

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.Ф. Дубинин, канд. экон. наук *В.И. Куксова*
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН)

Рассмотрены подходы к оценке эффективности диагностических систем с использованием теории нечетких множеств, позволяющие исследовать взаимосвязь между характеристиками диагностической системы и качеством диагностирования.

Для определения информационной эффективности диагностической системы предложена процедура, предусматривающая использование ее критериальных параметров.

Ключевые слова: нечеткие методы, нечеткие множества, эффективность, диагностическая система, качество диагностирования, задачи технического диагностирования, информационная эффективность диагностирования.

THE APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS FOR ASSESSMENT THE EFFICIENCY OF DIAGNOSTIC SYSTEMS

E.F. Dubinin, Ph.D. (Econ.) *V.I. Kuksova*
The A.A. Blagonravov Institute of Machines Science
of the Russian Academy of Sciences

The article discusses approaches to assessing the efficiency of diagnostic systems using the theory of fuzzy sets, allowing to study the relationship between the characteristics of the diagnostic system and the quality of diagnosis.

To determine the informational efficiency of the diagnostic system, a procedure is proposed that involves the use of its criteria parameters.

Keywords: fuzzy methods, fuzzy sets, efficiency, diagnostic system, quality of diagnosis, tasks of technical diagnosis, information efficiency of diagnosing.

Введение

Развитие диагностических систем (ДС) в различных областях техники привело к необходимости оценки и сравнительного анализа эффективности самих ДС. К настоящему времени сформированы основы нормативно-методической базы, в ряде отраслей накоплен большой практический опыт оценки эффективности диагностических систем [1].

Как правило, оценка эффективности ДС предусматривает определение их экономической эффективности, а также расчет различных показателей, характеризующих качество (целевую эффективность) технического диагностирования. Вместе с тем в ряде случаев возникает необходимость комплексной агрегированной оценки эффективности ДС. Такая оценка предполагает создание математической модели, в которой входными переменными являются характеристики (параметры) диагностической системы, а результирующий показатель позволяет оценить эффективность ДС в той или иной форме. Моделирование

предполагает совместное использование в анализе четких и нечетких величин, характеризующих эффективность и качество функционирования ДС. Для этой цели хорошо подходит аппарат теории нечетких множеств (НМ).

Для оценки эффективности ДС с использованием методов НМ в той или иной форме представляются интересными следующие подходы.

1. Поэлементное рассмотрение компонент ДС и создание нечеткой модели оценки ее эффективности.

Применение нечетких методов позволяет при исследовании направлений повышения эффективности ДС рассмотреть ее основные функционально взаимосвязанные элементы (датчики первичной информации; линии связи и вспомогательные устройства; информационно-измерительную электронную аппаратуру; вычислительный комплекс; программное обеспечение) и сформировать модель, позволяющую исследовать взаимосвязь между характеристиками указанных компонентов ДС и качеством (эффективностью) диагностирования.

2. Исследование эффективности ДС с позиций качества решения основных задач диагностирования в классической постановке и параметров, определяющих его (время диагностирования, количество операций контроля, точность и глубина диагностирования).

При реализации данного подхода появляется возможность совместного исследования основных показателей качества диагностирования, к которым относятся быстродействие диагностирования K_6 , точность диагностирования K_T , достоверность диагностирования K_D , стоимость диагностирования K_c , показатель полноты диагностирования K_n , показатель экономической эффективности диагностирования K_3 , показывающий, насколько улучшились эксплуатационные характеристики исследуемого объекта в результате диагностирования [2]. Помимо этого в формируемой модели можно учесть нечеткие переменные, характеризующие защищенность и устойчивость ДС к воздействию поражающих факторов аварийных ситуаций.

3. Исследование информационной эффективности диагностирования.

