



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2013, Том 4, № 4, С. 825 – 833

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
<http://ejournal.khstu.ru/>  
[ejournal@khstu.ru](mailto:ejournal@khstu.ru)

УДК 681.518.5

© 2013 г. В. В. Воронин

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЙ ДЕФЕКТА И ЕГО ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Анализируется понятие дефекта в техническом объекте, определяется понятие эксплуатационного дефекта, исследуется многообразие отношений дефектов и их различных диагностических показателей.

**Ключевые слова:** эксплуатационный дефект, диагностические показатели.

V. V. Voronin

## FORMALIZATION OF THE CONCEPTS OF DEFECT AND ITS DIAGNOSTIC INDICATORS

Examines the concept of defect in a technical object, by the adoption of the operational defect, we investigate the spectrum of relations between the defects and their various diagnostic indicators.

**Keywords:** operational defect, diagnostic indicators.

Объективная реальность, отражаемая термином «дефект», является основным предметом исследования технической диагностики. Этот термин широко используется в различных областях научной и практической деятельности. В самом общем случае под дефектом (от лат. defectus – недостаток, изъян) понимают недопустимое отклонение от нормы. В содержании термина «дефект» родовый признак – это «отклонение», которое в данном случае является синонимом «изменению» и определяет объективную сущность дефекта. Изменение не зависит от фиксирующего его субъекта. Видовой признак данного термина – «недопустимое» и «норма» определяет субъективную окраску. Кто-то устанавливает норму и определяет уровень отклонения, который считается недопустимым.

Соотношение субъективного и объективного в термине «дефект» в различных областях науки и техники различно. Например, в кристаллографии дефект – это нарушение строгой периодичности расположения частиц в кристаллической решетке. Субъект имеет возможность целенаправленно нарушать периодичность, прикладывая внешние воздействия. С другой стороны, норма – строгая периодичность, существует объективно.

Признак недопустимости определяет определенную негативность явления «дефект». Например, в области контроля качества изделий дефекты снижают потребительскую стоимость изделия. Хотя это необязательное условие. В металловедении дефекты целенаправленно используются для улучшения пластичности металлов. В общем случае термин «дефект» отражает и внешние, и внутренние свойства реальных объектов. В частности в области контроля качества изделий принимают во внимание и внешние, и внутренние дефекты; в дефектологии дефект – это внутренний признак; в надежности дефект (отказ) – это внешнее явление. В области управления надежностью технических объектов статус термина «дефект» связан с жизненным циклом объекта и с особенностями задач этапов этого цикла. В данной работе акцент сделан на этапе эксплуатации технических объектов.

Определим эксплуатационный дефект как такое изменение, имеющее пространственно-временную определенность в экземпляре объекта диагностирования (*ОД*), наличие которого ведет к невозможности дальнейшей его эксплуатации по техническим, безопасностным, экономическим или другим причинам.

С этапом проектирования связано понятие конструктивного дефекта (некорректное использование существующей системы знаний). Такие дефекты не являются собственным предметом исследования технической диагностики как науки, хотя не выявленные на стадиях отладки и опытной эксплуатации конструктивные дефекты, конечно же, не могут не учитываться в практической деятельности. При наличии контура обратной связи «этап эксплуатации – этапы проектирования и производства» с достаточными инерционными характеристиками конструктивные дефекты «затухают».

Поскольку на этапе проектирования имеет место широкий круг задач, называемых задачами обеспечения контролепригодности, то техническая диагностика имеет и собственный предмет исследования, с которым связано понятие возможного эксплуатационного дефекта и множества таких дефектов.

Этап производства в рассматриваемом отношении характеризуется технологическими дефектами (каждое отдельное несоответствие проекту). Такие дефекты также не составляют собственный предмет исследования технической диагностики и относятся к области контроля качества продукции. В практической деятельности они конечно учитываются.

Рассмотренные понятия эксплуатационных, конструктивных и технологических дефектов образуют классификацию понятия «дефект» по критерию «внешние причины дефекта».

