



УДК 004.02:378.146

В. И. Фрейман

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Применение методов и процедур технической диагностики для контроля и оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате

Предлагается использовать некоторые положения аппарата и методов технической диагностики для контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате. Это позволит создать формализованное представление компонентной структуры компетенции, а также реализовать процедуры обнаружения и поиска компетенций и их составляющих с недостаточным уровнем освоения.

Техническая диагностика, тестирование, алгоритмы поиска и обнаружения дефектов, таблица диагностирования

Переход системы высшего образования на Федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) привело, в частности, к изменению ориентации результатов обучения [1]. Речь идет о замене «знаниевой парадигмы» на «компетентностный подход» к процессу и результатам образовательной деятельности. Таким образом, объектом формирования и контроля выбрана *компетенция* – способность (готовность) выпускника к эффективному решению профессиональных задач в сочетании с приобретением (воспитанием, развитием) социально-значимых личностных качеств.

Компетенция как объект формирования и контроля представляет слишком крупную структуру, поскольку формируется, как правило, несколькими дисциплинами и разделами. Поэтому компетенция может быть декомпозирована на части: *дисциплинарные компетенции* (ДК); компетенции, состоящие из *компонентов* «знания», «умения», «владения» (ЗУВ), каждый из которых может быть представлен совокупностью *элементов дисциплинарной компетенции* (ЭДК), составляющих *компонентную структуру компетенции*. Далее декомпозиция не проводится, поэтому ЭДК являются атомарными объектами формирования и контроля.

Для системы высшего профессионального образования России задачи разработки и реализации методов контроля и оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате, являются малоисследованными вследствие пока недостаточного срока апробирования, сложности объекта контроля, слабой формализуемости условий решения и т. п. Научно-методические публикации по указанной проблематике в отечественной и зарубежной печати имеют, как правило, обобщенный характер. Недостаточное отражение имеют и вопросы взаимосвязанного выбора способов формирования и средств (процедур) контроля уровня освоения компетенций и их составляющих, практические рекомендации, анализ и учет ограничений и т. д. Поэтому решение поставленных задач для системы ВПО России актуально.

Основным направлением решения указанных задач является разработка методологической основы контроля и оценивания результатов освоения ООП на базе системного и компетентностного подходов с привлечением соответствующего математического и алгоритмического аппарата. Предлагается использование некоторых положений аппарата и процедур технической диагностики [2]–[5] с адаптацией их к рассматриваемой предметной области – алгоритмам контроля и

оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих [6]. При этом должна проводиться не однозначная портиция, а использование основных принципов и алгоритмов с обязательным учетом сложных (динамических) свойств субъекта контроля – студента.

Целью этой статьи является применение некоторых положений аппарата и процедур технической диагностики для контроля и оценки результатов обучения, сформулированных в компетентностном формате.

Формализованное представление компонентной структуры компетенции. Сформулируем основные задачи диагностики применительно к контролю ЭДК как составляющих компонентной структуры компетенции.

1. Построение (синтез) проверяющих (тестов обнаружения) либо локализирующих тестов (тестов поиска).

2. Определение (выбор) процедуры (алгоритмов) диагностирования.

3. Проведение диагностического эксперимента (тестирования).

4. Получение результатов проверки или поиска в виде таблиц функций неисправности (ТФН) или их аналогов [2].

5. Дешифрация результатов.

6. Определение уровня освоения оцениваемых ЭДК путем сравнения с заданными пороговыми значениями.

7. Локализация с требуемой глубиной и точностью недостаточно освоенных объектов контроля.

8. Выработка списка корректирующих мероприятий.

Из приведенного полного перечня в статье рассматриваются подходы к построению тестов обнаружения и поиска, разработка безусловных и условных алгоритмов поиска, а также выбор и анализ формата специфической ТФН.

При разработке соответствующего раздела рабочей программы дисциплины преподаватель задает компонентную структуру дисциплинарной компетенции и средства контроля через виды и оцениваемые результаты аудиторной и самостоятельной работы студентов. В результате описывается размерность и структура модели объекта диагноза. Количественные параметры модели определяются содержанием дисциплины и регламентируются ограничениями, принятыми в вузе. Например, в

Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) рекомендуется придерживаться следующих ограничений [7]:

– элементов «знать» в одной дисциплинарной компетенции: 3–4;

– элементов «уметь»: 2–3;

– элементов «владеть»: 1–2;

– дисциплинарных компетенций: 2–4.

