



Проблемы диагностики сложных нефтегазохимических комплексов

Д.А. Кравченко, В.И. Финаев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы, возникающие при диагностике сложных нефтегазохимических комплексов. Приводится аналитический обзор известных методов технической диагностики. Предлагаются методы по решению проблемы технической диагностики.

Ключевые слова: нефтегазохимический комплекс, статистическое исследование, техническая диагностика, диагноз, дифференциация научных исследований в области технической диагностики, принятие решений, нечеткая логика, нейронная сеть, прогнозная модель, неопределенность.

Актуальность и цель исследования

Интенсификация нефтегазохимических производств предъявляет серьезные требования к работе всех систем автоматизированного производства. Рост степени автоматизации приводит к росту уровня абберации автоматизированной системы управления технологическими процессами и всего производства в целом. Применение малолюдных технологий, минимизирующих присутствие и участие ремонтного персонала при эксплуатации объектов, достижимо только при условии применения систем мониторинга и диагностики технического состояния оборудования и средств автоматизации.

Так как современные технологические объекты являются дорогостоящими, а стоимость их ремонта высока, то увеличение ресурса эксплуатации систем экономически выгодно, что может быть обеспечено, прежде всего, за счет применения средств технической диагностики. Применение технической диагностики позволяет выявлять неисправности на ранней стадии их развития за счет применения прогнозных систем. Внедрение средств и методов диагностики позволяет предотвращать отказы при эксплуатации, максимально использовать возможности каждой системы без выполнения принудительных ремонтов.

Имеется достаточно много методов диагностики состояний объектов, нельзя сказать, что все они совершенны и универсальные, т.е. с их применением далеко не всегда можно успешно решать задачи диагностики сложного технологического комплекса. Трудности применения известных методов связаны прежде всего со сложностью объектов, многими параметрами, нелинейностью процессов, многорежимностью его функционирования и прочим. Как правило, исследования в известных работах связаны с диагностикой отдельных частей объекта с упрощениями, которые усложняют практическое применение результатов внедрения.

Таким образом, задача разработки и создания интеллектуальной системы технической диагностики, способной выполнять адекватный и полный анализ информации о функционировании объекта, вырабатывающей рекомендации персоналу, управляющему объектом актуальна.

Целями исследования являются:

- разработка структуры технической диагностики применительно к объекту исследования;
- аналитический обзор известных методов технической диагностики, достоинства, недостатки, применимость в конкретной ситуации, перспективные методы диагностики;
- описание объекта исследования, анализ статистических данных с отображением на функцию распределения диагнозов;
- разработка плана исследования объекта.

Введение

Классифицировать задачи технической диагностики можно, исходя из их основных понятий, а также из её деления на область распознавания и контроле способности. Классификация задач технической диагностики показана на рис. 1.