Вопросы оценки информационной эффективности диагностирования и количественного (формализованного) определения ценности диагностической информации тесно связаны с мерами ее ценности. Если синтаксическая ценность информации, определяемая количеством полученной информации в битах без учета ее содержательной ценности, может быть определена относительно легко, то оценка семантической и прагматической ценности той или иной информации об объекте диагностирования является достаточно слабо формализуемой задачей. Одним из возможных путей ее решения является использование аппарата НМ.

В общем случае при реализации данного подхода можно принять гипотезу о том, что эффективное диагностирование как цель функционирования ДС достижимо несколькими путями, затем определить сравнительную эффективность различных вариантов создания системы диагностирования. Наиболее эффективным может считаться тот вариант проектируемой ДС, при котором:

а) при фиксированных (либо сопоставимых по величине) затратах на создание ДС ценность полученной о состоянии объекта диагностирования информации максимальна;

б) при равной ценности информации, получаемой о состоянии объекта диагностирования (характеризуемой нечеткими переменными), затраты на достижение цели диагностирования минимальны.

4. Использование для оценки информативности и эффективности ДС математико-статистических методов проверки гипотез. В этом случае каждому набору значений основных используемых показателей качества диагностирования (K_6 , K_T , K_D , K_c , K_n , K_3 и др.) можно поставить в соответствие вероятность принятия диагностической системой правильного (либо ошибочного) решения о состоянии объекта диагностирования (то есть

того или иного диагноза) и провести оценку вероятности принятия или отбрасывания нулевой либо альтернативной гипотез о его состоянии.

Выбор диагностической модели с использованием методов проверки гипотез требует достаточной статистики о поведении ДС в условиях ее эксплуатации, поэтому этот метод можно применять:

- в том случае, если имеется статистика о поведении системы при ее пробной (предварительной) эксплуатации;
- при наличии аналогичных эксплуатируемых систем с известными параметрами.

Поэлементное рассмотрение компонент ДС и создание нечеткой модели оценки ее эффективности

Структура диагностической системы определяется многими факторами, в том числе общей структурой системы технического обслуживания объекта диагностики. Как правило, в качестве основных составляющих элементов ДС рассматривают [3]:

- объект диагностирования (ОД), под которым понимают сам объект или его элементы, состояние которых подлежит идентификации;
- средства диагностирования – совокупность контрольно-измерительных приборов, органов управления, средств коммутации и сопряжения с ОД;
- программное обеспечение системы технической диагностики, обработки, передачи и хранения результатов для последующего прогнозирования поведения или состояния объекта.

