

**ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ИНТЕРВАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Б.В.Палух, Б.В.Василев, В.Л.Перов

В статье рассматривается возможность применения аппарата интервальной математики для решения задачи распознавания дефектов в технологическом оборудовании. Показывается целесообразность использования методов интервальной математики, их большая эффективность и надежность по сравнению с традиционными методами параметрической диагностики.

**APPLICATION OF INTERVAL MATHEMATICS
FOR SOLVING TECHNICAL DIAGNOSTICS TASKS
OF NON-STOP MANUFACTURE IN CHEMICAL INDUSTRY**

B.V.Paluh, B.V.Vasilyov, V.L.Perov

The article deals with the possibility of usage of interval mathematics to solve the task of fault recognition of technological equipment. It shows expedience of the usage of the methods of interval mathematics, their better efficiency and reliability as compared with the traditional methods of the parametric diagnostics.

Современные непрерывные производства в химической, нефте-химической и других смежных отраслях промышленности характеризуются большой единичной мощностью и высокой энерго- и материалоемкостью. Отказы в основном оборудовании приводят к внеплановым простоям (время восстановления нормального функционирования технологического оборудования исчисляется сутками), большим материальным и энергетическим затратам. Согласно статистике, число остановок в год химического производства по причине аварийных отказов в технологическом оборудовании, средствах регулирования и управления составляет около 50% от общего числа остановок. При этом экономические потери от одной внеплановой остановки могут достигать нескольких сотен тысяч рублей. Помимо того, что неисправности в технологическом оборудовании химических производств приводят к большим экономическим потерям, необходимо учитывать то, что большин-

ство химических предприятий потребляет или выпускает ядовитые пожаро- и взрывоопасные вещества, и аварии на химических производствах связаны с причинением серьезного ущерба здоровью людей и окружающей среде. Такое положение обязывает проводить эксплуатацию технологического оборудования в таких условиях, которые позволяют свести к минимуму возможность аварийных отказов. Одним из направлений повышения надежности технологического оборудования на химических предприятиях является выбор обоснованного режима эксплуатации и прогнозирование отказов и аварийных состояний. Таким образом, для надежного и безаварийного функционирования технологического оборудования необходимо разрабатывать методы автоматизированной технической диагностики. Для непрерывных производств одним из наиболее простых и эффективных методов является метод параметрической диагностики, при котором состояние оборудования оценивается по значениям диагностических параметров, причем параметры могут быть как измеряемые, так и вычисляемые /в химическом производстве диагностическими параметрами могут быть температура, давление, степень конверсии, коэффициент полезного действия и т.п./.

Целью диагностирования является определение одного из заданных видов технического состояния, к которому может быть отнесено текущее состояние объекта диагностики. Для проведения диагностирования необходимо задать виды технического состояния объекта диагностики, указать соответствующие граничные условия и проверить выполняемость этих условий по каждой переменной состояния /диагностическому параметру/.

В настоящее время задачи параметрической диагностики решаются путем оперативного измерения /или вычисления через косвенные технологические параметры/ мгновенных значений диагностических параметров с определенным периодом дискретизации. Однако в стационарном режиме эксплуатации непрерывного химического производства его технологические переменные /а следовательно и диагностические параметры/ непрерывно изменяются под действием нерегулярных дестабилизирующих факторов, т.е. мгновенные значения диагностических параметров очень чувствительны к воздействию шумовых помех и могут случайным образом изменяться на значительную величину. Следовательно, если

диагностические параметры будут иметь слишком большую погрешность, то система диагностики может часто выдавать сигналы ложной тревоги или пропускать дефекты. В настоящее время большинство методов по обнаружению неполадок и отказов основываются на математических методах, мало пригодных для диагностики в условиях ненадежности измерений /1/.

Трудности учета неопределенных погрешностей диагностических параметров можно преодолеть применяя аппарат интервального анализа /2/. Для того, чтобы снизить чувствительность системы диагностики к шумовым помехам, необходимо, чтобы диагностической моделью объекта была система интервальных диагностических уравнений, результатом решения которой являются интервальные числа. Таким образом автоматизированная система диагностики будет анализировать не мгновенные значения диагностических параметров в некоторые определенные моменты времени, а интервалы изменения диагностических параметров за заданные интервалы времени.