Практика такова, что компонентная структура каждой дисциплинарной компетенции задается при разработке паспортов компетенций и, как правило, не учитывает количество и номенклатуру видов аудиторной (АРС) и самостоятельной (СРС) работы студентов и средства контроля, выбираемые создателем рабочей программы дисциплины. При этом не возникает необходимости строить «классическую» ТФН [2], поскольку диагностические тесты уже заданы средствами контроля, а диагностируемые объекты – компонентной структурой каждой закрепленной за учебной дисциплиной частью компетенции. Однако следует подчеркнуть, что для обеспечения эффективной процедуры контроля важно предъявлять *совместные требования* и к тестам (обнаружения и поиска), и к компонентной структуре самих дисциплинарных компетенций (совокупности ЭДК). Поэтому, по сути, речь идет о техническом задании на *совместное построение* и диагностических тестов, и ЭДК. Это отразится на их свойствах, внешнем виде таблицы и процедурах диагностирования. Недостаточный опыт создания рабочих программ дисциплин в компетентностном формате пока еще не позволяет активно использовать указанный механизм, в том числе из-за небольшого количества исследований в указанном направлении. Далее в статье будут даны рекомендации по выбору количества и свойств тестов (обнаружения и поиска) с учетом подбора компонентной структуры дисциплинарной компетенции, которые позволят эффективно реализовать и безусловную, и условную процедуры диагностирования.

В качестве аналога таблицы функций неисправности предложено использовать *таблицу диагностирования* (соответствия проверяемых ЭДК и средств контроля – тестов), общая структура которой представлена в [7]. Таблица диагностирования определяет условия различимости дефектов, т. е. недостаточности уровня освоения ЭДК. При этом возникают вопросы, связанные со способом заполнения таблиц диагностирования, характером распределения средств контроля по

проверяемым элементам и т. д. Указанные проблемы связаны с эффективностью реализации процедуры и точностью дешифрации результатов диагностирования. Поэтому далее подробно рассмотрим некоторые варианты составления таблиц соответствия при использовании безусловного алгоритма поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения (нЭДК).

За каждым ЭДК закреплены соответствующие средства контроля (тесты знаний, оценивание докладов, рефератов, домашних заданий, лабораторных работ, курсовых проектов и т. д.). Удобно и наглядно представить закрепление средств контроля за ЭДК в виде таблицы (матрицы) диагностирования [8], элементами которой являются символы, характеризующие участие данного теста в контроле соответствующего элемента.

При рассмотрении таблицы диагностирования ЭДК примем, что для каждого компонента компетенций (знания, умения, владения) будет построена отдельная таблица, что означает независимость средств контроля (тестов) для каждого компонента. Указанное допущение в общем случае может привести к избыточному количеству проверочных тестовых заданий, однако для выработки общего подхода к решению поставленных задач оно представляется целесообразным. В дальнейшем возможна минимизация количества тестовых заданий за счет снятия принятого допущения, т. е. совместного использования тестов и таблиц соответствий для разных компонентов компетенций (знаний, умений, владений).

Проектирование таблиц соответствия совместно с выбранной процедурой обнаружения и поиска нЭДК. В общем случае таблица диагностирования содержит и тесты обнаружения, и тесты поиска [9].

Тест обнаружения более компактен, поскольку должен дать ответ на вопрос об освоении или недостаточном освоении всех контролируемых им элементов без детализации результата по каждому элементу. Поэтому в предельном случае один тест обнаружения должен покрывать все элементы (например, принадлежащие компоненту одного типа с учетом допущений, введенных выше). После реализации такого теста и анализа результата проводится детализация уровня освоения каждого элемента за счет дальнейшей проверки тестами поиска.

Наиболее простым условным алгоритмом поиска в допущении о равнозначности локализуемых элементов, дающим верхнюю оценку параметров алгоритмов поиска, является *дихотомия*.

При дихотомии за счет деления множества подозреваемых в недостаточном уровне освоения элементов на два примерно одинаковых подмножества на каждом шаге происходит их последовательная локализация.