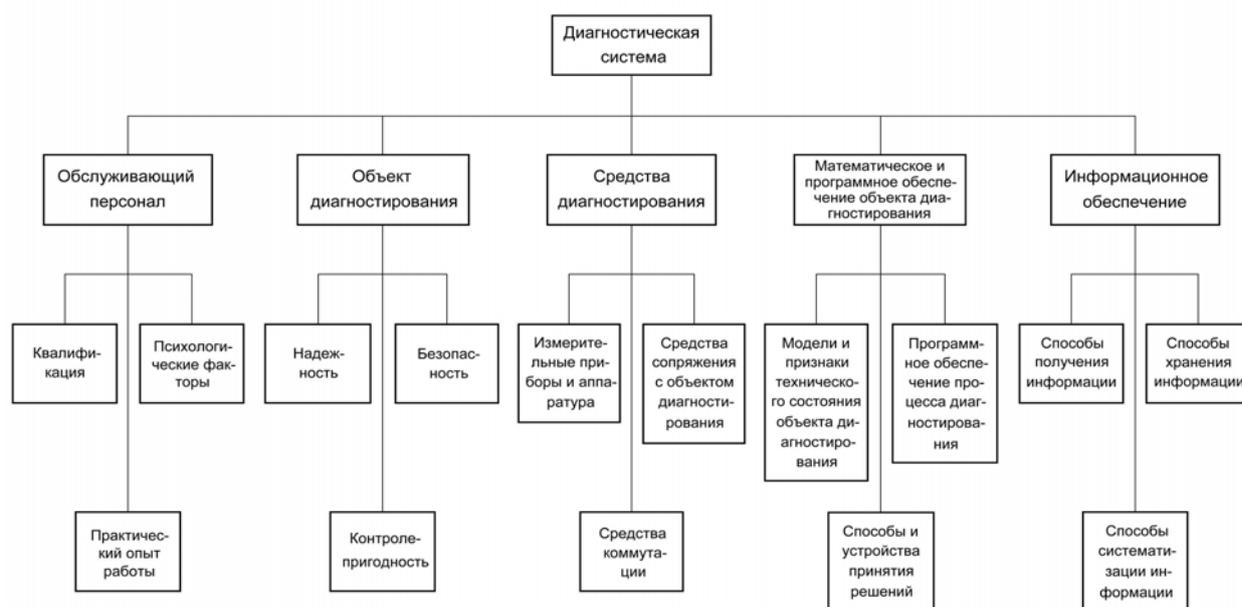


Рис. 1. Структура диагностической системы, используемая для формирования нечеткой модели оценки ее эффективности

Для формирования нечеткой модели оценки эффективности основных элементов ДС и диагностической системы в целом можно использовать схему, представленную на рис. 1. В этом случае разработка агрегированной модели предусматривает формирование трехуровневой системы вложенных и взаимосвязанных НМ, в которой выходные переменные третьего (нижнего) уровня модели являются одновременно входными переменными, ис-

пользуемыми для оценки эффективности (качества) основных структурных элементов ДС. В свою очередь, выходные переменные второго уровня являются одновременно входными переменными, используемыми для оценки эффективности ДС в целом.

Поскольку диагностирование сложных систем является неотъемлемой частью процессов их обслуживания, ряд показателей, характеризующих надежность и безопасность функционирования объекта диагностирования и его основных составляющих, является одновременно как характеристикой ДС, так и ОД. Иными словами, целый ряд признаков системы и объекта диагностирования трудно отделить друг от друга. Нечеткая агрегированная модель позволяет преодолеть указанные трудности и исследовать, например, совместное влияние на эффективность ДС такой важной характеристики объекта диагностирования как контролепригодность, определяемой как приспособляемость объекта к диагностированию, обеспечивающей легкость его проверки, и параметров разрабатываемой (эксплуатируемой) диагностической системы.

Уровень контролепригодности объекта диагностирования определяется его особенностями, и может оцениваться различными показателями. Процедура выбора показателей контролепригодности для каждого проектируемого ОД выполняется с учетом технических требований к объекту, его вида и назначения, а также информации об аналогичных эксплуатируемых объектах диагностирования.

Наиболее часто применяемыми показателями контролепригодности сложных технических объектов и систем являются [4]:

- средняя оперативная продолжительность диагностирования T_d ;
- средняя оперативная трудоемкость диагностирования τ_d ;
- средняя оперативная стоимость диагностирования C_d ;
- число унифицированных устройств N_v ;
- общее число устройств сопряжения N_o ;
- степень унификации устройства сопряжения со средствами диагностирования $K_{v.c.} = N_v / N_o$;
- число унифицированных диагностических параметров δ_v ;
- общее число параметров δ_o ;
- коэффициент унификации параметров сигналов объекта $K_{v.n.} = \delta_v / \delta_o$.

Наиболее простым способом учета уровня контролепригодности ОД в агрегированной модели эффективности ДС является введение нечеткой лингвистической переменной «Уровень контролепригодности объекта диагностирования». При формировании факторного пространства указанной переменной можно использовать балльные экспертные оценки приспособляемости объекта к диагностированию соответствующими техническими средствами. Возможные терм-множества указанной нечеткой переменной приведены в табл. 1.

При таком подходе возможна нечеткая оценка уровня контролепригодности как всего объекта, так и его отдельных блоков, если они диагностируются самостоятельно локальными техническими средствами диагностики.