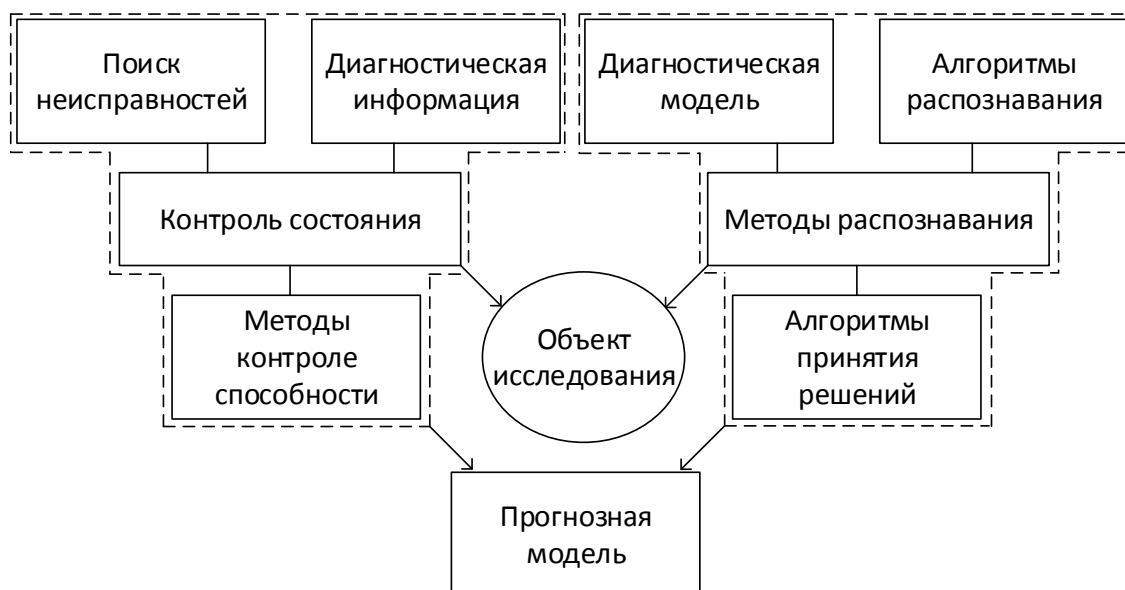


Рис. 1. – Структура задач технической диагностики

В области распознавания применяют способы на основе алгоритмов распознавания, алгоритмов принятия решений и методов построения диагностической модели. В области контроля способности применяют средства сбора и обработки диагностической информации, автоматизированного контроля и обнаружение неисправностей.

В задачах технической диагностики применяется теория статистических решений [1, 2], применение которой на основе теории вероятностей и математической статистики позволяет выполнять диагноз и дифференциальную диагностику. Данные подходы хотя и успешно применяются, но имеют существенные недостатки:

- результаты диагностики будут достоверны только с такой вероятностью, которая задается перед началом обработки статистических данных, причем для обеспечения достоверности нужна обработка достаточно большого объема статистических данных;
- обеспечение требуемой точности диагностики пропорционально точности измерительной техники и субъективности действий исследователя;
- получить выборки статистических данных требуемого объема затруднено из-за стоимости экспериментов и неопределённостей в формулах

определения объема данных, а также из-за того, что вероятностная оценка зависит от условий опыта [3].

Таким образом поиск новых методов технической диагностики, прогноза технических состояний остается актуальной задачей.

Аналитический обзор известных методов

Обзор методов разделения диагностических признаков в пространстве состояний приведен в работе [4, 17], но методы разделения построены при существенных ограничениях на расположение областей распределения диагнозов и выбор функции разделения, что вызывает сложность рассмотрения разномасштабных процессов.

В работе [5] выполнен обзор метрических методов распознавания. В противоположность вероятностным методам в работе рассмотрен только детерминистский подход, считая его достоверным. Диагнозы одного класса наиболее близки друг к другу, чем диагнозы других классов, решающее правило устанавливает диагноз с применением количественной оценки близости.

В условиях стационарности и отсутствия последействия можно применять методы корреляционного анализа, что показано в работе [6]. Методами корреляционного анализа гипотезы проверяются экспериментальным путем. Однако в силу особенностей этого метода сложно выявить взаимосвязи между анализируемыми сущностями на практике.

Применение математической логики в задачах распознавания рассмотрено в работе [7]. Логика позволяет выявлять те состояния, которые не противоречат имеющимся техническим сведениям, а также нарушения в этих состояниях. Однако не всегда делается достоверный логический вывод, т.к. двум сущностям можно поставить в соответствие несколько возможных состояний, отсюда невозможность поставить однозначный диагноз.

В работе [8] показано, что для технической диагностики характерно описание объекта в категориях системы признаков при определении диагностических ценностей. Диагностическая ценность определяется информацией, вносимой признаком в систему состояний и связана с проблемами построения оптимальной системы диагностики для объекта исследования.

Достаточно эффективные результаты дает применение при диагностике состояний технических систем методы принятия решений на основе обработки знаний экспертов, что показано в работе [9]. Методы хорошо методологически обоснованы и проверены на практике, доказав высокую эффективность от использования [10], но в алгоритмах имеются ограничения, связанные с областью применения в практике.

В работе [11] показано, что на сегодняшний момент насчитывается свыше сотни алгоритмов прогнозирования. Алгоритмы можно разделить на классы, для которых характерно применение уникальных методов прогнозирования, алгоритмов, различающихся количеством и сменой последовательностей. Алгоритмы осуществления прогноза делят на экспертные и формализованные [9, 11]. Экспертные методы применимы в случае, когда для объекта трудно разработать адекватную математическую модель.

