



УДК 681.518.5

© 2020 г. **В.В. Воронин**, д-р техн. наук
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ВНЕШНЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Анализируется и описывается в фреймовой нотации внешнее представление технического объекта диагностирования (*ОД*), которое входит составной частью в перечень необходимых знаний для диагностической экспертной системы (*ДЭС*). Предлагается характеризовать внешнее представление двумя фреймами – контроль технического состояния *ОД* и мониторинг его технического состояния. В данной работе раскрывается возможное содержание этих фреймов.

Ключевые слова: объект диагностирования, системные представления объекта диагностирования, система технического обслуживания, экспертная система, *OLAP* технология, концептуальная диагностическая модель.

DOI: 10.22250/isu.2020.63.74-83

Введение

В самом общем случае диагностическая деятельность подразумевает наличие объекта деятельности – объекта диагностирования, субъекта (субъекта диагностической деятельности) и их внешнее окружение. Наличие, состояние и особенности указанных элементов будем характеризовать понятием «диагностическая ситуация» [1]. Описание возможных диагностических ситуаций – отправная точка процесса разработки концептуальной модели для последующего проектирования базы данных и базы знаний диагностических экспертных систем.

В конкретной диагностической ситуации участвует конкретный экземпляр *ОД*. Этот экземпляр является носителем текущего технического состояния, которое в рамках решаемой диагностической задачи предстоит опре-

делить. На этапе эксплуатации задаче поиска дефектов объективно предшествует задача контроля работоспособности, результат решения которой определяет возможность использования *ОД* по назначению или отсутствие такой возможности. С позиции системных представлений об объекте диагностирования задаче контроля работоспособности соответствует внешнее представление *ОД*, а именно: возможность использования технического объекта по назначению целесообразно оценивать внешними или косвенными диагностическими показателями.

Внешнее представление имеет не только косвенное отношение к задаче поиска, как способ оценки неисправного состояния, но также прямое отношение – по внешним сопутствующим полям или органолептическим диагностическим показателям возможна пространственная локализация дефектов. Например, по наличию на месте стоянки автомобиля пятен масла или охлаждающей жидкости можно предположить наличие дефектов в системе смазки или системе охлаждения двигателя.

Контролем работоспособности и использованием внешних диагностических показателей не ограничивается назначение внешнего представления. Отметим еще две важные для диагностики области, в которой *ОД* рассматривается в форме внешнего представления. Первая может быть охарактеризована дихотомией «система – надсистема». Надсистемой для *ОД* является система технического обслуживания [2].

Вторая область имеет непосредственное отношение к экспертным системам, *ДЭС* создается для определенного класса объектов. Поэтому эксперт в процессе диагностирования в первую очередь идентифицирует конкретный экземпляр *ОД* как цельный объект. Пример такой идентификации: автомобиль → легковой автомобиль → *LADA Vesta* → *LADA Vesta Sport* → *LADA Vesta Sport* выпуска 2019 г. → данный экземпляр автомобиля с конкретным идентификационным номером.

Вопросам использования знаний о внешнем представлении *ОД* в диагностических приложениях уделяется достаточно большое внимание. Оно дифференцировано по классам объектов диагностирования. В [3, 4] обобщены результаты исследований по описанию внешнего проявления возможных технических состояний машинно-тракторного парка органолептическими показателями с целью представления их в *ДЭС*.

В работе [5] предлагается информационное обеспечение системы диагностирования радиоэлектронной аппаратуры специального назначения формировать в виде триады «признак – причина – действие». При этом первый элемент триады рекомендуется представлять в виде описания внешнего

проявления неработоспособного состояния данного *ОД* с учетом условий фиксации этого состояния.

В статье [6] приводится сравнительный анализ различных методов диагностирования оборудования магистральных нефтепроводов, среди которых важные позиции занимают внешние методы неразрушающего контроля, включая существенными составляющими визуальное, тепловизионное и вибрационное диагностирование.

В работе [7] приведены результаты исследования процессов диагностирования подшипников шпинделя станка с ЧПУ. Изменение в техническом состоянии *ОД* фиксируется органолептическими методами, доминирующим среди которых является метод, использующий параметры изменения характера шумовых полей.

В практико-ориентированных методах диагностирования двигателей внутреннего сгорания [8] предлагается все большее значение уделять органолептическим методам оценки технического состояния.

Оценивая основные возможности внешнего представления объекта диагностирования в сочетании с современными информационными технологиями, приведем пример [9] совершенствования организационно-технологического обеспечения системы технического обслуживания, основанной на прогнозировании отказов с помощью непрерывного мониторинга условий эксплуатации и изменений технического состояния автомобилей. Здесь описываются также характеристики *OLAP* модели, используемой в качестве основы для разработки информационного обеспечения системы технического обслуживания.