В работе [5] предлагается для оценки контролепригодности ОД использовать качественную (т.е. нечеткую) переменную «Категория контролепригодности объекта», терм-множества которой формируются в зависимости от сочетания групп конструкционного исполнения объектов диагностирования, определяющих приспособленность объекта к решению задач диагностирования.

Уровень контролепригодности объекта диагностирования

Балльная экспертная оценка контролепригодности объекта диагностирования (максимальный уровень соответствует 100 баллам)	Уровень контролепригодности
1	2
0 – 15	Очень низкий
16 – 39	Низкий
40 – 64	Средний
65 – 89	Высокий
90 – 100	Очень высокий

Для установления принадлежности ОД к той или иной категории предлагается все используемые показатели его контролепригодности разделить на четыре группы:

- 1) показатели, характеризующие полноту диагностирования;
- 2) показатели, характеризующие прямые затраты на диагностирование объекта;
- 3) вспомогательные показатели, характеризующие отдельные элементы организации процесса диагностирования;
- 4) показатели, характеризующие степень унификации объектов и технических средств диагностирования.

Подбор конкретных показателей для каждой группы определяется особенностями ОД и задачами диагностики. Схема нечеткой модели оценки категории контролепригодности объекта диагностирования с использованием алгоритма нечеткого вывода приведена на рис. 2.

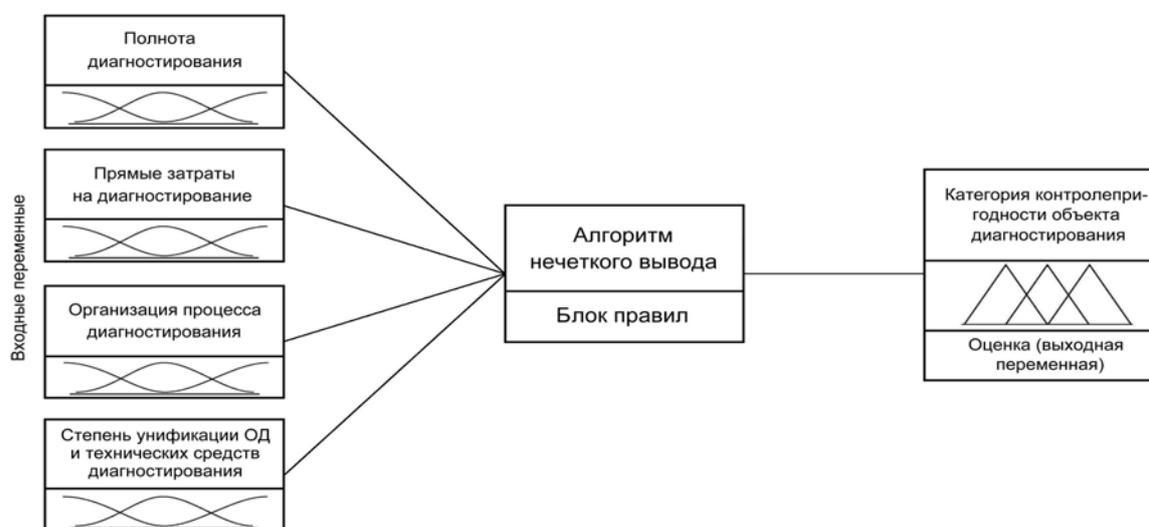


Рис. 2. Схема нечеткой модели оценки категории контролепригодности объекта диагностирования

Исследование эффективности ДС с позиций качества решения основных задач диагностирования

В классической постановке теории диагностирования основными задачами технического диагностирования являются [6]: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния.

Соответственно главными показателями качества диагностических систем (ДС) являются гарантируемые ими полнота обнаружения и глубина поиска дефектов, а также интервал упреждения [2]. Основной эффект от функционирования ДС состоит в обеспечении безаварийной работы объекта диагностирования.