Рассмотренная классификация дефектов имеет смысл для любого технического объекта. Можно делить множество дефектов и по другим безотносительным к объекту основаниям. Такие основания можно предложить исходя из определения эксплуатационного дефекта. Поскольку дефект имеет пространственную определенность, т.е. принадлежит некоторой физической части объекта (блоку), то *ОД* следует рассматривать как систему.

Далее будем считать, что термин "дефект" имеет смысл только в рамках конструктивного представления *ОД*. В пределах функционального, иерархического и внешнего представлений ему соответствует термин "неисправность". Дефекты проявляются как неисправности. По системному признаку множество возможных дефектов разбивается на два класса: дефекты элементов *ОД* и дефекты связей между элементами (дефекты структуры).

Дефект элемента по отношению к пространственной границе данного элемента существует либо как внешнее, либо как внутреннее явление. При этом элемент *ОД* в рамках конструктивного представления является либо простой (неделимой, невосстанавливаемой) либо сложной (разборной, ремонтируемой) частью целого. Дефект структуры – это, как правило, внешнее явление.

Характеристики временной определенности дефекта позволяют делить множество возможных дефектов также на два класса, а именно: устойчивые дефекты и неустойчивые дефекты. Практика эксплуатации технических объектов свидетельствует о том, что неустойчивые дефекты имеют тенденцию к устойчивости.

Следующими безотносительными основаниями классификации эксплуатационных дефектов являются характер нормы и характер становления дефекта. Дефект как отклонение проявляется в изменении свойств(а) фиксированного элемента или связи элементов *ОД*. Количественные или качественные показатели этих свойств, выражаемые переменными величинами, будем называть *прямыми показателями дефектов (ПП)*. Недопустимую величину изменения *ПП* можно оценивать относительно трех разновидностей нормы:

- верхняя граница – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения  $\delta > a$ , где  $\delta$  – текущая величина *ПП*,  $a$  – заданная верхняя граница *ПП*; становление дефекта происходит в результате возрастания интенсивности; назовем такие дефекты прогрессивными;
- нижняя граница – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения  $\delta < b$ , где  $b$  – заданная нижняя граница *ПП*; становление дефекта происходит в результате убывания интенсивности; назовем такие дефекты регрессивными;
- коридор значений – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения  $\delta > a$  либо  $\delta < b$ ; становление дефекта может происходить либо прогрессивно, либо регрессивно; назовем такие дефекты реверсивными.

Основание классификации – характер становления дефекта – следует понимать в двух отношениях. Это характер изменения *ПП* вообще (монотонное изменение или стабильность) и характер его изменения в момент нарушения нормы. Первое отношение характеризует «накопительные» процессы при эксплуатации *ОД* (непрерывность *ПП*), второе – степень внезапности дефекта (разрывность *ПП*). В рамках этого основания дефекты делят на постепенные и внезапные.

Дефекты в различной степени влияют на функциональные процессы в поточных объектах. Существуют дефекты, которые приводят к остановке или невозможности за-

пуска этих процессов. Объект отказывается функционировать. Такие дефекты называют "отказами".

До сих пор мы анализировали чисто *технический* аспект термина "дефект" – различные недопустимые отклонения объективно существуют в *ОД* и это явление имеет негативный характер. В практической деятельности поиска и устранения дефектов не менее важен *ситуационный* аспект этого термина. Выделим следующие разновидности диагностических ситуаций в данном отношении.

1. Хотя причинами обнаруженного дефекта могут быть несовершенство конструкции *ОД* или технологии его изготовления, нарушение правил эксплуатации или естественное усталостное разрушение, во всех этих случаях для объектов ремонтируемого класса наступает общее следствие - необходимость выполнить один из видов ремонтного воздействия. Материальные и трудовые затраты на поиск и ремонт (технологическая сложность дефекта) определяют экономические последствия дефекта. Технологическая сложность служит еще одним основанием для классификации дефектов. Спектр диагностических ситуаций в отношении технологической сложности дефекта определяют характеристики системы технического обслуживания.