В настоящее время широко распространено применение экспертных систем, в том числе с использованием нечеткой логики [12]. Подробное описание применения на практике экспертных методов приведено в [13]. В работе [15] формализованные алгоритмы предсказания дифференцируются на статистические и структурные. Для статистических алгоритмов характерна аналитическая связь между прошлыми и будущими показаниями, существенными недостатками при этом являются серьезные ограничения, предъявляемые к исследуемой информации, выраженные:

- относительно невысокой точностью прогноза;
- субъективностью выбора вида конкретной зависимости;
- апорийности установления причинно–следственной связи;
- наличием жестких временных ограничений, выраженных в том, что для того чтобы сделать прогноз на большее время, придется использовать текущий прогноз, что в итоге приведет к снижению адекватности такого прогноза применительно к конкретной ситуации.

Перспективным направлением является применение нейронных сетей. Анализ опубликованных работ, посвященных применению нейронных сетей для задач прогнозирования технического состояния и диагностики можно найти в работе [16]. Вместе с тем, полученные в этой работе результаты не лишены определенных недостатков, заключающихся в следующем:

- процесс решения задачи идентификации в нейросетевом базисе, как правило, осуществляется на основе метода проб и ошибок;
- отсутствуют обоснованные рекомендации по выбору структуры нейронной сети;
- отсутствует формализованная инженерная методика решения подобных задач.

Дифференциация научных исследований в области технической диагностики отечественных и зарубежных ученых, применительно к объекту исследования показывает, что работы ведутся. Особый интерес у авторов представляет исследование газоперекачивающего агрегата [2, 5, 11, 13].

Авторы практически оставляют без внимания составляющие нефтегазохимического объекта. Сложная сущность влияния одних систем на другие объекта исследования остается без внимания. Получение коммерческой выгоды, узкая специализация решаемых задач приводит к отсутствию методики и практических рекомендации по решению задач диагностики сложного технологического комплекса.

В большинстве случаев работы сводятся к постановке проблем без детального описания. С практической точки зрения отсутствует возможность проведения анализа неисправности и тем более ее предсказание. Основные исследования посвящены отдельным составным частям объекта, при этом допускаются упрощения [2, 5, 11, 13, 17], которые в конечном смысле приводят к невозможности практического внедрения, а также получения экономической выгоды.

Постановка задачи

Одним из недостатков существующих прогнозных систем, который необходимо учесть, – проблема антиципации решается не для одного конкретного объекта, а для множества типизированных объектов, имеющих отличия и возможность реконструкции в будущем. Это обстоятельство требует поиска совокупных особенностей в объекте прогнозирования. На работу объекта действует большое количество внешних возмущений, связанных со спецификой нефтегазодобычи: кратковременные вибрации, нагрев силовых установок и т.д. Как результат – непродолжительное изменение параметров, возможно с превышением предельно допустимых значений, что может привести к некорректной работе системы прогнозирования.

Проблемой является действие случайных шумов, нестационарных с априорно неизвестными статистическими свойствами и структурными характеристиками сигналов и т.д. При выполнении прогноза следует учесть общие закономерности, например, скорость изменения данных, регламентированные допуски на метрологический параметр и так далее. Формализация такой информации один из важнейших шагов в построении системы предсказаний состояний.

Объект исследования можно представить в виде иерархической структуры связей систем и компонентов, который может быть

характеризован определенным и достаточным набором качественных и количественных характеристик. Видами технического состояния компонент объекта являются: исправность, работоспособность, неисправность, неработоспособность, правильное функционирование, неправильное функционирование. Отметим следующую конрадикцию, заключающуюся в том, что в одном и том же техническом состоянии система может быть работоспособна для одних условий применения и неработоспособна для других. Достижение общей цели обеспечивается правильностью функционирования каждой системы, которая корректно решает конкретную задачу.

Объекту присущи следующие свойства:

- представимость в виде конечного числа систем, которые в свою очередь могут быть описаны конечным числом более простых подсистем и так до получения простейших значимых с диагностической точки зрения элементарных единиц подсистемы;
 - составные части подсистем функционируют во взаимодействии друг с другом, выполняя необходимые функции;
 - атрибуты объекта определяются свойствами элементов системы и характером их взаимодействия;
 - для определения параметров объекта требуются одновременные измерения и обработки огромного количества стохастических и функционально взаимосвязанных параметров;
 - простейшие элементы системы, взаимодействуя в комплексе, служат достижению общей цели;
 - присутствием регулируемых и нерегулируемых управляющих воздействий и неопределенных внешних возмущений стохастического типа;
 - неисправность элементарной единицы ведет к уменьшению эффективности или отказу всей подсистемы.
-

Эти свойства характеризуют объект как сложную систему, анализ которой целесообразно проводить, используя системный подход – формализацию.