При таком подходе основными критериями эффективности диагностирования могут являться:

- минимизация операций контроля и (или) времени диагностирования при заданной точности, полноте обнаружения и глубине поиска дефектов;
- точность определения состояния объекта диагностики (постановка диагноза) по результатам анализа используемых диагностических параметров вне зависимости от количества операций контроля и времени диагностирования.

В первом случае при разработке нечеткой модели эффективности диагностирования факторное пространство входных переменных формируется из показателей, характеризующих точность, полноту обнаружения и глубину поиска дефектов. В качестве исходных данных могут использоваться [6, 7, 8, 9]:

- 1) условная вероятность того, что:
 - неисправный (неработоспособный) объект в результате диагностирования признается исправным (работоспособным);
 - исправный (работоспособный) объект в результате диагностирования признается неисправным (неработоспособным);
- 2) среднеквадратическое отклонение прогнозируемого параметра технического состояния ОД на задаваемый период времени, в том числе и на данный момент времени;
- 3) среднеквадратическое отклонение прогнозируемого остаточного ресурса ОД;
- 4) вероятность безотказной работы ОД, показатели изменения прогнозируемого диагностического параметра;
- 5) доверительная вероятность полученного диагноза, определяемая нижней границей вероятности безотказной работы ОД по параметрам безопасности на задаваемый период времени.
- 6) отношение числа параметров, охваченных контролем, к общему числу параметров, определяющих работоспособность объекта.
- 7) глубина поиска места отказа (неисправности) — нечеткая характеристика, задаваемая указанием составной части объекта с точностью, до которой определяется место отказа (неисправности).

Пусть X – множество показателей, приведенных к условиям нечеткости, характеризующих точность, полноту обнаружения и глубину поиска дефектов исследуемой ДС с заданными функциями принадлежности μ . Пусть также в качестве критерия эффективности диагностирования используется время диагностирования T . При выбранном алгоритме нечеткого вывода A время эффективного диагностирования T^{ϑ} находится из условия:

$$T^{\vartheta} = \{X, \mu, A\} \rightarrow \min_A. \quad (1)$$

Соответственно критерий эффективности диагностирования определяется на основе правила:

$$F = \arg \min T^{\vartheta}. \quad (2)$$

Поскольку выбор функций принадлежности в определенной степени является субъективной процедурой, от результатов которой зависят итоги моделирования, используемые функции принадлежности μ введены в правила (1) и (2) в качестве аргументов.

Моделирование, выполненное с учетом заданных начальных условий и ограничений, позволяет определить минимально возможное время диагностирования и увеличить интервал упреждения, что, в свою очередь, может помочь определить момент проведения техобслуживания, избежать отказов и аварий. Периоды между остановкой объекта диагностирования на профилактику могут рационально увеличиваться, устраняя процедуры техобслуживания.

Во втором случае в качестве критериев эффективности диагностирования могут, например, использоваться вероятностные показатели, характеризующие его достоверность, а факторное пространство модели формируется из множества точек в многомерном пространстве признаков, характеризующих возможные состояния (диагнозы) объекта диагностики.

При этом [10] правила нечеткого вывода должны предусматривать процедуру, позволяющую все возможные состояния ОД приводить к двум (работоспособному или неработоспособному) либо к нескольким, например к стабильному, достаточно стабильному, нестабильному, аварийному.

Так, если состояние объекта диагностики $Y_i (i = 1, n)$ функционально характеризуется множеством значений используемых диагностических параметров $X_j (j = 1, m)$: $Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_m)$, то необходимо:

- привести выбранные диагностические параметры к условиям нечеткости, выбрать для $X_j (j = 1, m)$ функции принадлежности μ_j ;
- сформулировать правила разбиения множества Y на n подмножеств состояний – Y_1, Y_2, \dots, Y_n ;
- определить критерии для оценки стабильности работы объекта и его принадлежности к указанным подмножествам;
- установить признаки возникших отказов (различить состояния в подмножествах Y_1, Y_2, \dots, Y_n).

