

УДК 614.824(082)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© Р.С. Ахметханов, Е.Ф. Дубинин, В.И. Куксова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения
им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва*

mibsts@mail.ru, Россия

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы качественной и количественной оценки эффективности диагностических систем. Приведены задачи, решаемые при разработке диагностических систем; отмечена необходимость подробного рассмотрения информационного аспекта эффективности диагностических систем.*

***Ключевые слова:** сложные технические системы, диагностические системы, задачи технического диагностирования, показатели эффективности и качества диагностирования, достоверность диагностической информации, оценка эффективности систем диагностирования.*

SOME ASPECTS OF ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF DIAGNOSTIC SYSTEMS

© R.S. Akhmetkhanov, E.F. Dubinin, V.I. Kuksova

IMASH RAS, Moscow, Russia.

***Abstract.** The paper deals with the qualitative and quantitative evaluation of the effectiveness of diagnostic systems. Problems to be solved in the development of diagnostic systems are presented; it noted the need for detailed examination of the information aspects of the efficiency of diagnostic systems.*

***Key words:** complex technical systems, diagnostic systems, technical diagnostics tasks, efficiency and quality indicators of diagnosis, the accuracy of diagnostic information, assessment of the efficiency of diagnostic systems*

Система технической диагностики – необходимый элемент обеспечения безопасного функционирования сложных технических систем

Переход от концепции обеспечения абсолютной безопасности функционирования потенциально опасных технических объектов к концепции приемлемого уровня риска потребовал развития методов и средств технической диагностики, создания систем комплексной диагностики и защиты как неотъемлемого элемента сложных технических систем (СТС). Конечная задача диагностических систем (ДС) - осуществление мероприятий по удержанию потенциально опасных объектов и среды обитания в рамках приемлемых безопасных состояний по критериям рисков. Значение диагностических систем (ДС) постоянно возрастало по мере перехода от эксплуатации технологического оборудования до отказа к обеспечению его эксплуатационной надежности по системе планово-предупредительных ремонтов, а затем к стратегии обеспечения эксплуатационной надежности СТС по фактическому состоянию, предполагающему активное применение методов и средств упреждающей диагностики [1, 2].

Применение упреждающей диагностики и прогнозирования состояния технических объектов позволяет заблаговременно обнаружить и скорректировать ситуации, способные привести к выходу из строя оборудования, нарушению технологического процесса, аварийному останovu или самой аварии. При этом значительно увеличивается резерв времени для принятия обоснованных решений (время упреждения). Становится возможным менять параметры процессов (переходить на более мягкие режимы) для недопущения поломок [3].

В целом ряде случаев (например, в технологических процессах, связанных с обращением опасных веществ в химической промышленности, при контроле состояния оборудования и трубопроводов нефтегазового комплекса) техническое диагностирование является нормативно обязательным элементом управления техногенными рисками, обеспечивающим безопасную эксплуатацию оборудования и контроль его состояния. При этом «своевременное выявление потенциально опасных дефектов и их качественное устранение позволяет значительно сократить вероятность аварии и незапланированных финансовых потерь предприятия, связанных с причинением ущерба окружающей природной среде, населению, а также затрат на восстановление пострадавшего производства и ликвидацию негативных последствий аварии» [4].

Развитие методов и средств технической диагностики, выделение ДС в неотъемлемый элемент СТС потребовало, наряду с необходимостью решения целого ряда задач, исследования проблем эффективности самих диагностических систем, оценки их влияния на эксплуатационные характеристики, безопасность и защищенность объекта диагностирования.

Два аспекта оценки эффективности диагностических систем

Эффективность технического объекта (или системы) является его обобщенным свойством, характеризующим способность объекта выполнять задачи по назначению для достижения определенной цели, сопровождающимся получением в процессе эксплуатации некоторого эффекта, который определяется уровнем и ценой получаемых результатов в

соответствии с функциональным назначением объекта [5, 6]. Целью технического диагностирования является поддержание установленного уровня надежности, обеспечение требований безопасности и эффективности использования объектов диагностики.