Выполнен анализ статистических данных при объеме выборки 10000. Получена функция распределения диагнозов, которая представлена на рис. 2.

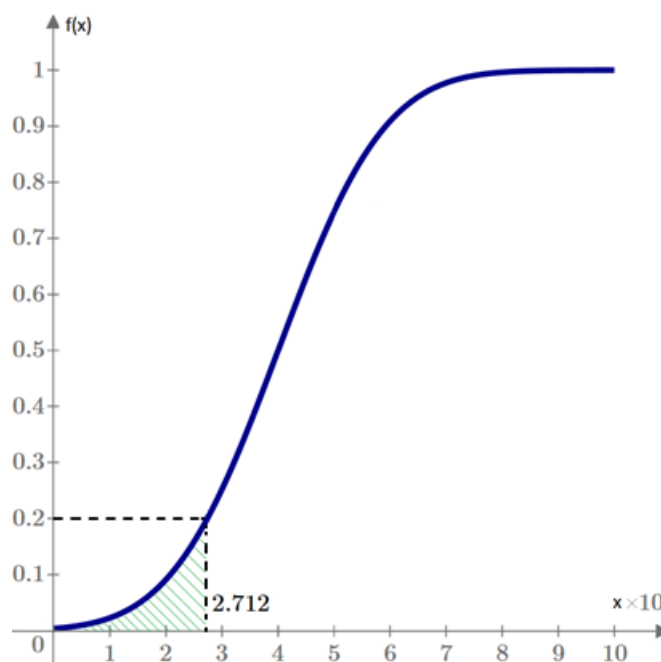


Рис. 2. – Функция распределения диагнозов

Показано, что от общего числа событий прогнозируемы лишь 20%. Это накладывает серьезные ограничения на выполнения планов и целевых показателей деятельности и делает невозможным эксплуатацию объектов по фактическому состоянию.

Технологический комплекс в общем случае можно представить N -мерным случайным процессом $X(t)$. Физические величины, как правило, изменяются в дискретные моменты времени, примем $t \in T$ и принимает значение $[0; N]$. При этом для определения динамической системы необходимо указать объект, допускающий состояния заданием величин x_1, x_2, \dots, x_N в некоторый момент времени $t = t_0$. Величины x_i могут принимать произвольные значения, причем двум различным величинам x_i и x_{i-1}

соответствуют два различных состояния. Изменение системы на некотором промежутке времени можно описать обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\frac{dx_i}{dx} = X_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_N), i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Величины x_1, x_2, \dots, x_N могут быть представлены в N -мерном пространстве в виде точки. Для проведения детального анализа требуется учесть, в каком режиме находится динамическая система (колебательный, устойчивый и т.д.). На процесс $X(t)$ действует управляющая функция C_t , тогда управляющие функции, воздействующие на объект, можно представить в виде системы уравнений, где $t = 0, 1, 2, \dots, N$ – отсчеты времени:

$$S_t = \begin{cases} C_1 = const \\ C_2 = C_2(x_1) \\ C_3 = C_3(x_1, x_2) \\ \dots \\ C_t = C_t(x_1, x_2, \dots, x_{t-1}) \end{cases} \quad (2)$$

Так как объект может работать в разных режимах (н-р ручное управление оператором объекта) Q , то вместо $X(t)$ может действовать некий $Y(t)$: $Y_t = Q \cdot x_t$, тогда (1) можно записать:

$$S_t(Q) = \begin{cases} C_1 = const \\ C_2 = C_2(Q \cdot x_1) \\ C_3 = C_3(Q \cdot x_1, Q \cdot x_2) \\ \dots \\ C_t = C_t(Q \cdot x_1, Q \cdot x_2, \dots, Q \cdot x_{t-1}) \end{cases} \quad (3)$$

Следует учесть наличие некоторого случайного процесса a_t , действующего в канале управления/измерения: $a_t = a_t(x_1, x_2, \dots, x_{t-1}; C_1, C_2, \dots, C_{t-1})$

Каждый процесс x_t представим в виде дифференциального уравнения вида:

$$\frac{dx}{dt} = M \cdot x \quad (4)$$

где M – матрица коэффициентов системы, входящей в объект.

Диагностика системы сводится к определению коэффициентов:

$$e_{ij} \cdot \frac{dx}{dt} = E \cdot x + v \quad (4.1)$$

где E – ошибка системы, v – вектор величин, описывающих истинное состояние системы, сопоставляя матрицы M и E [18].