Пусть для определения эффективности ДС выбран алгоритм нечеткого вывода В, а в качестве критерия эффективности диагностирования выбрана вероятность установления системой правильного диагноза состояния ОД. Показатель эффективности диагностирования в этом случае находится из условия:

$$\mathcal{E}^D = \{(1 - P_1), (1 - P_2), Y, \mu, B\} \rightarrow \max_B, \quad (3)$$

где P_1 – условная вероятность того, что неисправный (неработоспособный) объект диагностики в результате диагностирования признается исправным (работоспособным);

P_2 – условная вероятность того, что исправный (работоспособный) объект диагностики в результате диагностирования признается неисправным (неработоспособным).

Соответственно критерий эффективности диагностирования определяется на основе правила:

$$F = \arg \max \mathcal{E}^D. \quad (4)$$

Следует отметить, что в большинстве задач технической диагностики диагнозы устанавливаются заранее [3], и в этих условиях задача распознавания сводится к задаче классификации.

Исследование информационной эффективности диагностирования

Эффективность методов и процедур диагностирования во многом определяется своевременностью, качеством обработки и передачи информации, характеризующей текущее состояние объекта диагностирования и самой диагностической системы, поэтому изучение качества и надежности информационного и программного обеспечения ДС является важным аспектом оценки их эффективности [11].

Анализу повышения эффективности функционирования информационных систем и поиску неисправностей в них посвящена обширная литература, авторами предлагаются различные методы оценки достоверности информации, быстродействия, надежности и эффективности функционирования элементов диагностических систем (см., например, [12 - 16]). В настоящей статье рассматривается подход к оценке информационной составляющей эффективности ДС, предусматривающий применение аппарата нечетких множеств.

Для формирования нечеткой модели информационной эффективности ДС можно рассмотреть два взаимосвязанных множества переменных, включающих:

- информационные характеристики (показатели) диагностической системы X_i^j , ($i = 1, n$);
- показатели, оценки и события, характеризующие проявление недостатков системы Y_j , ($j = 1, m$).

К информационным характеристикам ДС можно отнести количество используемых датчиков, периодичность съема информации, быстродействие системы, объем перерабатываемой информации за определенный период времени, погрешность измерения и др. Недостатками информационного обеспечения ДС могут являться вероятность пропуска полезного сигнала, большой период запаздывания, слабая защита от несанкционированного доступа, отсутствие контроля управляющих воздействий.

Следует отметить, что некоторые переменные в зависимости от целей и задач анализа могут быть включены как в первое, так и во второе множество. В частности, переменная «защита от несанкционированного доступа» может быть отнесена к информационной характеристике ДС с указанием типа (количества степеней) защиты, но также может рассматриваться как проявление недостатка системы в зависимости от уровня защиты от несанкционированного доступа, характеризуемого нечеткой лингвистической переменной.

В связи с постоянным изменением и усложнением технологической базы объектов диагностирования, а также изменением природы дефектов, для оценки проявления недостатков ДС в общем случае можно использовать предлагаемые в работе [12] события и оценки, характеризующие выполнение системой функций диагностирования:

- невыполнение функции;
- неполное (частичное) выполнение функции;
- выход значений некоторых параметров функции за границы допустимых диапазонов;
- ошибочное выполнение функции.

Для определения информационной эффективности диагностической системы может быть использована процедура, приведенная на рис. 3, предусматривающая использование критериальных (определяющих) параметров.

В соответствии с приведенной на рисунке схемой сначала для каждого показателя (оценки, события) из множества Y_j , ($j = 1, m$) экспертным путем выбирается критериальный параметр X_i^j , ($i = 1, n$), значение которого в наибольшей степени определяет величину (оценку) Y_j . Полученное подмножество критериальных параметров составляет факторное

пространство нечеткой модели. В качестве выходной переменной используется нечеткая лингвистическая оценка \mathcal{E}_n^D «Информационная эффективность диагностической системы» со значениями {Низкая, Недостаточная, Достаточная, Приемлемая, Высокая}.