Являясь обобщающим свойством, эффективность диагностической системы зависит от большого количества факторов, действие которых определяется характеристиками применяемых средств технического диагностирования, приспособленностью объекта к диагностированию, используемым диагностическим обеспечением и т.д. (то есть параметрами конкретной ДС). Соответственно неэффективность конкретной диагностической системы, как правило, обуславливается несоответствием характеристик (параметров) ДС решаемым задачам [7, 8].

Иными словами, изучение проблем повышения эффективности диагностирования напрямую связано с содержанием основных задач технического диагностирования применительно к объекту диагностирования (ОД) и способностью ДС эффективно их решать. Задачами технического диагностирования являются [9]:

- контроль технического состояния объекта технического диагностирования и определение на основе полученных результатов одного из заданных видов его технического состояния в данный момент времени (исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное и т. п.);

- поиск места и определение причин отказа (неисправности);

- прогнозирование технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Эффективность ДС, понимаемая как способность выполнять задачи по назначению, позволяет выделить два аспекта оценки результативности (эффективности) технического диагностирования.

1. Оценка влияния ДС на результаты функционирования объекта диагностики. Применение методов и средств технической диагностики оказывает существенное влияние на эффективность использования сложных технических систем. Техническая диагностика позволяет своевременно выявить и устранить отказы и неисправности объектов, продлить срок их службы и получить значительный технико-экономический эффект.

2. Оценка результативности (качества) функционирования самой ДС как сложной технической системы. Определяется, прежде всего, ее техническими параметрами и надежностью. В свою очередь, надежность как сложное свойство в зависимости от назначения системы или объектов состоит из сочетания свойств безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохранности и зависит от условий использования оборудования. Иногда для целей анализа предлагается выделять монтажно-эксплуатационную эффективность технического объекта, характеризуемую экономичностью, компактностью, безопасностью его функционирования, а также функциональную или функционально-целевую эффективность, определяемую его надежностью, живучестью и качеством функционирования [6].

В современных условиях диагностирование СТС является неотъемлемой частью процессов их обслуживания, поэтому ряд показателей, характеризующих надежность функционирования объектов и их отдельных составляющих, могут являться одновременно

как показателями ДС, так и объекта диагностирования. Это также означает, что целый ряд признаков системы и объекта диагностирования трудно отделить друг от друга, и в известном смысле такое разделение носит условный характер [2].

Количественная оценка эффективности ДС

Для практических целей важна количественная оценка результатов функционирования ДС, позволяющая оценить ее «ценность» для диагностируемого объекта. Формально оценка влияния ДС на результаты функционирования объекта диагностики может быть получена путем сравнения показателей эффективности объекта диагностики без системы диагностирования $\Phi_o(t)$ и с системой диагностирования $\Phi_d(t)$. В общем виде показатель эффективности системы диагностирования в абсолютном или относительном выражении при этом может рассчитываться по формулам (1) - (4) [6].

$$K_{\text{э}}(t) = \Phi_d(t) - \Phi_o(t) , \quad (1)$$

$$K_{\text{э}}^*(t) = K_{\text{э}}(t) / \Phi_o(t), t \geq bT_d , \quad (2)$$

где T_d период диагностирования; b - число циклов диагностирования, проведенных к моменту времени оценки эффективности объекта.

Показатели $\Phi_o(t)$ и $\Phi_d(t)$ зависят от множества факторов и могут быть представлены в следующем виде:

$$\Phi_o(t) = F(a_i k_i(t)), i = \overline{1, n} , \quad (3)$$

$$\Phi_d(t) = F(a_i k_i^d(t)), i = \overline{1, n} , \quad (4)$$

где n число принятых к рассмотрению составляющих характеристик эффективности; $k_i^d(t)$ показатели характеристик эффективности объекта в системе диагностирования; a_i — весовые коэффициенты соответствующих характеристик.

Оценка результативности функционирования самой ДС как сложной технической системы производится на основе показателей качества технического диагностирования.

К основным показателям качества технического диагностирования, как правило, относятся [1, 5, 6, 7, 9, 10, 11]:

1. Продолжительность технического диагностирования (интервал времени, необходимый для проведения диагностирования объекта).