Для случая простых собственных чисел матрицы M уравнения вида представляет собой нелинейную комбинацию:

$$m_1(t) = x_{11} \cdot e^{(k_1 \cdot t)} + \dots + x_{1n} \cdot e^{(k_n \cdot t)}; m_n(t) = x_{n1} \cdot e^{(k_1 \cdot t)} + \dots + x_{nn} \cdot e^{(k_n \cdot t)} \quad (5)$$

Объект диагностирования рассматривается как преобразователь одних величин, которые вводятся в объект, в другие величины, которые являются реакциями объекта. На рис. 3 представлено общее расположение областей множеств технических состояний объектов.

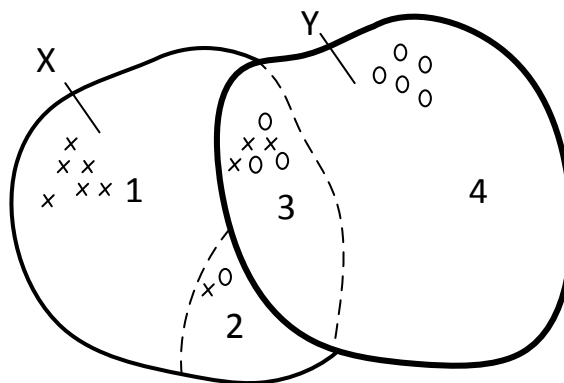


Рис. 3. – Множество состояний исследуемого объекта: X – множество неисправных состояний, Y – множество работоспособных состояний, 1 – область состояний отказов, 2 – область неработоспособных состояний с правильным функционированием в определенных режимах, 3 – область работоспособных состояний, 4 – область исправных состояний

Каждому классу состояний рис.3 S_i можно поставить в соответствие вероятность P_i того, что состояние системы, входящей в объект, будет

принадлежать одному из диагнозов. Частота обнаружения состояния S_i определится:

$$\sum_{i=1}^N P_i = 1 \quad (6)$$

Неопределенность системы характеризует энтропия:

$$H(S) = -\sum_{i=1}^N P_i \cdot \lg P_i \quad (7)$$

При постановке диагноза необходимо провести анализ всех акторов и их взаимосвязи. Каждый такой актор можно рассматривать как симптом того или иного состояния A_i . После появления A_i вероятности состояний P_i останутся таким же, если A_i не информативен, а если изменяется, то энтропия $H\left(\frac{S}{A_i}\right)$, таким образом, неопределенность уменьшится.

Симптом можно оценить количеством информации, которую он несет о системе:

$$I(A_i) = H(S) - H\left(\frac{S}{A_i}\right) \quad (8)$$

На основании известных распределений вероятностей состояний системы и условных вероятностей появления симптома можно определить достоверность предположения о том, что система находится в состоянии S_i . Однако при таком подходе имеется непреодолимый недостаток в области достаточности статистического материала.

Основные этапы исследования:

- поиск первопричин и подбор способов извлечения фактуальных данных, получение важной начальной информации об объекте;
- объяснение полученной содержательно – фактуальной информации с целью получения подготовительного заключения;
- извлечение номологической информации сведений второго этапа;

– выбор наиболее значимой информации, полученной на третьем этапе, разработка прогнозной модели с учетом стохастического характера объекта исследования;

– оценка оставшихся диагностических гипотез и выбор наиболее обоснованной из них в качестве окончательного диагноза.

В результате анализа причинно–следственных связей по результатам статистического обследования объекта рис.1 установлен факт наличия событий в системе:

- медленно ведущих к неисправностям (рис. 4а);
- мгновенно приводящих к неблагоприятным исходам (рис. 4б).