Предположим, что тест обнаружения один и он контролирует все h ЭДК. Тогда с использованием дихотомии тесты поиска на первом шаге должны контролировать $\lceil h/2 \rceil$ элементов ($\lceil \cdot \rceil$ – операция округления до ближайшего большего значения), на втором – $\lceil h/4 \rceil$, на i -м – $\lceil h/2^i \rceil$. Таким образом, *верхняя граница количества шагов поиска* определяется как

$$N_{\text{ш. max}} = \lceil \log_2 h \rceil. \quad (1)$$

Тогда количество тестов поиска на i -м шаге ($i \in [1; N_{\text{ш. max}} - 1]$) равно

$$N_{\text{T}}^i = \lceil 2^i \rceil, \quad (2)$$

а на последнем шаге ($i = N_{\text{ш. max}}$)

$$N_{\text{T}}^i = 2(h - 2^{i-1}). \quad (3)$$

Соответственно, верхняя оценка количества тестов поиска равна

$$N_{\text{T. max}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ш. max}}} N_{\text{T}}^i. \quad (4)$$

На i -м шаге количество контролируемых тестом элементов находится в диапазоне $\lceil h/2^i \rceil - 1 \dots \lceil h/2^{i-1} \rceil$.

Верхняя оценка показывает максимальное количество шагов проверки и тестов поиска, которое необходимо сформировать для локализации элемента недостаточного уровня освоения с заданной точностью. При этом количество тестов на каждом шаге увеличивается в два раза относительно предыдущего. При использовании условной процедуры диагностирования это эффективно, если расположить тесты по мере значимости контролируемых ими ЭДК для освоения других ЭДК.

При увеличении количества тестов обнаружения число шагов поиска и, соответственно, тестов поиска уменьшается. Причем, если увеличение числа тестов обнаружения подчиняется линейной зависимости, то число шагов и тестов поиска уменьшается в показательной зависимости.

При реализации указанного подхода эффективным представляется переход от безусловной процедуры поиска недостаточно освоенного эле-

мента к условной. Условием перехода на следующий шаг поиска является положительный результат поиска на текущем шаге. При этом необходимо учитывать имеющиеся ограничения (график учебного процесса, возможность использования материально-технических и кадровых ресурсов организации, индивидуализацию для каждого студента траектории выполнения мероприятий контроля и т. д.).

Важно отметить, что при выборе разбиений на каждом шаге предложенной процедуры условного поиска, принцип дихотомии целесообразно применять (если это реализуемо) только в предположении, что все ЭДК равновероятны (равнозначны, одинаково важны, одинаково сложны для восприятия и оцениваются приблизительно одинаковым числом неудовлетворительных оценок). Это еще раз свидетельствует о необходимости совместного проектирования компонентной структуры и средств контроля, что весьма затруднено и поэтому мало применимо на практике. Однако если иметь четкие рекомендации, связывающие количество и содержание средств контроля и компонентную структуру компетенции, можно реализовать процедуры обнаружения и поиска нЭДК с близким к минимальному количеством шагов, длиной тестов, использованием ресурсов и приемлемой точностью.

Нижняя оценка количества шагов поиска $N_{ш. \min} = 1$, а нижняя оценка количества тестов поиска $N_{т. \min} = h$ (количество ЭДК). При этом за один шаг необходимо подать все h тестов. Если тесты контролируют по несколько ЭДК, то их

число может быть уменьшено при обязательной последующей дешифрации результатов теста для каждого контролируемого им элемента, что значительно усложняет процедуру поиска.

Пример. Пусть количество ЭДК $h = 9$, а тест обнаружения один и покрывает все элементы.

Выполним необходимые расчеты для верхней оценки количественных параметров тестов поиска согласно (1) – (4):

$$N_{ш. \max} = \lceil \log_2 h \rceil = \lceil \log_2 9 \rceil = 4;$$

$$N_{т. \max} = \sum_{i=1}^{N_{ш. \max}} N_{т.}^i = \sum_{i=1}^{N_{ш. \max}-1} 2^i + 2(h - 2^{N_{ш. \max}-1}) =$$