Пусть имеется диагностический параметр, заданный интервалом $X = [\underline{x} ; \bar{x}] = \{x : \underline{x} \leq x \leq \bar{x} ; \underline{x}, \bar{x} \in \mathbb{R}\}$

Для решения задачи распознавания состояний объекта диагностики введем индикаторную функцию $J(X)$. Тогда, если, согласно технологическому регламенту, состояние дефекта наступает при выходе диагностического параметра за верхнюю границу области допустимых значений \bar{d} , то значение индикаторной функции будет следующим:

$$J_1(X) = \begin{cases} 1, & \text{при } \bar{x} < \bar{d} \\ -1, & \text{при } \underline{x} > \bar{d} \\ 0, & \text{при } \underline{x} \leq \bar{d} \leq \bar{x} \end{cases}$$

Если область работоспособных состояний объекта диагностики обозначить R , а область дефектов D , то $J_1(X) = 1 \Leftrightarrow X \in R$,

$J_1(X) = -1 \Leftrightarrow X \in D$, $J_1(X) = 0$ - состояние неопределенности.

Если контрольным значением для состояния работоспособности объекта является нижняя граница области допустимых значений, то значения индикаторной функции будут следующими:

$$J_2(X) = \begin{cases} 1, & \text{при } \underline{x} > \underline{d} \\ -1, & \text{при } \bar{x} < \underline{d} \\ 0, & \text{при } \underline{x} \leq \underline{d} \leq \bar{x} \end{cases}$$

Предлагаемый метод распознавания состояний объекта имеет

зону неопределенности. Отказ от распознавания является нежелательным событием. Зону неопределенности применяют в классических методах распознавания в тех случаях, когда требуется высокая надежность распознавания /большая стоимость пропуска дефекта и ложной тревоги/. При распознавании с зоной неопределенности важнейшим показателем качества распознавания является вероятность отказа от распознавания.

Рассмотрим условия, при которых распознавание с использованием интервального анализа будет эффективней классического. Пусть имеются функции плотности вероятности распределения случайной величины диагностического параметра для работоспособного $f_R(x)$ и дефектного $f_D(x)$ состояний объекта /рис.1/. Для непрерывных производств обычно области работоспособного R и дефектного D состояний существенно пересекаются.

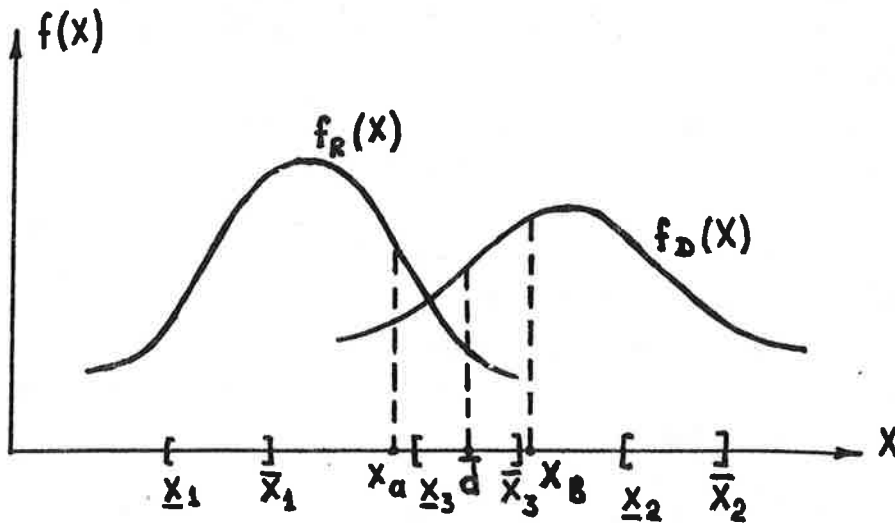


Рис. 1

Пусть состояние дефекта определяется при выходе X за верхнюю допустимую границу d . Тогда при значении $X_1 = [x_1; \bar{x}_1]$ принимается решение о состоянии R , при $X_2 = [x_2; \bar{x}_2]$ - о состоянии D , при $X_3 = [x_3; \bar{x}_3]$ - о неопределенном состоянии. Правило решения задачи в классическом варианте /3/ выглядит следующим образом: при $x \leq x_a$ $x \in R$, при $x \geq x_b$ $x \in D$, при $x_a < x < x_b$ - отказ от распознавания.