Возможные экономические последствия дефекта определяют также смысл одной из основных идей деятельности по обеспечению ремонтпригодности *ОД*: для «быстро изнашиваемых частей» обеспечить легкий доступ к ним.

2. Затраты на ремонт *ОД* в случае своевременного обнаружения дефекта – это как бы внутренние экономические последствия для системы технического обслуживания. Имеют важный смысл также ситуация, связанная с внешними последствиями как своевременно не обнаруженных, так и обнаруженных, но своевременно не устраненных дефектов.

Если дефект не обнаружен, то *ОД* при взаимодействии с эксплуатационной средой может причинить ей материальный, экологический, социальный или другой ущерб. По степени причиняемого ущерба дефекты будем классифицировать: на дефекты, вызывающие безопасное неработоспособное состояние; дефекты, вызывающие опасное неработоспособное состояние; дефекты, вызывающие аварийное неработоспособное состояние. Ясно, что исправный объект не должен быть опасным для эксплуатационной среды.

Опасное или аварийное проявление не обнаруженного дефекта влечет возможную юридическую ответственность, а в случае обнаруженного, но своевременно не устраненного дефекта такая ответственность, как правило, наступает с необходимостью.

Внешние последствия дефекта расширяют спектр возможных диагностических ситуаций. Например, в результате аварии возникает необходимость диагностирования поврежденных объектов с целью оценки ущерба на их восстановление. В катастрофических ситуациях возникает задача выявления причин катастрофы. Например, является ли техническое состояние пассажирского транспортного средства (какие именно дефекты) причиной катастрофы? Здесь имеет место определенная аналогия с медициной – диагностирование пациента после несчастного случая или ранения в криминальной ситуации.

Рассмотренные разновидности ситуаций отнесем к технико-ситуационному типу – технический дефект по разному проявляется в эксплуатационной среде или в системе технического обслуживания.

3. Существует также чисто ситуационный аспект в термине "дефект" – причинами неработоспособного состояния *ОД* являются ошибки технического персонала или состояния эксплуатационной среды. В данном отношении существует даже понятие поведенческого дефекта (размораживание системы отопления) и ситуационного дефекта

(замерзание конденсата в газовых трубопроводах, неработоспособность автомобиля зимой при использовании летнего дизельного топлива).

4. Есть смысл различать также ситуационно-технический аспект термина "дефект" - в исправном *ОД* в результате аварийного воздействия на него со стороны других объектов появляются дефекты. Такие дефекты принято называть повреждениями.

Известно, что не существует абсолютно полной классификации определенного множества объектов. Поэтому можно предложить и другие основания для классификации. Например, в зависимости от того является ли данный дефект следствием деградиционных процессов или нет, можно говорить о ресурсных и не ресурсных дефектах.

Анализируя термин "дефект", мы параллельно отметили его связь с группой родственных терминов: "неисправность", "отказ" и "повреждение". К этой группе логично отнести и "предвестник дефекта". Он отражает факт существования для постепенных дефектов их предшествующих допустимых изменений.

Упорядоченная последовательность:

(*предвестник дефекта, дефект, неисправность, отказ, повреждение*) отражает условно два разнонаправленных (от предвестника дефекта к повреждению и наоборот) и взаимосвязанных потока причинно-следственных связей в диагностической действительности. В таблицу 1 сведены результаты рассмотренной классификации.

Каждый класс дефектов из таблице имеет свои специфические особенности, выражающиеся в технологии их поиска. В общем случае множество возможных дефектов *неоднородно*, оно может включать дефекты всех перечисленных выше классов. Кроме того, данный дефект может удовлетворять различным критериям классификации. Например, устойчивый ресурсный дефект связи или неустойчивый технологически сложный дефект элемента.

Класс определенного дефекта будем описывать списком его свойств или конъюнкцией одноместных предикатов. Каждый предикат в такой конъюнкции имеет форму  $P_i(d_j)$ , где  $P_i$  – идентификатор индивидуального предиката,  $d_j$  – идентификатор определенного дефекта.

