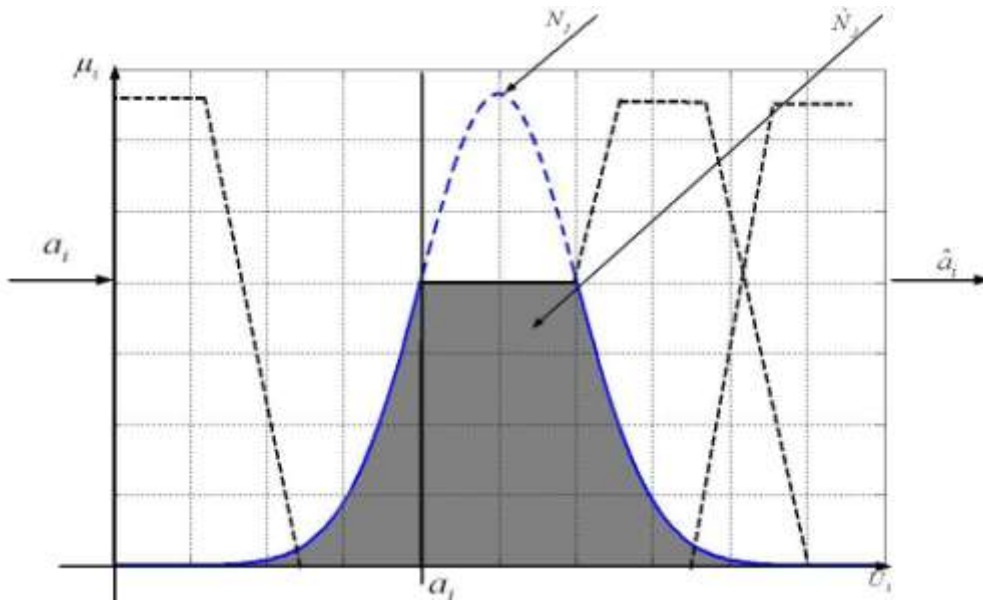


Рис. 2. Фазифікація вимірювань

Під час руху ВН по траєкторії відбувається фазифікація вимірювань координат (рис. 2) у наступній послідовності:

1. Чітке значення a_i вимірних координат точок поступає на вхід фазифікатора;
2. У відповідності з нечіткими множинами N_j із множини (2), які формують кожну лінгвістичну змінну, визначаються значення функцій належності μ_j у точці a_i ;
3. Із перетину $N_j \cap \mu_j$ знаходиться нова нечітка множина \hat{N}_j ;
4. Із усіх множин \hat{N}_j обираємо максимальне.

Операція фазифікації має вигляд:

$$\hat{a}_i = \max_{j=1..m} (N_j \cap \mu_j(a_i)). \quad (3)$$

У наслідок операції фазифікації (3) отримуємо нечітку множину \hat{a}_i , яка є нечітким представленням вимірної координати точки a_i . Розповсюдивши операцію фазифікації на весь вектор координат A , отримаємо його нечітке представлення $\hat{A} = (\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_N)$.

Зіставлення координат точок зводиться до зіставлення їх нечітких описів. При цьому необхідно провести порівняння кожного елемента еталонної множини з відповідним елементом множини вимірних значень координат.

На рис.3 приведений нечіткий вектор, який відповідає зіставленим точкам траєкторії. Нечіткий вектор складається з n компонентів, які відповідають вимірюванням ВН.