2. Достоверность диагностирования, характеризуемая степенью объективного соответствия результатов диагностирования действительному техническому состоянию объекта (фактически совпадает с понятием достоверности оценки, полученной в результате диагностирования). Достоверность может быть оценена величиной вероятности правильной оценки технического состояния ОД. Это, в частности, условная вероятность того, что:

- неисправный (неработоспособный) объект в результате диагностирования признается исправным (работоспособным);

- исправный (работоспособный) объект в результате диагностирования признается неисправным (неработоспособным);

- при наличии отказа (неисправности) в результате диагностирования принимается решение об отсутствии отказа (неисправности) в данном элементе объекта технического диагностирования;

- при отсутствии отказа (неисправности) в результате диагностирования принимается решение о наличии отказа (неисправности) в данном элементе.

3. Точность диагностирования, характеризуемая степенью соответствия величин, полученных в результате диагноза, и величин действительных. Может оцениваться с помощью таких показателей, как:

- среднеквадратическое отклонение прогнозируемого параметра технического состояния ОД на задаваемый период времени, в том числе и на данный момент времени;

- среднеквадратическое отклонение прогнозируемого остаточного ресурса ОД;

- вероятность безотказной работы ОД, показатели изменения прогнозируемого диагностического параметра;

- доверительная вероятность полученного диагноза, определяемая нижней границей вероятности безотказной работы ОД по параметрам безопасности на задаваемый период времени.

4. Полнота технического диагностирования. Характеризует возможность выявления отказов (неисправностей) в объекте при выбранном методе его диагностирования. Может быть определена отношением числа параметров, охваченных контролем, к общему числу параметров, определяющих работоспособность объекта.

5. Глубина поиска места отказа (неисправности) — характеристика, задаваемая указанием составной части объекта с точностью, до которой определяется место отказа (неисправности).

6. Интервал упреждения - расчетное время до прогнозируемого отказа ОД, позволяющее определить момент проведения техобслуживания, чтобы избежать отказов и аварий.

7. Защищенность и устойчивость ДС к воздействию поражающих факторов аварийных ситуаций.

8. Технико-экономические характеристики диагностирования:

- удельные затраты на диагностирование;

- средняя оперативная трудоемкость диагностирования;
- средняя оперативная продолжительность диагностирования;
- периодичность диагностирования.

Отраслевые особенности оценки эффективности ДС

На практике при проведении оценки эффективности ДС обычно рассчитывают (с учетом отраслевых особенностей объекта диагностики) экономическую эффективность диагностической системы и различные показатели, характеризующие качество (целевую эффективность) технического диагностирования.

Экономическая эффективность (целесообразность) диагностической системы определяется путем сравнения расходов на создание, оснащение, поддержание и развитие ДС с экономией, получаемой от результатов ее функционирования. Экономия от результатов функционирования ДС складывается из двух основных составляющих. Это, во-первых, экономия текущих затрат от внедрения ДС и, во-вторых, величина предотвращенного ущерба от снижения аварийности объекта диагностики.

В зависимости от отраслевой специфики ОД, экономия текущих затрат от внедрения ДС, может образовываться за счет следующих статей [2, 6, 12]:

- уменьшения затрат на поддержание оборудования в работоспособном состоянии;
- увеличения среднего времени между ремонтами (рост производительности и снижение затрат на техническое обслуживание);
- фактического устранения непредвиденных отказов (повышение надежности и производительности);
- устранения излишнего расхода деталей (замена исправных деталей);
- уменьшения объема запасных частей (выдача предупреждения о необходимости заказа запасных частей);
- повышения безопасности (снижение вероятности непредвиденных отказов);
- повышения производительности производственных процессов;
- повышения безотказности, сокращения времени восстановления;
- увеличения коэффициентов готовности и технического использования;
- улучшения показателей долговечности и др.

Сумма предотвращенного ущерба в зависимости от отраслевой специфики определяется размером предотвращенного ущерба от уменьшения количества отказов в

результате работы системы, предотвращенных аварий и ЧС на потенциально опасных объектах и т.д.

Из отраслевых методик исследования и количественной оценки эффективности функционирования ДС, прежде всего, необходимо отметить разработки в отрасли железнодорожной автоматики и телемеханики при создании систем технической диагностики и мониторинга (СТДМ). Полученные результаты включают обобщенную оценку экономической эффективности систем диагностирования [13], а также сформированную комплексную многоуровневую систему показателей, характеризующих их функциональную эффективность [11].