Каковы объективные основания для поиска дефектов в данной диагностической ситуации? Для ответа на этот вопрос будем анализировать взаимоотношения терминов "дефект" и "диагностический показатель".

Каждый дефект определяется и может быть обнаружен своими *ПП*. Дефект и его *ПП* соответствуют одному и тому же структурному уровню организации *ОД* – его конструктивному представлению.

Если по объективным (например, неразборный закрытый блок) или субъективным (например, высокая "стоимость" поиска дефектов по их *ПП*) причинам затруднительно обнаружить дефект по его прямым показателям, то обычно существует возможность сделать это по показателям других структурных представлений. Такая возможность существует благодаря "*транзитным*" свойствам дефекта. Возникнув в одном определенном месте, дефект может проявиться в других местах вплоть до показателей внешнего представления. Количественные или качественные показатели свойств *ОД*, проявляемые на более высоких уровнях его системной организации по сравнению с уровнем данного дефекта, выражаемые переменными величинами, чувствительными к этому дефекту, будем называть *косвенными показателями* данного дефекта (*КП*).

Косвенный показатель, как правило, чувствителен к нескольким дефектам. И наоборот, данный дефект может проявляться в нескольких *КП*.

*ПП* и *КП* до сих пор рассматривались безотносительно к процессу диагностирования. *ПП* или *КП*, используемые субъектом диагностической деятельности для решения диагностических задач, будем называть *диагностическими показателями* (*ДП*).

Таблица 1

## Классификация дефектов в технических объектах

<b>По отношению к этапам жизненного цикла</b>			
<i>Конструктивный</i> $P_1()$	<i>Технологический</i> $P_2()$	<i>Эксплуатационный</i> $P_3()$	
<b>Характеристики временной определенности</b>			
<i>Устойчивый</i> $P_4()$		<i>Неустойчивый</i> $P_5()$	
<b>По системному признаку</b>			
<i>Дефект элемента</i> $P_6()$	<i>Дефект связи</i> $P_7()$	<i>Комплексный</i> $P_8()$	
<b>По отношению к пространственной границе объекта</b>			
<i>Внешний</i> $P_9()$		<i>Внутренний</i> $P_{10}()$	
<b>Характер нормы эксплуатационного дефекта</b>			
<i>Прогрессивный</i> $P_{11}()$	<i>Регрессивный</i> $P_{12}()$	<i>Реверсивный</i> $P_{13}()$	
<b>Характер становления дефекта</b>			
<i>Постепенный</i> $P_{14}()$	<i>Внезапный</i> $P_{15}()$	<i>Комбинированный</i> $P_{16}()$	
<b>Степень влияния на функциональные процессы</b>			
<i>Наличие отказа</i> $P_{17}()$		<i>Отсутствие отказа</i> $P_{18}()$	
<b>Доминирующий аспект</b>			
<i>Технический</i> $P_{19}()$	<i>Технико- ситуационный</i> $P_{20}()$	<i>Ситуационно- технический</i> $P_{21}()$	<i>Ситуационный</i> $P_{22}()$
<b>Технологическая сложность</b>			
<i>Простые</i> $P_{23}()$		<i>Сложные</i> $P_{24}()$	
<b>По отношению к границе жизненного цикла</b>			
<i>Ресурсный</i> $P_{25}()$		<i>Нересурсный</i> $P_{26}()$	
<b>Внешние последствия</b>			
<i>Безопасный</i> $P_{27}()$	<i>Опасный</i> $P_{28}()$	<i>Аварийный</i> $P_{29}()$	
<b>Физический род</b>			
<i>Изменение параметра</i> $P_{30}()$	<i>Обрыв цепи</i> $P_{31}()$	<i>Трещина</i> $P_{32}()$	<i>Другие</i> $P_i()$

Обозначим  $S, P, Q$  – соответственно множества ДП, ПП и КП возможного множества дефектов (ВМД). Тогда могут иметь место следующие три варианта соотношений между ними:

$$S=P;$$

$$\begin{aligned} S &= Q; \\ S &= P^* \cup Q^*, P^* \subset P \text{ и } Q^* \subset Q. \end{aligned} \quad (1)$$

Соотношения (1) свидетельствуют об относительном характере проблемы эквивалентности дефектов. Действительно, первый вариант соответствует отсутствию такой проблемы - все ДП являются ПП, следовательно, все дефекты однозначно различимы. Возможно отсутствие такой проблемы и для двух остальных вариантов тогда, когда имеет место взаимно однозначность дефектов и их КП. Необходимым условием взаимно однозначности для второго варианта является равенство  $|S|=|Q|$ .

