## Идентификация объекта управления

В современных сложных объектах, как правило, выходной сигнал объекта зависит не от одного входного сигнала, как в случае с кривой разгона, а от нескольких входных сигналов, т.е. объект управления имеет сложное переплетение взаимосвязей входных и выходных сигналов.

Рис. 1. Схема объекта, состоящего из нескольких взаимосвязанных входных-выходных сигналов

Для идентификации таких сложных объектов используется метод регрессионного анализа с проведением активного эксперимента на базе теории математического планирования эксперимента.

Назначение этой теории – значительно сократить количество экспериментальных опытов и упростить расчеты, необходимые для получения уравнения взаимосвязи выходного сигнала с несколькими входными сигналами – уравнения регрессии.

Сокращение числа необходимых экспериментов в теории математического планирования эксперимента достигается за счет одновременного изменения всех входных сигналов (факторов), а упрощение расчетов получается за счет того, что изменение входных сигналов (факторов) нормируется, т.е. величины . Пусть – зависит от 2-х входных факторов.

Рис. 2. Схема исследования объекта методом регрессионного анализа для двух входных сигналов (факторов)

Точка О – номинальный режим работы объекта. Нормализация происходит за счет того, что начало координат переносится в точку О на .

Рис. 3. Схема центрального плана полного факторного эксперимента для двух входных сигналов (факторов)

Здесь (рис. 3) изображен план проведения опытов для изучения зависимости . Число опытов равно 4=22 – полный факторный эксперимент; Для k входных факторов число опытов в факторном эксперименте: N=2k. При k=3 N=8; k=4, N=16 и т.д.

На приведенном выше рис. 3. изображен центральный (точка О – в центре) ортогональный полный факторный план эксперимента для 2-х входных факторов.

Таблица 1. Полный факторный эксперимент для k=2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № опыта |  |  |  |
| 1 | +1 | +1 |  |
| 2 | -1 | +1 |  |
| 3 | -1 | -1 |  |
| 4 | +1 | -1 |  |

Свойство плана, когда, называется ортогональностью плана.

Таблица 2. Полный факторный эксперимент для k=3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта |  |  |  |  |
| 1 | +1 | +1 | +1 |  |
| 2 | -1 | +1 | +1 |  |
| 3 | -1 | -1 | +1 |  |
| 4 | +1 | -1 | +1 |  |
| 5 | +1 | +1 | -1 |  |
| 6 | -1 | +1 | -1 |  |
| 7 | -1 | -1 | -1 |  |
| 8 | +1 | -1 | -1 |  |

В полном факторном плане экспериментов число опытов резко возрастает в зависимости от числа входных факторов: k=4 N=16; k=5, N=32; k=6, N=64 опыта. Поэтому для сокращения числа опытов с минимальной потерей информации применяются сокращенные планы – дробные реплики. Если планы содержат половину опытов полного факторного эксперимента, то такой план носит название полуреплики.

Таблица 3. Пример полуреплики для k=4 (ПФЭ=16)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта |  |  |  |  |
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 |
| 2 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 3 | -1 | +1 | +1 | -1 |
| 4 | -1 | -1 | +1 | +1 |
| 5 | +1 | +1 | -1 | -1 |
| 6 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 7 | -1 | +1 | -1 | +1 |
| 8 | -1 | -1 | -1 | -1 |

Используют также ¼ реплики от полного факторного эксперимента.

Уравнение взаимосвязи входного и выходного сигналов – уравнение регрессии – записывается в виде алгебраического полинома 1-ой и 2-ой степени в следующем виде:

1-ой степени:

xвых = b0 +b1x1+b2x2;

с учетом взаимодействия входных факторов для 2-х входных факторовx1 и x2:

xвых = b0 + b1x1 + b2x2 + b12x1 x2 .

Полином второй степени – уравнение регрессии:

Естественно, это уравнение более точно описывает взаимосвязь xвых – функции отклика – с входными факторами (сигналами) объекта.

Задача идентификации объекта управления (ОУ) методом регрессивного анализа сводится к выбору порядка математической модели – уравнения регрессии – и определению коэффициентов b0, b1, b2, b12 и т.д. в этом уравнении регрессии. При определении этих коэффициентов используется метод наименьших квадратов, в котором определяется наименьшая сумма отклонений в квадрате (2-ой степени) между реально полученным в эксперименте выходным сигналом и выходным сигналом, рассчитанным (предсказанным) по уравнению регрессии, т.е. ищут минимум функции:

Минимум функции Ф достигается в том случае, когда первая частная производная (тангенс угла наклона к впадине) равна нулю, т.е.