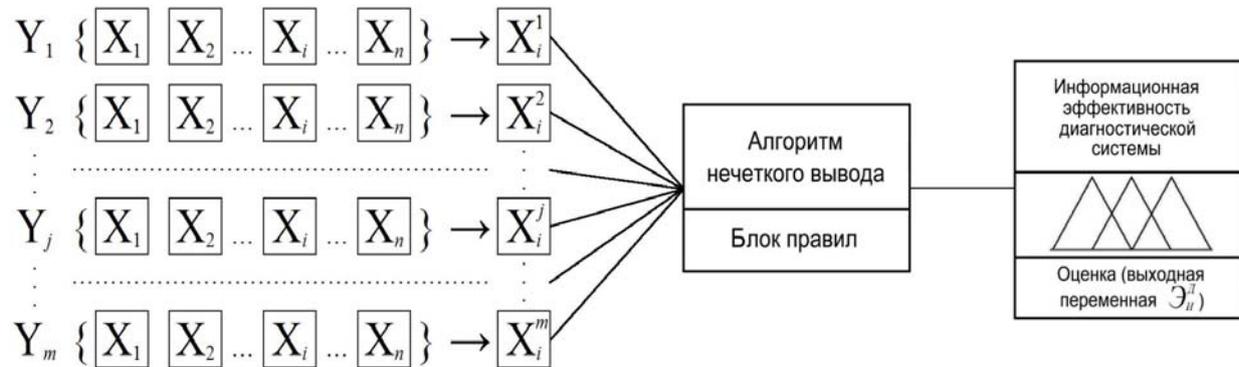


Рис. 3. Процедура оценки информационной эффективности диагностической системы, предусматривающая использование критериальных параметров

В общем случае для определения информационной эффективности ДС необходимо решить задачу построения совокупности систем нечетко-продукционных правил, связывающих множество входных параметров X_i с элементами множества Y_j , учитывающих взаимосвязи между ними.

Выводы

Для оценки эффективности ДС с использованием методов НМ можно использовать несколько подходов.

При поэлементном рассмотрении компонент ДС и создании нечеткой модели оценки ее эффективности предлагается использование трехуровневой системы вложенных и взаимосвязанных НМ, в которой выходные переменные низшего уровня модели являются одновременно входными переменными, используемыми для оценки эффективности основных структурных элементов ДС и системы в целом.

При исследовании эффективности ДС с позиций качества решения основных задач диагностирования основными критериями эффективности диагностирования могут являться:

- минимизация операций контроля и времени диагностирования;
- точность определения состояния объекта диагностики по результатам анализа используемых диагностических параметров.

В первом случае при разработке нечеткой модели факторное пространство входных переменных формируется из показателей, характеризующих точность, полноту обнаружения и глубину поиска дефектов.

Во втором случае в качестве критериев эффективности диагностирования могут использоваться вероятностные показатели, характеризующие его достоверность, а факторное пространство модели формируется из множества точек в многомерном пространстве признаков, характеризующих возможные состояния (диагнозы) объекта диагностики.

Для определения информационной эффективности диагностической системы может быть использована приведенная в статье процедура, предусматривающая использование критериальных параметров.