Для расчета экономической эффективности внедрения СТДМ используется индекс доходности системы, определяемый путем сравнения затрат на создание и эксплуатацию СТДМ с размером предотвращенного ущерба от уменьшения количества отказов в результате работы системы. Неравенство, характеризующее экономическую эффективность внедрения СТДМ, имеет вид [13]:

$$\sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{OH} + N_{HH} + N_{HV})]_i + \sum_{i=0}^T (E_d)_i > \sum_{i=0}^T K_i \quad , \quad (5)$$

где p_j - средние потери от возникновения одного отказа; N - общее количество отказов за период времени T ; N_{OH} - число обнаруживаемых, но по какой-либо причине непредотвращаемых отказов; N_{HH} - число необнаруживаемых отказов по причине нахождения СТДМ в неработоспособном состоянии; N_{HV} - число отказов необнаруживаемых в связи с отсутствием датчиков съема диагностической информации; E_d - экономия текущих затрат от внедрения СТДМ; K_i - приведенные капитальные затраты на внедрение СТДМ за рассматриваемый период времени.

В качестве показателя и одного из критериев целевой эффективности СТДМ используется коэффициент ξ , рассчитываемый как отношение числа отказов, предотвращаемых на стадии предотказных состояний (N_{OP}), к общему количеству отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики за период ΔT :

$$\xi = \frac{N_{OP}}{N} = \frac{N_{OP}}{N_{OP} + N_{OH} + N_{HH} + N_{HV}} \quad (6)$$

Чем ближе величина коэффициента ξ к единице, тем более эффективна СТДМ, что возможно за счет уменьшения величин N_{OH} , N_{HH} и N_{HV} либо за счет увеличения N_{OP} . Уменьшение N_{HV} достигается увеличением качества покрытия датчиками СТДМ устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, поскольку это ведет к увеличению количества информации об их состоянии. Уменьшение N_{HH} выполняется благодаря повышению надежности СТДМ: улучшению ее внутренней структуры, методов обработки диагностической информации, применению более совершенной элементной базы,

использованию принципов самопроверяемости и самодиагностирования. Уменьшение N_{OH} , а, следовательно, увеличение N_{OI} затруднительно, поскольку внезапно возникающий отказ непредотвратим.

Предлагаемая в работе [11] иерархическая 6-уровневая система взаимосвязанных показателей и характеристик, характеризующих функциональную эффективность СТДМ и учитывающих отраслевую специфику ОД, сформирована таким образом, что показатели каждого уровня рассчитываются только с использованием характеристик предыдущего. В основании системы – характеристики и показатели системы эксплуатации объекта диагностирования, составляющие его информационную модель: контроле- и ремонтпригодность, интенсивность отказов, и т.п. Верхний уровень системы составляют показатели безопасности и бесперебойности движения поездов.

Оценки эффективности технического диагностирования трубопроводного транспорта углеводородов базируется на исследовании и классификации причин аварийности этих объектов. Поскольку трубопроводный транспорт является объектом повышенной опасности, соответствующие технологические процессы характеризуются значительными техногенными рисками и требуют значительных объемов ежегодных диагностических исследований и, соответственно, существенных затрат на их проведение. В этих условиях оценка экономической целесообразности затрат на ДС в отрасли приобретает существенное значение. К основным причинам аварийных выбросов токсичных веществ на объектах трубопроводного транспорта относят: постороннее (силовое) воздействие на трубопровод, коррозию, ошибки персонала, брак при проведении строительно-монтажных работ, брак при изготовлении труб и оборудования, иные причины [4].

Эффективность технического диагностирования оборудования и трубопроводов, участвующих в технологических процессах, связанных с обращением опасных веществ, оценивается путем расчета параметра эффективности диагностики производственного объекта по формуле [14]:

$$K = \sum_{t=0}^T \frac{Z_t + \beta_t (a_1 + (1-D) a_2) Y}{(1+E)^t}, \quad (7)$$

где Z_t – затраты на проведение ежегодной диагностики и устранение выявленных дефектов;

β_t – расчетное значение вероятности аварии в t -ом году; a_1 – доля дефектов, не выявляемых диагностикой; a_2 – доля дефектов, диагностикой выявляемых – 0,6; D – достоверность диагностики (обычно 0,8-0,9); Y – вероятный ущерб от аварии; E – норма дисконта (обычно 0,1 - 0,2); t – год эксплуатации объекта; T – период эксплуатации объекта.