Основная цель данной работы – анализ результатов исследований обобщающего подхода, который обеспечивает возможность формального учета знаний о внешнем представлении объекта диагностирования в концептуальной диагностической модели с учетом современного уровня развития информационных технологий.

Постановка задачи

В большинстве диагностических экспертных систем недостаточно полно отражается зависимость эффективности диагностических процедур от особенностей системы технического обслуживания (*СТО*). В работе [2] предложено включить в концептуальную диагностическую модель такую зависимость в форме **Фрейма** *ТЕХНИЧЕСКОЕ_СОСТОЯНИЕ(X)* с взаимозависимыми слотами и их значениями, приведенные на рис. 1.

Фрейм ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ_СИТУАЦИЯ:	
<i>ОД</i>	(Фрейм <i>ТЕХНИЧЕСКИЙ_ОБЪЕКТ</i>);
<i>Надсистема</i>	(Фрейм <i>СТО</i> , Фрейм <i>СРЕДА</i>).
Фрейм ТЕХНИЧЕСКИЙ_ОБЪЕКТ:	
<i>Экземпляр_ОД</i>	(Фрейм <i>ИДЕНТИФИКАЦИЯ_ОД(X)</i>);
<i>ТС_ОД</i>	(Фрейм <i>ТЕХНИЧЕСКОЕ_СОСТОЯНИЕ(X)</i>).
Фрейм ТЕХНИЧЕСКОЕ_СОСТОЯНИЕ(X):	
<i>Внешнее представление</i>	(Фрейм <i>КОНТРОЛЬ_ТС(X)</i> , Фрейм <i>МОНИТОРИНГ_ТС(X)</i>);
<i>Деградация</i>	(Фрейм <i>РЕСУРС(X)</i> , Фрейм <i>РЕМОНТНАЯ_ИСТОРИЯ(X)</i>);
<i>Структурные представления</i>	(СПИСОК(Фрейм <i>ДЕФЕКТ(X,r)</i>)).

Рис. 1. Фрагмент схемы концептуальной диагностической модели.

Основная задача данной работы – исследовать и раскрыть содержание слота *Внешнее представление* (внешнее представление текущего объекта диагностирования) концептуальной диагностической модели в части описания в принятой нотации фрейма *КОНТРОЛЬ_ТС(X)* и провести предварительное исследование информационного содержания фрейма *МОНИТОРИНГ_ТС(X)* для текущего экземпляра объекта диагностирования.

Описания фрейма *КОНТРОЛЬ_ТС(X)* приводится в следующем разделе, а исследование информационного содержания фрейма *МОНИТОРИНГ_ТС(X)* – в последующем разделе.

Контроль технического состояния

В работе [10] термин «контроль технического состояния» определяется как проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

В технической диагностике принято параметры объекта называть диагностическими показателями (показатели наличия дефектов) и делить их на внешние, или косвенные, и прямые. Обычно подразумевается, что внешние показатели оцениваются органолептическими методами, а косвенные и прямые показатели – инструментальными методами.

Внешнее представление объекта диагностирования характеризуется внешними, или косвенными диагностическими показателями, а его структурные представления (иерархическое, функциональное и конструктивное), кроме того, – прямыми диагностическими показателями.

Видами технического состояния являются, например, исправное, работоспособное, неисправное и др. Основное назначение внешнего представления – это разделение видов технического состояния на два класса, а именно: первый – такие виды, которые допускают возможность использования *ОД* по назначению; второй – не допускает такой возможности.

Технология контроля технического состояния реализуется в данный момент времени, которому соответствует определенный режим взаимодействия объекта с его *СТО*. К основным режимам относятся следующие: «предэксплуатационный» (например, предполетный осмотр), «функциональный» (маршрутный контроль), «предремонтный», «послеремонтный», «хранение» и др. Каждый такой режим имеет специфические особенности в отношении процедур оценки диагностических показателей.

Учитывая вышеприведенное определение и комментарии его смыслового содержания, в схему концептуальной диагностической модели технологии контроля технического состояния объекта диагностирования впишем в виде фрейма *КОНТРОЛЬ_ТС(X , ЗАПРОС_КП(Y))*, параметр которого X соответствует текущему экземпляру *ОД*, а параметр в виде функции *ЗАПРОС_КП(Y)* извлекает из базы данных идентификатор текущего косвенного показателя в переменную Y в зависимости от текущего режима. На рис. 2 представлены основные результаты раскрытия семантического содержания данного фрейма.