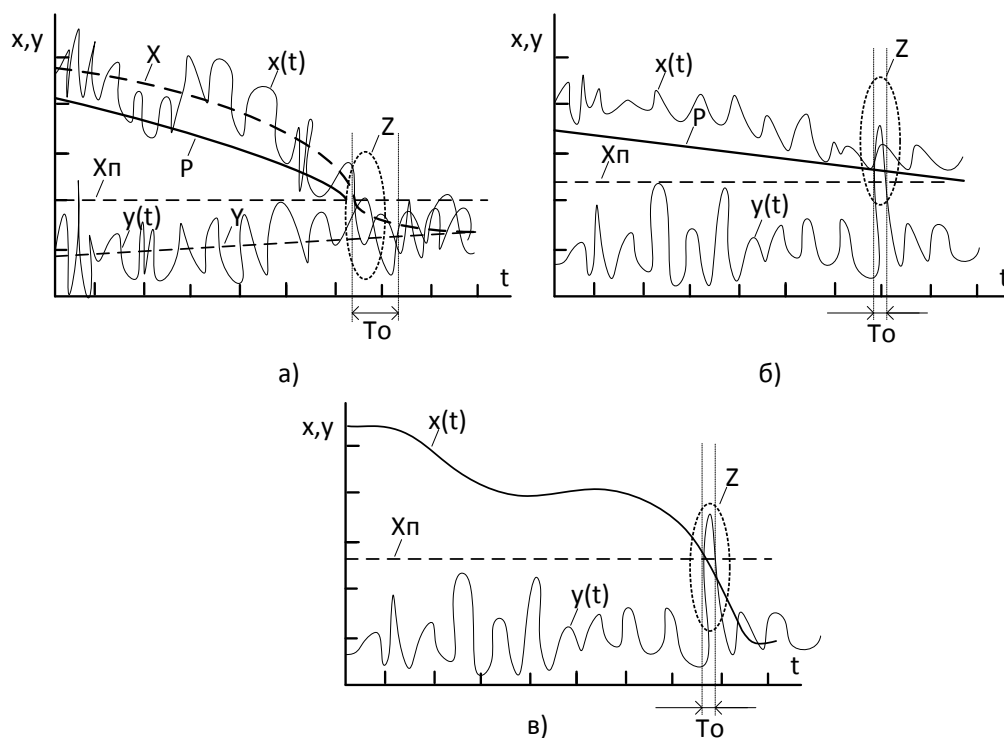


Рис. 4. – Ошибки системы

Для первого случая возможна ситуация, при которой нет необходимости строить прогноз. Во втором случае в критически важных местах требуется построить прогноз. В зависимости от возможности применяемой прогнозной системы, определяемой продолжительностью

времени развития предотказового состояния, имеет смысл учитывать отказы, поддающиеся и не поддающиеся прогнозу.

На систему действует некое возмущение случайного характера $y(t)$. Работоспособность – $x(t)$ убывает с течением времени. Разность между этими величинам со временем уменьшается, следовательно растет вероятность отказа. Вероятность зависит от $x(t)$, которая является случайной величиной, зависимой в большей степени от условий работы системы в процессе эксплуатации $y(t)$ и предельно допустимых значений работоспособности X_{II} . Отклонения параметра $x(t)$ за X_{II} не всегда приводит к аварии Z , при этом вероятность $P(\bar{Y})$ события Y безотказной работы зависит от значений $x(t)$.

На рис. 4б показан внезапный отказ, характерный пик, то есть воздействие $y(t)$. Целью прогнозирования в этих условиях при наступлении подобного события является отнесение его к категории медленно наступающих отказов.

В случае сочетание случаев (см. рис. 4а, б) вероятность возникновения неблагоприятной ситуации может определяться произведением вероятностей внезапного и постепенного отказа. Из рис. 4 и анализа временных рядов – диагностических переменных системы видно, что имеется система с большим числом степеней свободы, которая к тому же может находиться в режиме случайных колебаний. Для решения проблемы диагностики в данных условиях имеются два возможных направления:

- применение методов нечеткой логики;
- применение методов анализа нелинейной динамики в симбиозе с процедурами нейроанализа.

Применение для задачи технической диагностики, нечеткой логики позволяет получить признаки дефекта на фоне большого объема входных данных в быстро меняющихся условиях. Использование нечеткой логики приведет к созданию прогнозной системы, учитывающей достоинства

методов распознавания и контроля способности, которая применима для случаев (рис.4а, б). Она наименее субъективна и наилучшим образом приспособлена к организации "машинных энтимем", настраивается на любой объект, будь то газотурбинный двигатель, генератор или аппарат воздушного охлаждения газа и т.д. Позволяет проводить техническую диагностику объекта в комплексе.

Перспективным является [13, 18] применение методов анализа нелинейной динамики в симбиозе с процедурами нейроанализа [16, 17] с целью приближения многопараметрической функции с помощью процедуры погружения ряда в многомерное пространство. Согласно теореме Такенса, правильно выбрав число степеней свободы системы, можно гарантировать однозначную зависимость будущего значения ряда от его предыдущих значений. Решением этой задачи является возможность восстановления неизвестной функции по набору примеров, заданных историей данного временного ряда.