Наиболее эффективным методом диагностики и соответствующего выявленным дефектам комплекса мероприятий по их устранению следует считать те, для которых значение критерия K будет наименьшим. Величина $\beta_t (a_1 + (1-D) a_2)$ характеризует текущее значение вероятности аварии на объекте после проведения диагностики и устранения выявленных

дефектов, величина β_i определяется по известным данным о накоплении дефектов в технологическом оборудовании или трубопроводах при их эксплуатации, оценке потенциальной опасности выявленных дефектов и вероятности перехода дефектов в аварийное разрушение.

Следует отметить, что значения коэффициентов a_1 , a_2 , β_i , D , U определяются авторами экспертно. Это в определенной степени сужает границы применения предлагаемого показателя и требует дополнительного обоснования использования конкретных величин указанных коэффициентов.

В рассмотренных выше случаях при исследовании результативности ДС сначала определяется экономическая эффективность (целесообразность) их разработки и внедрения, а затем анализируются пути ее возможного повышения и определяются различные показатели качества диагностирования. Однако в целом ряде случаев, связанных, например, с функционированием критически и стратегически важных объектов повышенной опасности (КВО и СВО), определяющими факторами являются безопасность и защищенность этих объектов. Иными словами, существует класс СТС, для которых разработка и внедрение ДС является необходимостью безотносительно их экономической целесообразности. Это СТС повышенной опасности, последствия от ЧС и аварий на которых могут носить общественно-значимый (крупномасштабный, народнохозяйственный либо глобальный) характер. В этом случае критерием результативности (эффективности) ДС становится их целевая эффективность.

Методы оценки целевой эффективности ДС в значительной степени зависят от отраслевой принадлежности объекта диагностики. Примерами могут служить объекты техники оборонного комплекса и методы диагностики доказательной медицины.

Так, в основу решения задачи повышения эффективности технической диагностики бронетанковой техники [5, 8] положена методология структурного анализа и техники проектирования - SADT (Structured Analysis and Design Technique). В результате ее применения построена системная модель технического диагностирования сложных технических систем.

На вход модели поступает команда (задача) поиска неисправного элемента диагностируемого объекта. Выходом является диагноз. Диагностирование выполняется в соответствии с требованиями технической и эксплуатационной документации, условиями эксплуатации, в течение интервала времени, необходимого для проведения диагностирования объекта. В качестве критериев, характеризующих целевую эффективность диагностирования, выбраны три показателя: уменьшение времени диагностирования, повышение достоверности получаемых результатов и снижение требований к квалификации и объему обучения специалистов. В результате применения SADT-методологии построена адекватная модель процесса диагностирования объекта, позволившая повысить эффективность диагностирования техники и с учетом полученных экспериментальных результатов обнаружения дефектов найти решения, которые помогли повысить способность объекта исследования выполнять задачи по назначению.

Значительный опыт оценки эффективности диагностики накоплен в доказательной

медицине, где к настоящему времени сложилась твердо устоявшаяся методология оценки информативности и эффективности методов исследования. В ее основе лежат математико-статистические методы проверки гипотез, а основные используемые показатели качества диагностирования (чувствительность, специфичность, точность, прогностичность положительного либо отрицательного результата) по сути являются модифицированными оценками вероятности принятия или отбрасывания нулевой либо альтернативной гипотез. Так, все исследуемые случаи сводятся к четырем [15].

1. Истинно положительные случаи (TP, true positive) у больных с наличием заболевания.
2. Истинно отрицательные случаи (TN, true negative) у пациентов без заболевания.
3. Ложноположительные случаи (FP, false positive; ошибки I типа, α -ошибки, «ложные тревоги») у пациентов с отсутствием заболевания.
4. Ложноотрицательные случаи (FN, false negative; ошибки II типа, пропуски, β -ошибки) у больных с заболеваниями.

Ложноположительные и ложноотрицательные ошибки представляют собою совокупность ошибок диагностики и выдвигают основное требование перед врачом-диагностом - их минимизации.