Литература

1. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Оценка и повышение эффективности диагностических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2016. № 4. С.8-24.
2. Глущенко П.В. Техническая диагностика: Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов.– М.: Вузовская книга. - 2004. 248 с.
3. 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.
4. Техническая диагностика авиационного радиоэлектронного оборудования. КГТУ им. А.Н.Туполева. 2009. Презентация, доклад. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://presentacii.ru/presentation/-tehnicheskaya-diagnostika-aviacionnogo-radioelektronного-oborudovaniya> (дата обращения 10.01.2020).
5. Бушуева М.Е., Беляков В.В. Диагностика сложных технических систем. Труды 1-го совещания по проекту НАТО SfP–973799 Semiconductors. Нижний Новгород. - 2001. С.63-98
6. Техническая диагностика. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ 20911-89.- Введ.1991-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
7. 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.
8. Диагностирование изделий. Общие требования [Электронный ресурс]: ГОСТ 27518-87. - Введ. 1989-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
9. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования [Электронный ресурс]: ГОСТ 26656-85. Введ.1987-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
10. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Использование методов и моделей нечеткой логики в системах технической диагностики // Приводы и компоненты машин. - 2018. №1-2 (27). С. 6-11.
11. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Некоторые аспекты оценки эффективности диагностических систем // Вестник научно-технического развития. 2016. № 4 (104). С.3-18.
12. Фрейман В.И. Модели, методы и средства диагностирования элементов и устройств распределенных информационно-управляющих систем на основе комбинирования логик: дис...д-ра техн. наук. Пермь. - 2018. 418 с.
13. Вычужанин В.В., Шиббаева Н.О., Коновалов С.Н., Повышение эффективности эксплуатации системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем // Вестник ВГАВТ, Раздел I. Информатика, системы управления, телекоммуникации и радиолокация. - 2016. Вып.47. С.15-22.
14. Брускин С.Н., Дружаев А.А., Марон А.И., Марон М.А. Эффективные методы построения алгоритмов поиска неисправностей в информационных системах // Интеллектуальные системы в производстве. - 2017. Т.15. № 3. С.88-93.
15. Чжо Зо Е, Чжо Зин Лин, Портнов Е.М., Баин А.М., Каунг Сан, Лисов О.И., Тайк Аунг Чжо. Анализ и разработка теоретических подходов к повышению информационных характеристик автоматизированных систем технической диагностики. Информационные технологии в науке, образовании и управлении IT+S&E'15: сборник трудов материалов XLIV международной конференции и XIV международной конференции молодых ученых под ред. Е.Л.Глориозова. М.: ИНИТ. Осенняя сессия. - 2015. С.66-73.
16. Катасев А.С. Математическое и программное обеспечение формирования баз знаний мягких экспертных систем диагностики состояния сложных объектов: монография. Серия «Современная прикладная математика и информатика». Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования». - 2013. 200 с.

Сведения об авторах

Дубинин Евгений Федорович, научный сотрудник лаборатории «Перспектив развития безопасных машин и процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ РАН). E-mail: mibsts@mail.ru, тел.+7(495) 623-57-55.

Куксова Варвара Игоревна, старший научный сотрудник лаборатории «Перспектив развития безопасных машин и процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ РАН). E-mail: mibsts@mail.ru., тел. +7 (495) 624-91-54.

УДК 681.586.5;681.518.3

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-02-4

АНАЛИЗ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ТЕПЛОВИЗОРОМ

Доктор техн. наук, М.Н. Петров

**Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(г. Красноярск, Россия)**

Представлены результаты статистических наблюдений за температурой тягового двигателя электропоезда на Красноярской железной дороге. В качестве измерителя использовался тепловизор.

Ключевые слова: безопасность движения, электропоезд, электродвигатель, температурный режим, тепловизор.

ANALYSIS OF DIAGNOSTICS OF TRACTION MOTORS OF ELECTRIC TRAIN THERMAL IMAGER

Dr. (Tech), M.N. Petrov

**Krasnoyarsk Institute of Railway Transport - branch of the Federal State Budgetary
Educational Institution Higher Education "Irkutsk State University
of Railway Engineering" (Krasnoyarsk, Russia)**

This article presents the results of statistical observations of the temperature of the traction engine of an electric train on the Krasnoyarsk railway. A thermal imager was used as a meter.

Keywords: traffic safety, electric train, electric motor, temperature control, thermal imager.