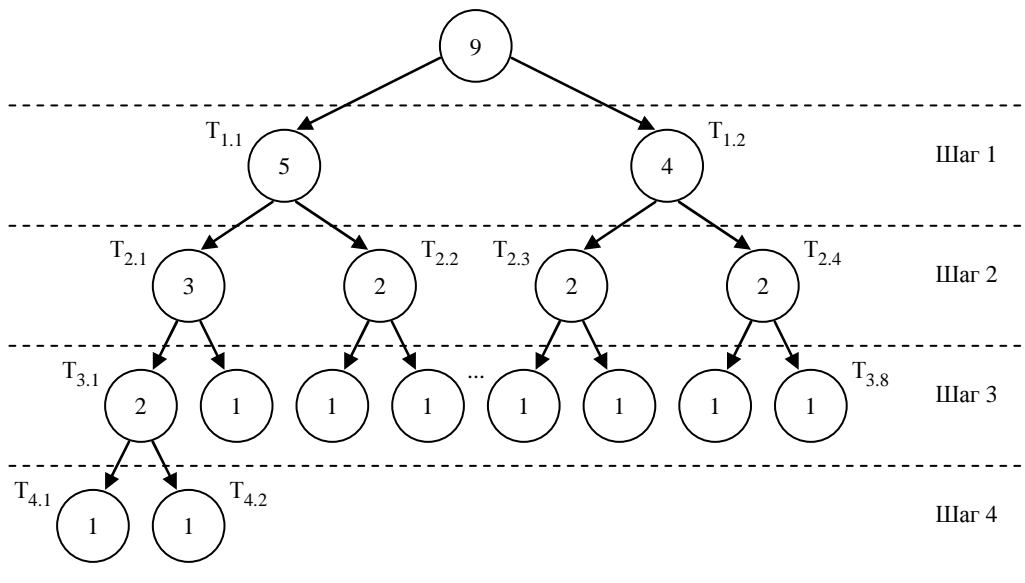
$$= \sum_{i=1}^{4-1} 2^i + 2(h - 2^{4-1}) = 2 + 4 + 8 + 2(9 - 8) = 16.$$

Выполним необходимые расчеты для нижней оценки количественных параметров тестов поиска:

$$N_{ш. \min} = 1, N_{т. \min} = 9.$$

На рисунке приведена графическая интерпретация условного алгоритма поиска, использующего разбиения на каждом шаге, основанная на принципе дихотомии, применительно к определению количества тестов и контролируемых ими элементов с недостаточным уровнем освоения для рассматриваемого примера ($h = 9$).

На первом шаге полное множество элементов делится на 2 подмножества: из 5 элементов $\{\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5\}$ и 4 элементов $\{\Theta_6, \Theta_7, \Theta_8, \Theta_9\}$ (можно сделать разбиение на 4 и 5 элементов, поскольку в данном примере принято равновероятное (равнозначное) распределение ЭДК). Они



контролируются тестами поиска $T_{1,1}$ и $T_{1,2}$ соответственно. Далее первое подмножество разбивается на $\{\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3\}$ и $\{\Theta_4, \Theta_5\}$, второе – на $\{\Theta_6, \Theta_7\}$ и $\{\Theta_8, \Theta_9\}$ и т. д. Разбиение заканчивается на построении простых тестов, контролирующих только один элемент.

Безусловная процедура диагностирования реализуется для определения детального уровня освоения каждого контролируемого ЭДК и в простейшем случае может потребовать подачу h простых тестов или меньшего количества составных тестов.

Условная процедура поиска реализуется по приведенному графу, а условием перехода на следующий шаг является, например, отрицательный либо нуждающийся в уточнении результат теста текущего шага.

Структуры таблиц диагностирования для верхней и нижней оценок приведены в табл. 1 и 2.

Очевидно, что тесты каждого шага должны учитывать свойства тех элементов, которые они контролируют. Это накладывает определенные, весьма жесткие требования и на вид, и содержание тестов, и на количество и формулировки ЭДК. По результатам тестов определяется уро-

вень освоения каждого ЭДК с использованием предложенного интегродифференциального критерия (ИДК) [8].

Структуру тестов поиска можно оптимизировать (минимизировать), введя понятия «простой тест» и «составной тест».

Определение 1. Назовем тест простым, если он контролирует один или несколько ЭДК, но без детализации (дешифрации) результатов по каждому из них (результат тестирования приписывается каждому из контролируемых ЭДК).

Определение 2. Назовем тест составным, если он контролирует несколько ЭДК с детализацией (дешифрацией) результатов по каждому.