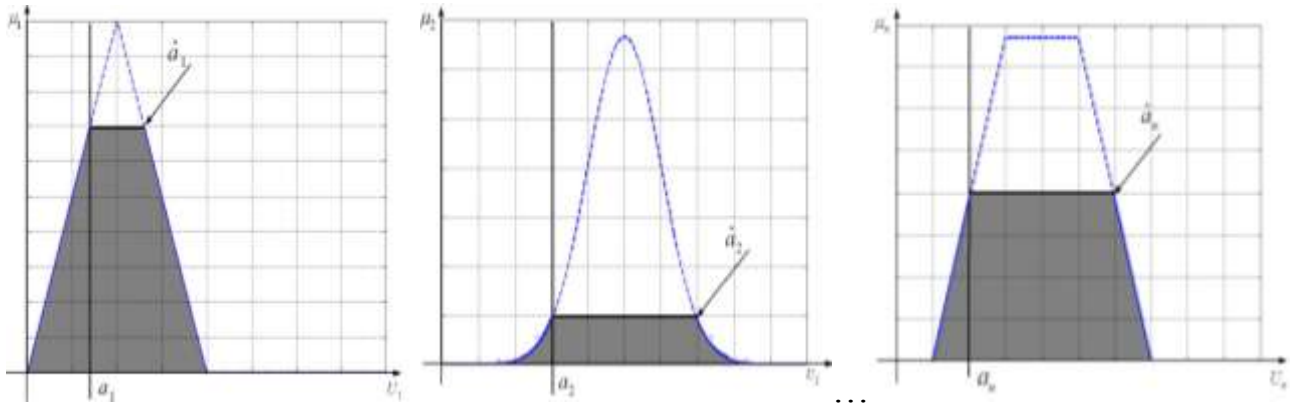


Рис. 3. Нечіткий вектор компонентів траєкторії вимірювання

На рис. 3 також показана операція фазифікації, яка проведена для кожного компонента. Таким чином, процедура зіставлення компонентів траєкторії зводиться до попарного порівняння багатовимірних векторів нечітких чисел.

Результатом порівняння нечітких векторів є нечіткий вектор \hat{A}^+ , функції належності кожного елемента якого будуть приймати максимальне значення, якщо функції належності елементів, що порівнюються, рівні, і мінімальне значення у випадку, якщо вони не рівні.

На рис. 4 показано нечіткий вектор \hat{A}^+ , який представляє собою результат операції нечіткої рівності, виконаної над двома нечіткими векторами.

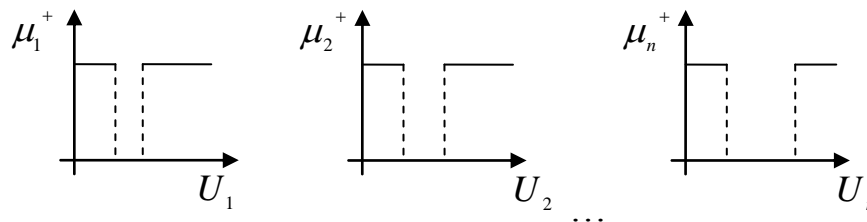


Рис. 4. Результат операції нечіткої рівності

У процесі порівняння координат точок траєкторії отримаємо набір векторів нечітких чисел, із яких необхідно обрати один найкращий. Для цього необхідно провести дефазифікацію результуючого нечіткого вектору.

Проінтегруємо значення кожної функції належності з нечіткого вектору \hat{A}^+ на її області визначення U_i :

$$S(\hat{a}_i) = \int_{U_i} \mu_i^+(\hat{a}_i) d\hat{a}_i. \quad (4)$$

Пронормуємо значення (4) по відношенню до максимальної площі, яку може обмежувати функція належності на всій області визначення:

$$P(\hat{a}_i) = \frac{S(\hat{a}_i)}{\int_{U_i} d\hat{a}_i}. \quad (5)$$

Формула (5) відповідає операції дефазифікації у класичному нечіткому контролері методом пошуку центру мас. Застосуємо її до всіх компонентів із нечіткого вектора і обчислимо суму:

$$P(\hat{A}^+) = P(f^+(\hat{A}_1, \hat{A}_2)) = \sum_{i=1}^n P(\hat{a}_i). \quad (6)$$

Отримане значення $P(\hat{A}^+)$ являється критерієм відповідності двох векторів нечітких чисел.

Висновки

У статті розглянуто нечіткий метод обходу траєкторії переміщення ВН з урахуванням обмежень і перешкод при вимірюванні деталі КВМ. Результатом запропонованого методу є критерій відповідності точок еталонного та виміряного наборів координат. Представлений метод надає можливість вибору оптимальної траєкторії руху й орієнтації ВН.

У подальшому необхідне вирішення задачі оптимізації процесу вимірювання нечітким методом.

Література

1. Muller Ernst. 3D – Koordinaten – Messtechnik der Zukunft//masehinanbau.-1994.-№12.-p 21.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000.-384 с.
3. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Мн.: НТООО «Тетра-Системс», 1997. – 368 с.
4. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ.– М.: Мир, 1989.– 624 с.
5. Jyh – Shing, Roger Jang, Chuen – Tsai Sun, Eiji Mizutani. Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence. – Pentice-Hall, Inc., 1997.

Тимофеева М.А. Нечеткий метод обхода траектории с препятствиями измерительным наконечником

В статье рассмотрен нечеткий метод обхода контура детали измерительным наконечником КИМ. Метод основан на сравнении многомерных векторов нечетких чисел, сформированных из множества измеренных координат детали.

Tymofiyeva M.A. Fuzzy method of round of trajectory with obstacles by measuring tip

In article the fuzzy method of round of detail contour is considered by a measuring tip of coordinate-measuring machine. The method is based on comparison of multidimensional vectors of fuzzy numbers formed from the great number of the detail measured coordinates.

*Надійшло до редакції
25 березня 2009 року*