Фрейм КОНТРОЛЬ_ТС(X, ЗАПРОС_КП(Y)):	
<i>Режим</i>	(«предэксплуатационный» «функциональный» «предремонтный» «послеремонтный».)
<i>[Органолептический</i>	<i>(Фрейм КП(X, Y, r));]</i>
<i>[Инструментальный</i>	<i>(Фрейм КП(X, Y, r));]</i>
<i>Нормы</i>	<i>(ЗАПРОС_НОРМА(X, Y, k));]</i>
<i>Результат</i>	<i>(SUB(Норма(k), Текущий(r)).)</i>
Фрейм КП(X, Y, r):	
<i>Идентификатор</i>	<i>(ЗАПРОС(X, Y, x));]</i>
<i>[Метод_оценки</i>	<i>(Фрейм ПРОВЕРКА(x, r));]</i>
<i>[Возможный_результат</i>	<i>(Фрейм МВЗ(r)).]</i>

Рис. 2. Контроль технического состояния *ОД*.

Первый слот *Режим* **Фрейма** *КОНТРОЛЬ_ТС(X , ЗАПРОС_КП(Y))* задает множество возможных режимов в виде символьных констант, отдельный элемент которого определяет текущий режим. В схему концептуальной модели этот слот включен для наглядности. В практической реализации данной схемы возможно организовать хранение множества режимов в базе данных.

Следующие два слота рассматриваемого фрейма – *Органолептический* и *Инструментальный* – являются необязательными. Это означает, что технология контроля может включать каждый слот в отдельности или оба слота вместе. Значения каждого из этих слотов задается **Фреймом** $KП(X, Y, r)$, третий выходной параметр r которого хранит значение текущего косвенного показателя.

Следующий слот **Фрейма** *КОНТРОЛЬ_ТС – Нормы* предназначается для извлечения из базы данных посредством третьего выходного параметра функции $ЗАПРОС_НОРМА(X, Y, k)$ допустимого значения текущего диагностического показателя.

Последний слот **Фрейма** *КОНТРОЛЬ_ТС – Результат* предназначается для фиксации результата контроля технического состояния на основании нормативного и текущего значений функцией *SUB* в отношении данного диагностического показателя.

Текущее значение диагностического показателя в схеме модели определяется **Фреймом** $KП(X, Y, r)$. Необязательный слот этого фрейма *Метод_оценки* получает свое значение через **Фрейм** $ПРОВЕРКА(x, r)$, первый параметр которого определяет технологию оценки текущего диагностического показателя данного *ОД*. Содержание данного фрейма предполагается исследовать в будущем.

Последний необязательный слот *Возможный_результат* необходим на тот случай, при котором возможные значения диагностического показателя в форме фактов хранятся в базе знаний через **Фрейм** $МВЗ(r)$ – множество возможных значений. Содержание **Фрейма** $МВЗ(r)$ раскрыто в работе [1].

Заключительное решение о текущем техническом состоянии в рамках внешнего представления принимается по схеме логической конъюнкции – если хотя бы один диагностический показатель выходит за пределы нормы, то использование *ОД* по назначению запрещается.

Мониторинг технического состояния

В настоящее время в связи с повсеместным внедрением современных информационных технологий наметилась тенденция повышения культуры эксплуатации и дисциплины технического обслуживания. Это справедливо и в отношении диагностических задач. Появилась реальная возможность использования *online* технологий для управления техническим состоянием индивидуального экземпляра объекта диагностирования. В технической диагностике такие технологии принято называть мониторингом технического

состояния [9].

Обычно под мониторингом технического состояния понимают процесс, обеспечивающий возможность определения текущей возможности использования объекта по назначению без необходимости вывода его из эксплуатационного режима или специального обследования.

Например, система мониторинга автотранспорта «АвтоГРАФ», построенная на основе технологии ГЛОНАСС, помимо точного определения координат подвижного объекта и отображения их в реальном времени, позволяет осуществлять оперативный контроль эксплуатационного состояния транспортного средства [11].

Программное обеспечение этой системы – мощный диспетчерский программный комплекс, предназначенный для мониторинга транспортных средств и получения эксплуатационной отчетности [12]. Оно имеет *Web*-решение и программы для мобильных платформ *Android* и *iOS*.

Система позволяет осуществлять в удобном для пользователя виде мониторинг перемещений, событий и рабочих параметров транспортных средств, а именно: следить за расходом топлива, скоростным режимом, режимами работы двигателя, прибытием в контрольные пункты маршрута, детектировать заправки и сливы, вести учет рейсов и многое другое.