.


#### Пример

Рассмотрим пример использования метода наименьших квадратов. Пусть выходной сигнал (функция отклика) зависит от одного фактора (входного сигнала). Активно проведено n экспериментов. Задана и получена – результатов экспериментов. Общий вид уравнения регрессии 1-го порядка для примера:

xвых = b0 + b1x1

Методом наименьших квадратов ищем минимум функции Ф:

Для получения минимума этой Ф приравниваем к нулю частные производные

.

Для удобства получения частных производных введем фиктивную переменную x0=1 и функцию Ф запишем:

x0=1 можно убрать. Тогда

Решая эту систему алгебраических уравнений (можно методом Крамера), находим:

Проверка идентичности математической модели – уравнения регрессии исследуемого объекта проводится по нескольким критериям адекватности и идентичности модели.

Поскольку результаты опытов в эксперименте заранее точно предсказать невозможно, то обработка и сами результаты связаны с неопределенностью или вероятностью. Вероятность изменяется в пределах: 0 – события быть не может, 1 – событие произойдет обязательно (день-ночь). При большом числе параллельных (одинаковые условия) опытов вероятность может быть задана в виде функции распределения вероятностей (рис. 4.):

Рис. 4. Схема нормального (гауссовского) закона распределения вероятностей

На практике чаще всего используется так называемое нормальное (гауссовское) распределение вероятностей.

Случайная величина () имеет несколько числовых характеристик, наиболее важные из которых – это математическое ожидание и дисперсия.

Математическое ожидание – это среднее взвешенное значение случайной величины

Дисперсия характеризует разброс значений случайной величины относительно ее математического ожидания.

.

Проверка значимости уравнения регрессии проводится по критерию Фишера или F-критерию. Проверка заключается в определении, значимо ли (больше ошибки измерения) полученное уравнение отличается от уравнения . Для этого вычисляют дисперсию относительно среднего значения выходного сигнала:

,

где f1 – число степеней свободы,

.

А также остаточную дисперсию:

,

f2 – число степеней свободы.

Величину критерия Фишера (F-критерий) определяют по формуле:

 (должно быть).

Значимость коэффициентов bi уравнения регрессии определяют по t-критерию (критерии Стьюдента):

,

.


## Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа

Метод корреляционного анализа используется для идентификации объектов управления в том случае, если входные и выходные сигналы являются случайными величинами.

Рис. 5. Схема исследования объекта корреляционным методом

При корреляционном анализе используются:

* автокорреляционная функция (АКФ) и
* взаимокорреляционная функция (ВКФ).

АКФ характеризует зависимость последующих значений случайной величины от предыдущих, находящихся на расстоянии Δτ.

Рис. 6. График изменения входной случайной величины – входного сигнала

АКФ:

.

При Δτ →0 – точнее.

Взаимокорреляционная функция связывает две величины, отстоящие друг от друга на Δτ.

ВКФ:

.

С АКФ и ВКФ связаны (через преобразование Фурье, когда входной-выходной сигнал раскладывается в ряд Фурье, состоящий из суммы синусоидальных колебаний с различной ω – ряд гармоник) спектральные плотности случайных величин.

 – для АКФ,

 – для ВКФ.

Физически показывает, какая доля мощности случайной величины приходится на данную частоту.

Через спектральную плотность находим АФЧХ объекта:

.


# Техническая диагностика систем

Техническая диагностика – наука о распознавании состояния технической системы. Диагнозис (гр.) – распознавание.

Объект технического диагностирования – изделие и его составные части, техническое состояние которых подлежит определению с заданной точностью.

Техническое состояние – совокупность свойств объекта, характеризуемая в данный момент времени признаками, установленными технической документацией на объект.

Техническое состояние может быть:

* исправное-неисправное;
* работоспособное-неработоспособное;
* функционирующее правильно и неправильно.

Диагностирование по алгоритму – это совокупность предписаний с использованием диагностических признаков.