Роль информации в диагностике СТС. Информационная эффективность диагностических систем

Информационно любое состояние сложного объекта может быть охарактеризовано множествами переменных (параметрами) различной природы: аналоговыми, дискретными и вычисляемыми значениями, а также значениями времени проведения измерений. Частота сбора и проведения расчетов по указанным множествам переменных определяется динамикой поведения объекта контроля и управления [1].

Основная цель функционирования диагностической системы - получение информации о фактическом состоянии объекта диагностирования на основе совокупности параметров, характеризующих изменение свойств объекта в процессе эксплуатации. На основе полученной информации выполняется распознавание состояния системы – отнесение к одному из возможных классов (диагнозов). Число диагнозов зависит от особенностей задачи и целей исследования [2, 12].

Важная роль диагностической информации определяет необходимость более подробного рассмотрения информационной эффективности ДС.

С «информационной» точки зрения основной задачей ДС является точная постановка диагноза СТС по результатам анализа диагностических параметров. В качестве ограничений могут выступать требования минимизации операций контроля и времени диагностирования. Основной функциональный эффект от использования диагностической информации и

соответственно ДС состоит в обеспечении безаварийной работы объекта диагностирования. Безопасная, безаварийная работа объекта диагностирования достигается путем контроля технического состояния ОД и решения на основании полученной информации задач по техническому обслуживанию и ремонту выявленных проблемных элементов (механизмов, звеньев).

Информационная эффективность ДС или эффективность использования диагностической информации определяется не только точностью постановки диагноза, но и степенью использования полученных данных при принятии управленческих решений и выборе комплекса организационно-технических мероприятий по повышению уровня надежности функционирования ОД. Для решения указанной задачи необходимо выбрать такую совокупность диагностических параметров (ДП), которая обладала бы свойствами необходимости и достаточности. Основу рационального использования диагностической информации составляют современные ИТ-технологии, обеспечивающие оптимальную программу сбора и обработки данных. В качестве основного критерия оптимизации должно выступать требование к однозначности классификации каждой возможной ситуации [1].

Выбор совокупности ДП для решения задач диагностирования представляет собой многоальтернативную задачу и определяется такими факторами, как целевая функция объекта диагностирования; стратегия его технического обслуживания; используемые средства и методы технического диагностирования; время диагностирования; стоимость средств диагностирования и самого процесса диагностирования.

Выбранные ДП должны быть достаточно информативны, чтобы при выбранном числе диагнозов процесс распознавания мог быть осуществлен [2]. Поэтому отбор наиболее информативных признаков (параметров) для описания объекта диагностирования является в задачах диагностики весьма существенным.

Вопрос определения информативности диагностических параметров тесно связан с мерами ценности информации. Если синтаксическая информативность параметра, определяемая количеством полученной информации без учета ее содержательной ценности, может быть определена относительно легко, то оценка семантической и прагматической ценности того или иного ДП является достаточно слабо формализуемой задачей. Одним из возможных путей ее решения является использование аппарата теории нечетких множеств.

Достаточно сложной и весьма трудоемкой самостоятельной задачей является выбор прогнозирующих параметров систем.

Важность информационной составляющей общей результативности систем технической диагностики определила необходимость оценки информационной эффективности ДС как относительно самостоятельного направления оценки результатов их функционирования.

Для оценки значимости информации и определения информационной ценности результатов диагностики, как правило, используются некоторые основные положения теории информации [16,17,18].

Пусть имеется некоторая система прогнозируемых состояний сложной технической системы, включающая n состояний, со статистической априорной вероятностью $P(D_i)$ появления состояния D_i , ($i = 1, \dots, n$).

Неопределенность системы возможных результатов диагностики D (диагноз) оценивается величиной энтропии, определяемой по формуле Шеннона:

$$H(D) = -\sum P(D_i) \cdot \log_2 P(D_i), \quad (8)$$

где $H(D)$ – энтропия системы диагнозов; $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i .

При проведении диагностики сложной системы и поступлении дополнительной информации величина энтропии системы диагнозов уменьшается в зависимости от количества поступившей информации. Устранение неопределенности, в свою очередь, ведет к повышению эффективности управляющего воздействия при управлении сложными системами и снижению рисков.