Здесь имеется возможность создания большого количества различных отчетов по работе объекта мониторинга. Соответствующий модуль содержит значительный набор типовых решений, а также позволяет создавать новые и редактировать имеющиеся отчеты в специальном редакторе.

Кроме того, существует возможность подключения дополнительных модулей (как поставляемых производителем, так и пользовательских), что существенно расширяет функционал системы. Предусмотрен также экспорт данных во внешние файлы различных форматов.

Перечисленные возможности позволили, например, усовершенствовать систему учета расхода топлива для предприятия путем разработки интегрального интерфейсного комплекса [11].

Сбор информации для мониторинга производится с использованием существующих встроенных средств контроля в процессе использования объекта по назначению, а также по факту оценки технического состояния на станциях технического обслуживания внешними средствами контроля или органолептическими методами.

Это позволяет накопить значительные объемы данных, на основе которых имеется возможность решения разнообразных диагностических задач. Проблемы хранения, обработки и анализа мониторинговой информации в современных условиях решаются в рамках информационных систем, объединяющихся под общим названием хранилищ данных, или систем поддержки принятия решений. Такие системы в общем случае включают подси-

стему ввода, подсистему хранения и подсистему анализа данных.

В принципе все три подсистемы можно построить средствами *СУБД*, реализуя транзакционную обработку данных (*OLTP*). Однако современные подсистемы анализа данных развиваются в сторону интерактивного анализа (*OLAP*) и интеллектуального анализа (*Data Mining*).

OLTP подсистемы используют концепцию многомерного представления данных, центральным понятием которой является многомерный куб, или гиперкуб. В рамках данной концепции предполагается подготовка агрегированной информации на основе больших массивов данных.

В реальных диагностических приложениях гиперкуб может иметь достаточно много измерений. В качестве иллюстративных примеров приведем кубы с тремя измерениями. Первый пример (рис. 3а) иллюстрирует возможности многомерных кубов относительно внешнего представления объекта диагностирования (мониторинг технического состояния). Аббревиатуры измерений на рис. 3а: *ЭОД* – экземпляр объекта диагностирования (*B568УК27* – регистрационный номер), *КП* – косвенный показатель (одно из его значений – уровень шума) и *T* – периоды времени (третий месяц 2020 г.). Значение элемента куба – это агрегированное значение (67 Дб) уровня шума для данного экземпляра *ОД* в определенный период. В качестве агрегирующей функции в этом случае может быть использована функция $\max(f(t))$. Данный куб имеет естественное расширение в виде включения в множество измерений показателя «режим».

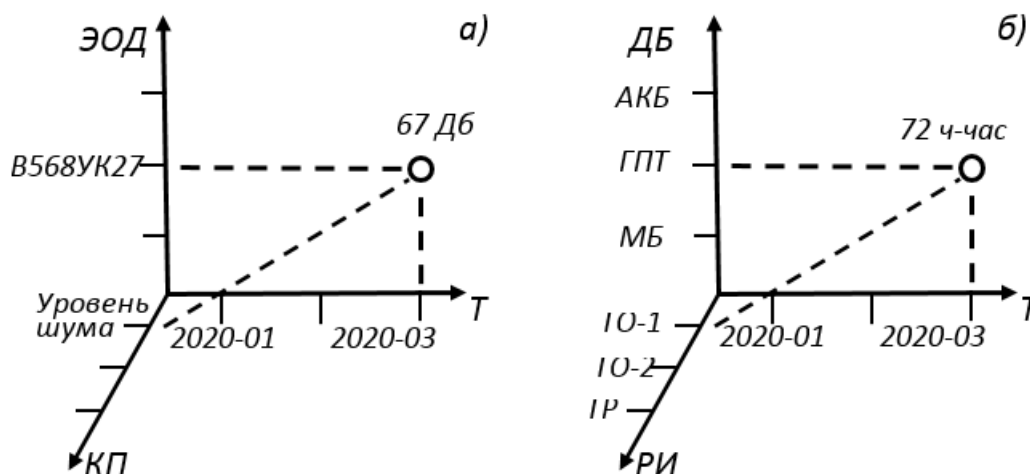


Рис. 3. Примеры гиперкубов для результатов мониторинга.