Неоспоримым преимуществом являются возможность работы с разнотипными переменными, возможность выбора целевой функции, широкий выбор методов регуляризации решения и отсева неинформативных признаков.

Заключение

В работе представлены основные проблемы при диагностике сложных нефтегазохимических комплексов. Рассмотрена актуальная задача диагностики и обнаружение ошибок в работе объекта. Актуальность задачи также подтверждена тем, что состояние рассматриваемой системы при прогнозе есть искомое неизвестное, прогноз которого эффективен в настоящее время лишь в 20 % случаев.

Отличие прогнозирования технического состояния исследуемого объекта состоит в том, что данными для прогноза являются не только

предыдущие значения прогнозируемого параметра, но и влияние дополнительных сущностей. Выполнены исследования и получены статистические результаты. Задача прогноза решалась с условиями:

- на исследуемый параметр оказывают влияние другие параметры, которые в общем случае являются рядами, а математическое описание этих зависимостей затруднено;
- имеются параметры с разной производной их изменения;
- исследуемые параметры являются нелинейными и нестационарными;
- нелинейность исследуемого параметра априорно не известна;
- результатом решения задачи является прогноз технического состояния на промежуток времени достаточный, для предупреждения необходимого состояния.

Разработана структурная схема технической диагностики объекта исследования. В результате чего обозначены основные задачи, которые необходимо решить для своевременного получения диагностической информации.

Выполнен аналитический обзор существующих методов технической диагностики. Приведены выводы о достоинствах, недостатках, а также применимости методов в данной конкретной ситуации. Показаны перспективные направления для диагностики исследуемого объекта.

Выполнено описание объекта исследования, проанализирована статистическая информация. По результатам статистического обследования объекта выделены события, имеющие место быть на исследуемом объекте. Сделан вывод о наличии отказов, которые поддаются и не поддаются прогнозу.

Проведена разработка плана диагностического обследования объекта. Сделаны выводы о необходимости поиска первопричин события, а также о важности получения начальной информации о происшедшем. На основании

этой информации формируется подготовительное заключение с извлечением номологической информации. Далее следует разработать прогнозную модель, которая должна учитывать стохастический характер объекта исследования. В результате проводят оценку полученной диагностической информации и выбор наиболее обоснованной из них в качестве окончательного диагноза.

Литература

1. Биргер И.Ф. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.
 2. Yang Zhixin, Wong Pak Kin, Vong Chi Man, Zhong Jianhua, and Liang Jie Jun Yi., Simultaneous-Fault Diagnosis of Gas Turbine Generator Systems Using a Pairwise-Coupled Probabilistic Classifier / Mathematical Problems in Engineering Research Article (14 pages) // Article ID 827128. 2013. – pp. 50–64
 3. Финаев В.И. Планирование эксперимента и обработка статистических данных: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. - 92 с.
 4. Li Z., Yan X., Tian Z., Yuan C., Peng Z., and Li L. Blind vibration component separation and nonlinear feature extraction applied to the nonstationary vibration signals for the gearbox multi-fault diagnosis / Measurement Journal of the International Measurement Confederation. Vol. 46, №1, 2013. - pp. 259 – 271.
 5. Zhang Y., Zhang L., and Zhang H., Fault detection for industrial processes / Mathematical Problems in Engineering, vol. 2012, Article ID 757828, 18 pages, 2012.
 6. Mondini Valeria, Mangia Anna Lisa, Talevi Luca, and Cappello Angelo. Sinc-Windowing and Multiple Correlation / Coefficients Improve SSVEP Recognition Based on Canonical Correlation Analysis // Department of Electrical, Electronic and Information Engineering (DEI). University of Bologna, Cesena, Italy, Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2018, Article ID 4278782, – pp. 50–61
-