Рассмотренные ДП (ПП и КП) играют в диагностических ситуациях роль признаков или "симптомов" дефектов. Кроме них СДД использует еще три вида показателей: характеристики деградационной шкалы (возраст, моторесурс, ремонтная история), характеристики эксплуатационной среды (климат, функциональные нагрузки, аварийные воздействия) и идентификационные показатели ОД (индивидуальные особенности данного экземпляра ОД).

Что является элементами ВМД? В общем случае это такое содержательное описание, фиксирующее *причины, характер и следствия* возможного недопустимого изменения существенных свойств ОД, которое позволяет отличить данный дефект от всех других.

Содержательное описание дефекта будет достаточно полным, если оно позволит обнаружить этот дефект и отличить его от всех других дефектов. В описание включим:

- множество причин, вызвавших недопустимые изменения свойств ОД, и описание его элементов;
- множество ПП, степень изменения и допуски для каждого показателя;
- множество КП и степень изменения каждого показателя;
- идентификатор дефекта.

Множество ПП по определению взаимно однозначно фиксирует данный дефект, но возможность измерения ПП для внутренних дефектов существенно ограничена. Следовательно, разработчики диагностического обеспечения вынуждены использовать косвенные показатели дефектов.

*Множество КП.* Элементы этого множества фиксируют внешнюю определенность данного внутреннего дефекта. Первое основное отличие КП от ПП заключается в том, что они относятся к более высокому уровню структурной организации ОД, чем соответствующий им дефект. В математическом отношении КП дефекта являются зависимыми количественными или качественными переменными величинами. Они изменяются во времени и зависят от математических объектов, описывающих ПП данного дефекта.

Второе основное отличие КП от ПП – это неоднозначность зависимости между дефектами и множествами их косвенных показателей. Такая неоднозначность обуславливает сущность основной проблемы технической диагностики – проблемы эквивалентности дефектов. Эта проблема анализируется в [1]. Цель анализа – поиск оптимального соотношения между множествами ПП, КП и ДП (см. выражение (1)) с учетом технической возможности оценки показателей и экономической целесообразности.

Третье существенное отличие КП от ПП заключается в невозможности в полной мере оценить объем восстановительных работ по устранению данного дефекта, хотя это можно сделать с явно завышенной верхней границей (например, оценить объем как объем затрат на замену дефектного блока). В качестве характерного примера КП могут служить физические параметры сопутствующих полей (тепловое, шумовое, вибрационное и другие поля).

Признаки дефектов в соответствии с принятой концепцией структурной организации поточных объектов распределяются по различным системным представлениям ОД. Учитывая это, формальное определение термина "диагностические показатели данного экземпляра ОД" зададим системой фреймов, которая приведена на рис. 1.

**Фрейм** ДП\_ ОД( $X$ ):

Признаки\_дефектов (Фрейм МНОЖЕСТВО\_ПРИЗНАКОВ( $X$ ));

Эксплуатационные (Фрейм КЛИМАТ( $X$ ), Фрейм НАГРУЗКА( $X$ ),

Фрейм АВАРИИ( $X$ )).

**Фрейм** МНОЖЕСТВО\_ПРИЗНАКОВ( $X$ ):

Элемент\_ПП (СПИСОК(Фрейм ПП( $X$ )));

Элемент\_КП (СПИСОК(Фрейм КП( $X$ ))).