Второй пример (рис. 3б) иллюстрирует возможности многомерных кубов относительно деградиационного представления [1] объекта диагностирования (ремонтная история). Аббревиатуры измерений на рис. 3 б: *ДБ* – ресурсо-ограничивающий диагностический блок (*ГПТ* – генератор переменного тока), *РИ* – ремонтная история (значения: *ТО* – техническое обслужива-

ние и TP – текущий ремонт) и T – периоды времени. Значение элемента куба – это агрегированное значение (72 чел.-час) трудоемкость для данного $ДБ$ в определенный период. В качестве агрегирующей функции в таком случае может быть использована функция $sum(x)$. Данный куб имеет естественное расширение в виде включения в множество измерений показателя «ЭОД».

Относительно рассмотренных кубов приведем примеры возможных к ним запросов. Следующее выражение возвращает максимальный уровень шума объекта $B568UK27$ в марте 2020 г.:

$МУШ = МТС[ЭОД("B568UK27"), КП("Уровень шума"), Т("2020-03")]$.

Например, следующее выражение выдаст сумму трудоемкостей любых технических воздействий на диагностический блок генератор постоянного тока за январь 2020 г.:

$СТ = ДП[Т("2020-01"), ДБ("ГПТ"), ?]$.

В первом запросе фиксированы все три измерения, а во втором – только два. Структура куба позволяет в запросах оставлять плавающими любое количество измерений.

Приведенные в данном подразделе результаты исследования информационного содержания понятия «мониторинг технического состояния» позволяют синтезировать структуру одноименного фрейма (см. рис. 1).

Заключение

В работе предложен фрагмент концептуальной диагностической модели, включающий характеристики внешнего представления объекта диагностирования, которые планируется учитывать в разработках диагностических экспертных систем.

Диагностическая экспертная система – это инструмент, который помогает субъекту диагностической деятельности обоснованно принять решение о текущем техническом состоянии $ОД$. Поэтому база знаний экспертной системы с необходимостью должна содержать знания о взаимоотношениях таких диагностических задач как контроль технического состояния и поиск дефектов.

В дальнейших исследованиях планируется раскрыть содержание понятия «мониторинг технического состояния» и увязать его с другими показателями внешнего представления, включая различные классы объектов диагностирования [13].

Понятия контроля и мониторинга технического состояния, с одной стороны, являются формализмом внешнего представления $ОД$, а с другой, -

характеризуют систему технического обслуживания, одна из основных функций которой – обеспечение эффективности использования объекта диагностирования по назначению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин В.В.* Деградационное представление объекта диагностирования в концептуальной модели // Информатика и системы управления. – 2019. – №2. – С. 77-86.
2. *Воронин В.В.* Система технического обслуживания в концептуальной модели технических объектов // Информатика и системы управления. – 2017. – №3. – С. 67-74.
3. *Харахашян С.М., Димитров В.П., Хубиян К.Л.* Диагностирование зерноуборочного комбайна по внешним признакам отказов // Вестник ДГТУ. – 2010. – № 3. – С. 355-363.
4. *Дунаев А.В., Балабанов В.И.* Совершенствование технической эксплуатации машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса // Техника и оборудование для села. – 2014. – №11. – С. 28-31.
5. *Анисимов О.В., Попов Т.А.* Особенности формализованного представления таблицы неисправностей для систем информационной поддержки технического диагностирования // Научные технологии в космических исследованиях земли. – 2014. – № 6. – С. 18-22.
6. *Гаспарянц Р.С.* Техническое диагностирование объектов трубопроводного транспорта нефти // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 4. – С. 40-43.
7. *Сидоров В.А.* Диагностирование подшипников шпинделя станка с ЧПУ // Вестник современных технологий. – 2018. – №1. – С. – 58-63.
8. *Дунаев А.В.* Диагностирование двигателей внутреннего сгорания и планирование их ремонта на основании качественных признаков технического состояния // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112, № 1. – С. 172-177.
9. *Озорнин С.П., Тарасов И.А.* Совершенствование технического сервиса грузовых автомобилей, эксплуатируемых в северных регионах Российской Федерации // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – № 5. – С. 105-109.
10. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введение. 1991-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010.
11. *Воронин В.В., Литвинов Ю.А.* Совершенствование системы учета расхода и списания топлива в системе «АвтоГРАФ» // Информационные технологии XXI века. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2016. – С. 410-416.
12. Система АвтоГРАФ – [Электронный ресурс] – <http://bnav.ru/> (дата обращения 21.12.2019 г.).
13. *Шалобанов С.В., Шалобанов С.С.* Алгоритм поиска дефектов в системах автоматического управления на основе пробных отклонений параметров и анализа знаков интегральных оценок сигналов // Информатика и системы управления. – 2018. – № 4. – С. 104-111.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.В. Шалобановым.

E-mail:

Воронин Владимир Викторович – 004183@pni.edu.ru.