Величина внесенной информации равна разности энтропии системы до и после проведения исследования:

$$Z_{D_i}(k_i) = H(D_i) - H(D_i / k_i), \quad (9)$$

где $Z_{D_i}(k_i)$ – количество информации, вносимое в систему диагнозов D обследованием сложных систем на признак k_i (тип дефекта, причина дефекта); $H(D_i)$ – неопределенность системы диагнозов до начала исследования (первоначальная энтропия); $H(D_i/k_i)$ – неопределенность системы диагнозов после проведения исследования на признак k_i .

Величину внесенной информации $Z_{D_i}(k_i)$ можно считать диагностической ценностью конкретного признака k_i по отношению к системе диагнозов D_i , а единицей измерения диагностической ценности исследования сложных систем – величину информации, которая устраняет неопределенность при равновероятных диагнозах.

Диагностический вес наличия простого признака k_i при постановке диагноза D_i определяется по формуле:

$$Z_{D_i}(k_i) = \log_2 \frac{P(k_i / D_i)}{P(k_i)}, \quad (10)$$

где $P(k_i/D_i)$ – вероятность (частота встречаемости) наличия признака k_i при диагнозе; $D_i; P(k_i)$ – вероятность (частота встречаемости) наличия признака k_i среди всей рассматриваемой группы диагнозов.

При одинаковом значении $P(k_i/D_i)$ и $P(k_i)$ диагностический вес признака равен нулю, т.е. отношение $P(k_i/D_i)/P(k_i) = 1$, а $\log_2 1 = 0$. Иными словами, если значение вероятности признака k_i одинаково для всей рассматриваемой группы диагнозов, то этот признак не имеет никакой диагностической ценности.

Можно оценить общую диагностическую ценность исследования по признаку k_i для всей системы диагнозов D , определяемой количеством информации, вносимой обследованием в систему диагнозов D . Диагностический вес признака k_i для всей группы диагнозов будет равен:

$$Z_D(k_i) = \sum P(D_i) \cdot Z_{D_i}(k_i) . \quad (11)$$

Используя данное соотношение, можно определить оптимальный выбор числа разрядов признака. При увеличении числа разрядов диагностическая ценность признака возрастает. Одновременно увеличивается объем выборки. В результате диагностики должен быть получен следующий объем информации:

$$Z_D(K) = \zeta H_0(D) , \quad (12)$$

где $0 < \zeta < 1$ – коэффициент полноты исследования; $H_0(D)$ – первоначальная энтропия системы диагнозов сложных систем [16].

При проведении исследования сложных систем необходимо соотносить диагностическую ценность исследования и сложность исследования по признаку k_i . Под сложностью исследования C_j понимается трудоемкость, длительность исследования и т.п.

В качестве критерия для сравнения различных методик диагностики воспользуемся понятием коэффициента оптимальности исследования – λ по признаку k_i для всей системы диагнозов, равного величине:

$$\lambda = \frac{Z_D(k_i)}{C_j} . \quad (13)$$

Диагностическое обследование по признаку k_i будет более эффективным, чем по другим признакам, если его коэффициент оптимальности будет наибольшим. В этом и состоит условие оптимальности диагностического исследования. Если проводить комплекс обследований K , состоящий из n обследований, то общий коэффициент оптимальности равен:

$$\lambda = \frac{Z_D(K)}{\sum C_j} , \quad (14)$$

где $Z_D(K)$ – диагностическая ценность комплекса обследований, равная информации, внесенной комплексом обследований; $\sum C_j$ – сумма коэффициентов сложности исследования (затрат).

Очевидно, что коэффициент оптимальности будет наибольшим, если величина информации $Z_D(K)$ получается при меньшем числе обследований.

На практике определение количества информации, внесенной в систему диагнозов D обследованием сложной системы на конкретный признак k_i , имеет определенные сложности. Используя синтаксическую меру информации, можно формально определить, сколько $Kб$

информации поступило с удаленных датчиков в центральный вычислительный блок ДС. Полученный показатель, однако, никак не будет учитывать семантическую и прагматическую ценности полученной информации.

Частично преодолеть сложности, связанные со слабой формализацией задач по оценке информативности отдельных диагностических признаков и ДС в целом, позволяет использование аппарата нечетких множеств.