7. Генкин В.Л., Ерош И.Л., Москалев Э.С. Системы распознавания автоматизированных производств. - М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
8. Машошин О.Ф. Оценка диагностической ценности информации при решении задач в области эксплуатации авиационной техники / Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. № 219 (9). 2015. - С. 53 - 56.
9. Kobersi, I.S., Finaev V.I., Almasani S.A. and W.A.A. Kaid Control of the Heating System with Fuzzy Logic // World Applied Sciences Journal, 2013. Vol.23 (11): pp. 1441 – 1447.
10. Almasani, S.A.M., Finaev V.I., Qaid W.A.A. and Tychinsky A.V. Assessing the current state of the stock market under uncertainty // Journal of Theoretical and Applied Information Technology // 2016. Vol. 89, No 1, pp. 164 – 171.
11. Шендалева Е.В. Прогнозирование технического состояния топливо регулирующей аппаратуры газотурбинных двигателей в процессе длительных испытаний Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 6 (52). С. 19-28.
12. Финаев В.И. Модели систем принятия решений. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. — 118 с.
13. Armstrong J.S. Forecasting for Marketing // Quantitative Methods in Marketing. London: International Thompson Business Press, 1999. pp. 92 – 119.
14. Catalina T., Iordache V., and Caracaleanu B., “Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand,” Energy and Buildings, vol. 57, pp. 302–312, 2013.
15. Wang J. and Xu Z., “New study on neural networks: the essential order of approximation,” Neural Networks, vol. 23, no. 5, pp. 618–624, 2010.
16. Коберси И.С., Кияшко А.В., Македонов Е.А., Крамаренко Е.Р., Финаев В.И. Система управления напряжением генератора на базе нечёткой



логики // Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3076

17. Коберси И.С., Крамаренко Е.Р., Шкуркин Д.В., Денисова Г.В. Финаев В.И. Определение периодичности технического обслуживания автомобилей // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 (часть 2) URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3075

18. Плаксиенко В.С., Кравченко Д.А. Анализ плотностей распределения вероятностей в дискриминаторе с обратными связями в программе LABVIEW. Материалы МНК Методы и алгоритмы принятия эффективных решений. Таганрог 2009. Часть 3. С. 73-82

References

1. Birger I.F. *Texnicheskaya diagnostika*. [Technical diagnostics]. M. Mashinostroenie, 1978. 240 p.
2. Yang Zhixin, Wong Pak Kin, Vong Chi Man, Zhong Jianhua, and Liang Jie Jun Yi, *Mathematical Problems in Engineering* 2013. pp. 50-64
3. Finaev V.I. *Planirovanie ehksperimenta i obrabotka statisticheskikh dannyh: Uchebnoe posobie* [Experiment planning and statistical processing Tutorial.]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2013. 92 p.
4. Li Z., Yan X., Tian Z., Yuan C., Peng Z., and Li L. *Measurement Journal of the International Measurement Confederation*. Vol. 46, №1, 2013. pp. 259- 271.
5. Zhang Y., Zhang L., and Zhang H., *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 18 p.
6. Mondini Valeria, Mangia Anna Lisa, Talevi Luca, and Cappello Angelo. Department of Electrical, Electronic and Information Engineering (DEI). University of Bologna, Cesena, Italy, *Computational Intelligence and Neuroscience Volume* 2018, pp. 50-61



7. Genkin V.L., Erosh I.L., Moskalev E.S. Sistemy raspoznaniya avtomatizirovannykh proizvodstv. [Recognition systems for automated production]. M.: Mashinostroenie, 1988. 248 p.
8. Mashoshin O.F. Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii. № 219 (9) 2015, pp. 53–56.
9. Kobersi I.S. V.I. Finaev, S.A. Almasani and Kaid W.A.A., World Applied Sciences Journal, 2013, pp. 1441 – 1447.
10. Almasani, S.A.M., Finaev V.I., Qaid W.A.A. and Tychinsky A.V. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2016. Vol. 89, No 1, pp. 164-171.
11. Shendaleva E.V. 2016. № 6 (52). pp. 19 – 28.
12. Finaev V.I. Modeli sistem prinyatiya reshenij [Decision-making models]. Taganrog: Izd.vo TRTU, 2005, 118 p.
13. Armstrong J.S. International Thompson Business Press, 1999. pp. 92-119.
14. Catalina T., Iordache V., and Caracaleanu B., Energy and Buildings, vol. 57, 2013, pp. 302-312.
15. Wang J. and Xu Z., Neural Networks, vol. 23, no. 5, 2010, pp. 618-624.
16. Kobersi I.S., Kiyashko A.V., Makedonov E.A., Kramarenko E.R., Finaev V.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3076
17. Kobersi I.S., Kramarenko E.R., SHkurkin D.V., Denisova G.V. Finaev V.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3075
18. Plaksienko V.S., Kravchenko D.A. Materialy` MNK Metody` i algoritmy` prinyatiya e`ffektivny`x reshenij. Taganrog 2009. part 3. pp. 73-82