Вероятность отказа от распознавания при классическом методе будет равна:

$$P_{om} = \int_{x_a}^{x_b} [P_1 \cdot f_R(x) + P_2 \cdot f_D(x)] dx \quad /1/$$

Вероятность отказа от распознавания при интервальном методе будет равна:

$$P_{ои} = \int_{x_3 = x_a}^{\bar{d}} P_1 \cdot f_R(x) dx + \int_{\bar{d}}^{\bar{x}_2 = x_b} P_2 \cdot f_D(x) dx \quad /2/$$

где P_1 - априорная вероятность диагноза R, которая определяется на основании предварительных статистических данных,

P_2 - априорная вероятность диагноза D.

Из анализа выражений /1/ и /2/ видно, что при $x_b - x_a = \bar{x}_2 - x_3$ вероятность $P_{ом}$ больше вероятности $P_{ои}$.

Найдем максимальную ширину интервала X, при которой результаты распознавания интервальным методом будут не хуже, чем классическим. Для этого надо приравнять правые части выражений /1/ и /2/, задать значение $x_3 = x_a$ и вычислить из выражения /3/ \bar{x}^* :

$$\begin{aligned} \int_{x_a}^{x_b} [P_1 \cdot f_R(x) + P_2 \cdot f_D(x)] dx &= \\ &= \int_{x_a}^{\bar{d}} P_1 \cdot f_R(x) dx + \int_{\bar{d}}^{\bar{x}^*} P_2 \cdot f_D(x) dx \quad /3/ \end{aligned}$$

В выражении /3/ все величины, кроме \bar{x}^* заданы, поэтому можно вычислить \bar{x}^* , а значит и максимально допустимую ширину X: $W_{max}(X) = \bar{x}^* - x_a$

Если $W(X) > W_{max}(X)$, то применение интервального метода распознавания не целесообразно.

Сравним теперь вероятности ложной тревоги и вероятности пропуска дефекта системы диагностики, анализирующей мгновенные значения диагностического параметра и системы диагностики, анализирующей интервальные значения диагностического параметра.

Пусть на интервале времени $T = [\underline{t}; \bar{t}]$ диагностический параметр изменяется в интервале $X_3 = [x_3; \bar{x}_3]$. Пусть система диагностики по мгновенному значению использовала для анализа значение x_3 /очевидно, что это наилучший вариант с точки зрения недопущения ложной тревоги/. Тогда вероятность ложной тревоги по мгновенному значению диагностического параметра будет:

$$P_{лт} = P_1 \cdot \int_{x_3}^{\infty} f_R(x) dx \quad /4/$$

Вероятность ложной тревоги по интервальному значению диагностического параметра:

$$P_{лт} = P_1 \cdot \int_{x_3}^{\bar{x}_3} f_R(x) dx \quad /5/$$

где P_1 - априорная вероятность работоспособного состояния R . Аналогично вероятности пропуска дефекта по мгновенному значению и по интервальному значению будут соответственно:

$$P_{\text{пнм}} = P_2 \cdot \int_{x_2}^{x_3} f_D(x) dx \quad /6/, \quad P_{\text{пн}} = P_2 \cdot \int_{x_3}^{\infty} f_D(x) dx \quad /7/$$

где P_2 - априорная вероятность появления дефекта D .

Сравнивая выражения /4/ и /5/ и выражения /6/ и /7/ получаем, что $P_{\text{ам}} > P_{\text{ан}}$ и $P_{\text{пм}} > P_{\text{пн}}$.

Итак мы получили, что, если в системе диагностики диагностические параметры представлены в виде интервальных чисел, то вероятность отказа системы от распознавания состояния объекта и вероятности ложной тревоги и пропуска дефекта меньше, чем при традиционном анализе мгновенных значений диагностических параметров. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования аппарата интервальной математики при создании систем технической диагностики, так как при этом достигается более эффективное диагностирование неисправностей и, следовательно повышение надежности технологического оборудования.

Литература

1. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах. - Л.: Химия, 1983. - 325с.
2. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. - Новосибирск: Наука, 1986. - 224с.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение 1978. - 240с.

125820, Москва, ГСП А-47
Миусская пл., д.9, МХТИ
кафедра ГАПС