Выводы

Растущая роль и значение диагностических систем, обусловленные переходом к методам и средствам упреждающей диагностики взамен эксплуатации оборудования и СТС «до отказа», определяют необходимость развития методологии оценки и повышения эффективности самих ДС.

Повышение эффективности ДС является одной из важных задач, которые решаются при обеспечении безопасности эксплуатации технических систем. Надежные, эффективно функционирующие ДС особенно важны для безопасности объектов с большими запасами энергии, вещества и информации.

К настоящему времени сформированы основы нормативно-методической базы, а в ряде отраслей накоплен определенный практический опыт оценки эффективности диагностических систем, включающий определение их экономической эффективности, а также расчет различных показателей, характеризующих качество (целевую эффективность) технического диагностирования. Вместе с тем ряд вопросов требует уточнения и дальнейшего исследования.

Важная роль информации в процессе технического диагностирования определяет необходимость рассмотрения информационного аспекта эффективности ДС. При этом определенные сложности учета семантической и прагматической ценности диагностической информации определяют необходимость поиска новых методов и подходов.

Список литературы

1. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Информационные аспекты безопасности в техногенной сфере // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015. №6. С. 136-151.
2. Ионов М.В., Краснянский М.Н. Автоматизированные системы технической диагностики химико-технологического оборудования. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И.Вернадского. 2012. №2 (40). С. 66-73.

3. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Резерв времени как важный параметр защищенности критически важных объектов и задачи диагностики по его обеспечению // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015. №1. С. 21-34.
4. Клейменов А.В., Гендель Г.Л., Швец А.В. Оценка эффективности технического диагностирования // Фундаментальные исследования. 2005. №2. С.77-78.
5. Мунин В.Л., Лобова Г.Н. Показатели эффективности технической диагностики бронетанковой техники // Омский научный вестник. Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы. 2012. №1-107 (107). С.272-276.
6. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем: учеб. пособие для вузов. Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. 218 с.
7. Диагностирование изделий. Общие требования [Электронный ресурс]: ГОСТ 27518-87. - Введ. 1989-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
8. Мунин В.А. Повышение эффективности технического диагностирования систем электроспецоборудования и автоматики бронетанковой техники. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. ФГБОУ ВПО «ОмГТУ», Омск, 2012. 20 с.
9. Техническая диагностика. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ 20911-89.- Введ.1991-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
10. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования [Электронный ресурс]: ГОСТ 26656-85. Введ.1987-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
11. Бочкарев С.В., Лыков А.А., Марков Д.С. Методика комплексной оценки показателей эффективности систем технического диагностирования и мониторинга // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. 2014, №1. с. 14-22. [Электронный ресурс]. URL:<http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kompleksnoy-otsenki-pokazateley-effektivnosti-sistem-tehnicheskogo-diagnostirovaniya-i-monitoringa>.
12. Романов Р.А., Севастьянов В.В., Дорофеев Д.А. Руководство по подготовке и внедрению этапов для перехода на обслуживание по фактическому техническому состоянию оборудования. 4.5. Этап №5. Оценка эффективности мероприятий [Электронный ресурс] // ООО «БАЛТЕХ» [сайт]. [2011]. URL: <http://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=176> (дата обращения 21.03.2016).
13. Сапожников Вл.В., Лыков А.А., Ефанов Д.В., Богданов Н.А. Эффективность систем технической диагностики и мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Российской Федерации. 2010. №4 (29). С.47-49.
14. Клейменов А.В., Гендель Г.Л. Экологическая эффективность технического диагностирования нефтегазового оборудования // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 5. С.37-38.
15. Васильев, А. Ю., Малый А.Ю., Серова Н.С. Анализ данных лучевых методов исследования

на основе принципов доказательной медицины: учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 32 с.

16. Трененков Е.М., Дведенидова С.А. Диагностика в антикризисном управлении [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cfin.ru/press/management/2002-1/01.shtml> (дата обращения 21.03.2016). Доступ из Интернет-проекта «Корпоративный менеджмент».

17. Барабаш Ю.Л. и др. Вопросы статистической теории распознавания. М.: Сов. Радио, 1967. 400 с.

18. Бир С. Мозг фирмы / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 408 с.

Дата поступления статьи: 25 апреля 2016 года.