Система технического диагностирования – совокупность средств и объекта диагностирования, а также и исполнителей, осуществляющих диагностирование по правилам, установленным соответствующей документацией. Система технической диагностики определяет состояние технического объекта, характер его изменения с течением времени, по определенным диагностическим признакам.

Теоретический фундамент технической диагностики – теория распознавания образов, разработка алгоритмов распознавания, создание диагностических математических моделей, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображением в пространстве диагностических признаков (сигналов). Диагнозы – классы типичных (типовых) состояний.

Важная часть распознавания – правила принятия решений (решающие правила).

Диагностика в режиме работы объекта называется функциональным техническим диагностированием.

Диагностика, когда проводятся тестовые воздействия – тестовая техническая диагностика.

В технической диагностике введено понятие глубины поиска дефекта, задаваемое указанием составной части объекта диагностики, с точностью, до которой определяется место дефекта. Обычно это модуль или блок, иногда даже микросхема (ЛОМИКОНТ).

Актуальность технической диагностики подтверждается следующими цифрами: в США исследования показали техническое обслуживание и ремонт самолета в 3-4 раза больше его стоимости, ремонт и обслуживание радиотехнического оборудования – 1200% от его стоимости. В СССР (по 181 г.) ремонтом и обслуживанием металлорежущих станков занимались в 4 раза больше рабочих, чем изготовлением этого оборудования. Стоимость заводского ремонта в ВВС США в 187 г. составила 15 млрд. долл., что в 2 раза больше, чем в 180 г.

Тенденция роста убытков, связанных с отказами техники, имеет место во всех развитых странах. Отказы, неисправности, поломки, сбои, ошибки и даже катастрофы – неизбежные факторы, дестабилизирующие процесс нормального функционирования объекта и системы управления. Имеется 3 причины отказов и катастроф:

а) применение малоизученных физических явлений для создания изделий;

б) несоблюдение принципа системности при проектировании изделий; применение несовершенных и неадекватных расчетных схем;

в) "человеческий фактор" в разработке, производстве и эксплуатации изделий ("защита от дурака").

Так, например, недостаточная изученность свойств материалов и несовершенство расчетов привели к катастрофе в США реактивного пассажирского самолета "Комета", который развалился в воздухе. Причина – прямоугольные иллюминаторы, в углах которых возникла концентрация напряжений, что привело к разрушению корпуса самолета. Второй пример. В 167 г. во время наземных испытаний космического корабля "Аполлон" США возникло короткое замыкание в проводе под креслом космонавта – мгновенный пожар в избытке кислорода – погибли 3 человека. В США подсчитано в 156 г., что из-за ошибок рабочих и служащих возникло 2 млн. отказов промышленного оборудования, что стоило 2 млрд. долл. Причина большинства авиакатастроф – "человеческий фактор".

Объективность "человеческого фактора" и необходимость его учета отражена в шуточных законах Мэрфи:

1. Инструмент падает туда, где может нанести наибольший вред.
2. Любая трубка при укорачивании оказывается слишком короткой.
3. После разборки и сборки какого-либо устройства несколько деталей оказываются лишними.
4. Количество имеющихся в наличии запчастей обратно пропорционально потребности в них.
5. Если какая-либо часть устройства может быть смонтирована неправильно, то всегда найдется кто-нибудь, кто так и сделает.
6. Все герметические стыки протекают.
7. При любом расчете число, правильность которого для всех очевидна, становится источником ошибок.
8. Необходимость внесения в конструкцию принципиальных изменений возрастает непрерывно по мере приближения к завершению проекта.

Необходимость в разработке научно обоснованных методов технической диагностики и технических средств для реализации диагностических систем и комплексов подтверждают результаты исследований, по которым установлено, что специалист 25% времени тратит на определенные части изделия, где произошла неисправность, 62% – на определение неисправной детали и только 13% времени – на восстановление отказавшей детали. Техническое диагностирование использует технические математические модели. Отличие диагностических моделей от обычных математических моделей, которые отражают номинальный режим функционирования объекта или системы управления состоит в том, что диагностическая модель описывает существенные свойства аварийных режимов, вызванных различными отказами. Объект или система при разработке диагностической модели рассматриваются по следующей схеме (рис. 3.):

Рис. 7. Схема разработки диагностической модели объекта или системы управления

Иерархия диагностических моделей (ДМ)

Рис. 8. Иерархия диагностических моделей

Из схемы видно, что диагностические модели могут быть различной сложности: от простых описательных (текст) до математических моделей высокого уровня.