**Фрейм** ПП( $X$ ):

Идентификатор (ЗАПРОС( $x$ ));

Метод\_оценки (Фрейм ПРОВЕРКА( $x, y$ ));

[Возможный\_результат (Фрейм ОВЗ( $x$ )).]

**Фрейм** ОВЗ( $x$ ):

ОВЗ\_простая (Фрейм КОЛИЧЕСТВО( $x$ ) | Фрейм КАЧЕСТВО( $x$ ));

ОВЗ\_сложная (Фрейм СТРУКТУРА( $x$ )).

**Фрейм** КОЛИЧЕСТВО( $x$ ):

Значение (<число>);

[Нижняя\_граница (<число>)];

[Верхняя\_граница (<число>)];

[Вероятность (<число>)];

[Связь\_значений (взаимоисключающее | не mutually exclusive)];

[Время (статическое | динамическое)].

**Фрейм** КАЧЕСТВО( $x$ ):

Значение (<строка>);

[Вероятность (<число>)];

[Связь\_значений (взаимоисключающее | не mutually exclusive)];

[Время (статическое | динамическое)].

**Фрейм** СТРУКТУРА( $x$ ):

Характеристики (СПИСОК(Фрейм ОВЗ( $x$ )));

[Ограничения (СПИСОК(<строка>))].

**Фрейм** КП( $X$ ):

Представление (внешнее | иерархическое | функциональное);

Идентификатор (ЗАПРОС( $x$ ));

Метод\_оценки (Фрейм ПРОВЕРКА( $x, y$ ));

[Возможный\_результат (Фрейм ОВЗ( $x$ )).]

Рис. 1. Фрагмент схемы концептуальной диагностической модели (диагностические показатели)



На рис. 1 содержание фреймов *ПРОВЕРКА(x)*, *КЛИМАТ(X)*, *НАГРУЗКА(X)*, *АВАРИИ(X)* не раскрывается. Они должны описывать характеристики надсистемы в **фреймах СРЕДА** и **СТО**, которые в данной работе не рассматриваются [2].

В различных источниках используются различные нотации понятия "фрейм". В данной работе фрейм представляется формальным предложением следующего вида:

**Фрейм**  $\langle$ ИМЯ\_ФРЕЙМА[( $\langle$ параметры $\rangle$ )] $\rangle$ :

$\langle$ Имя\_слота1 $\rangle$  ( $\langle$ значение\_слота1 $\rangle$ );  
 [  $\langle$ Имя\_слота2 $\rangle$  ( $\langle$ значение\_слота2 $\rangle$ ) ];  
 ...  
 [  $\langle$ Имя\_слотаN $\rangle$  ( $\langle$ значение\_слотаN $\rangle$ ) ].

$\langle$ значение\_слота1 $\rangle ::= (\emptyset \mid \text{Фрейм } \langle \text{ИМЯ\_ФРЕЙМА}[(\langle \text{параметры} \rangle)] \rangle$   
 [  $\text{Фрейм } \langle \text{ИМЯ\_ФРЕЙМА}[(\langle \text{параметры} \rangle)] \rangle ] \dots \mid$   
 $\langle \text{ФУНКЦИЯ}[(\langle \text{параметры} \rangle)] \rangle [ \langle \text{ФУНКЦИЯ}[(\langle \text{параметры} \rangle)] \rangle ] \dots \mid$   
 $\langle \text{значение} \rangle [ \langle \text{значение} \rangle ] \dots )$

В качестве  $\langle$ значение $\rangle$  можно использовать константы различных типов и размеров,  $\langle$ параметры $\rangle$ - список идентификаторов переменных. Квадратные скобки указывают на необязательный элемент, символ  $\mid$  определяет альтернативный выбор,  $\emptyset$  неопределенное значение. Произвольное число элементов отмечается многоточием.

## Список литературы

- [1] Воронин В.В. Диагностирование технических объектов. - Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. - 188с.
- [2] Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10т. – М.: Машиностроение, 1987. Т9. Техническая диагностика | Под общ. ред. Клюева В.В., Пархоменко П.П. – 352 с.

E-mail: fkon@ais.khstu.ru