## Классификация отказов

а) по степени влияния: полные, частичные;

б) по характеру проявления: окончательные, перемежающиеся;

в) по степени связи: зависимые, независимые;

г) по частоте проявления: однократные, многократные;

д) по характеру возникновения: внезапные, постепенные;

е) по математическим моделям: параметрические, сигнальные;

ж) по видам проявления: обрывы, короткие замыкания, дрейф, переориентация, изменение эффективности.

Задачи диагностирования по следующей схеме (рис. 9.):

Рис. 9. Схема диагностирования по отказам

Для диагностики моделей используется (см. классификацию) множество физических видов отказов – диагностических признаков.

В качестве прямых диагностических признаков соответствующего отказа используют Δλi = λi - λiном – отклонение диагностического параметра λi от номинального значения. Косвенные диагностические признаки оценивают через отклонение величины xвых – выходного сигнала объекта (системы).

Разработка диагностического обеспечения системы управления или объекта идет по следующей схеме (рис. 10.):

Рис. 10. Схема разработки диагностического обеспечения системы управления или объекта

## Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)

Пусть:

а) задана система линейная с постоянными характеристиками на отдельном отрезке времени стационарная, работающая в номинальном режиме;

б) задано множество контрольных точек;

в) задано множество физических отказов с характеристикой отказов;

г) задано множество тестовых и рабочих сигналов управления;

д) задано время диагностирования ОУ (СУ).

Требуется:

Провести техническое диагностирование ОУ (СУ) в целях контроля технического состояния – обнаружение отказов, поиск места и определение причин отказа.

При вероятностных методах распознавания технического состояния системы вероятность постановки диагноза , где Ni – число состояний объекта из общего числа состояний N, у которых имел место диагноз Di, а P(kj/Di) – вероятность появления диагностического признака kj у объекта с диагнозом Di. Если среди Ni состояний объектов, имеющих диагноз Di, у Nij появился признак kj, то

Вероятность появления диагностического признака kj во всех состояниях объекта N независимо от их диагноза с учетом того, что kj появляется только в Nj состояниях объекта, равна:

.

Из изложенного выше вытекает, что вероятность совместного появления следующих событий: наличия у объекта диагноза Di и диагностического признака kj – равна:

.

Отсюда:

 – формула Байеса.

Формула Байеса неточно отражает реальное положение при постановке диагноза Di при наличии диагностического признака kj. Дело в том, что в этой формуле априорно (без доказательства, заранее) принято, что все диагностические признаки имеют равную вероятность появления в реальных условиях работы системы, при этом не учитывается информационная ценность того или иного диагностического признака.

Информационная ценность диагностического признака определяется количеством информации, которое вносит данный диагностический признак в описание технического состояния объекта управления (ОУ) или системы управления (СУ).

Количество информации связано с энтропией (степенью неопределенности) состояния системы, чем выше определенность состояния системы (меньше энтропия), тем меньше информации мы получим, изучая (диагностируя) эту систему (о ней и так почти все известно).

Энтропия (степень неопределенности) системы по Шеннону (разработчик теории информации) находят по формуле:

где H(A) – энтропия системы A; P(Ai) – вероятность Ai состояния системы А.

Количество информации определяется как разность энтропии системы в 2-х различных состояниях:

J = H(A1) – H(A2),

где J – количество информации, H(A1) – энтропия 1-го состояния, H(A2) – энтропия 2-го состояния системы.

# Список литературы

1. Льюнг Леннарт. Идентификация систем. – М.: Наука, 191.
2. Интеллектуальные системы автоматического управления. / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина – М.: Физматпит, 2001.
3. В.О. Толкачев, Т.В. Ягодкина. Методы идентификации одномерных линейных динамических систем. – М.: МЭИ, 197.
4. К.А. Алексеев. Моделирование и идентификация элементов и систем автоматического управления. – Пенза, 2002.
5. Дочф Ричард, Вишоп Роберт. Современные системы управления. – М.: Юнимедиастайп, 2002.
6. С.В. Шелобанов. Моделирование и идентификация систем управления. – Хабаровск, 199.
7. К.В. Егоров. Основы теории автоматического регулирования. – М.: Энергия, 167.