Таким образом, составной тест по своему определению может быть сконструирован из простых тестов. При этом не требуется сложного алгоритма дешифрации, поскольку после тестирования явно известны результаты всех составляющих его простых тестов и по ним вычисляются результаты проверки для всех контролируемых составным тестом элементов. Составной тест может структурно представлять собой один «монокристаллический» тест, т. е. он не составлен из простых, но при этом контролирует несколько ЭДК (особенно такие тесты могут иметь место для провер-

Таблица 1

	T_0	$T_{1,1}$	$T_{1,2}$	$T_{2,1}$	$T_{2,2}$	$T_{2,3}$	$T_{2,4}$	$T_{3,1}$	$T_{3,2}$	$T_{3,3}$	$T_{3,4}$	$T_{3,5}$	$T_{3,6}$	$T_{3,7}$	$T_{3,8}$	$T_{4,1}$	$T_{4,2}$
Θ_1	*	*		*				*								*	
Θ_2	*	*		*				*									*
Θ_3	*	*		*					*								
Θ_4	*	*			*					*							
Θ_5	*	*			*						*						
Θ_6	*		*			*						*					
Θ_7	*		*			*							*				
Θ_8	*		*				*							*			
Θ_9	*		*				*								*		
		Шаг 1		Шаг 2				Шаг 3						Шаг 4			

Таблица 2

	T_0	$T_{1,1}$	$T_{1,2}$	$T_{1,3}$	$T_{1,4}$	$T_{1,5}$	$T_{1,6}$	$T_{1,7}$	$T_{1,8}$	$T_{1,9}$
Θ_1	*	*								
Θ_2	*		*							
Θ_3	*			*						
Θ_4	*				*					
Θ_5	*					*				
Θ_6	*						*			
Θ_7	*							*		
Θ_8	*								*	
Θ_9										*
		Шаг 1								

ки умений и владений). Однако применение такого вида составного теста потребует более сложной процедуры дешифрации результатов по каждому из контролируемых элементов с целью детализации уровня его освоения.

Тесты обнаружения представляют собой простые тесты, поскольку они дают общую оценку (как правило, по двухуровневой шкале): освоены или не освоены все контролируемые тестом элементы.

Тесты поиска в общем случае могут также представлять собой простые тесты, поскольку при рассматриваемом подходе (дихотомии) для выявления нЭДК необходимо на каждом шаге сужать подмножество подозреваемых элементов. Для уменьшения числа тестов поиска, сопровождаемого уменьшением числа шагов поиска, возможно построение составных тестов поиска путем объединения нескольких простых тестов (например, тесты $T_{4,1}$, $T_{4,2}$ или тесты $T_{3,2} - T_{3,8}$ из табл. 1).

Простые тесты обычно эффективны при проверке элементов «знать» как самостоятельного объекта контроля, так и для входного контроля при реализации средств формирования и контроля других компонентов компетенций (умений и владений). Составные тесты знаний достаточно эффективно строятся из простых тестов (например, объединением нескольких групп вопросов). Тесты элементов «уметь» и «владеть» как наиболее сложных компонентов компетенций должны в большинстве своем быть составными, поскольку они, как правило, контролируют несколько элементов разного типа в составе ЭДК указанных компонентов.

Для теста важным показателем является его *экономичность*, которая в зависимости от типа теста (обнаружения или поиска) подчеркивает его разные свойства. Экономичность теста обнаружения определяется длиной теста, т. е. числом тестовых наборов, обнаруживающих заданный список дефектов, и заключается в степени охвата элементов определенного типа, например, одного из ЗУВ. Максимальная экономичность достигается при охвате тестом всех ЭДК определенного типа (считаем, что тесты обнаружения – простые). Экономичность теста поиска заключается в

соотношении количества контролируемых элементов и эффективности (длина теста, полнота, глубина и точность локализации, число шагов (быстродействие), алгоритм диагностирования, процедура дешифрации результатов и т. п.), считая, что тесты поиска могут быть и простые, и составные.

Проверка диагностических свойств тестов осуществляется моделированием и прогнозированием, что представляет собой отдельное направление исследования. Указанные задачи в полном объеме для большеразмерных таблиц эффективно и качественно могут быть решены только в рамках автоматизированной информационной системы. Предлагаемые в статье решения поставленных частных задач находятся на этапе частичной апробации при разработке и внедрении методического и информационного обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества учебного процесса в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Сформулируем основные результаты работы.

1. Предложено применение аппарата и методов технической диагностики в качестве методологической основы для разработки алгоритмов диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих, указаны условия использования и ограничения.

2. Проиллюстрирован подход к формализованному представлению компонентной структуры компетенции и средств контроля (проверяющих тестов) ее составляющих в таблице диагностирования.

3. Дана классификация проверяющих тестов, показаны области и условия их применения в безусловных и условных алгоритмах поиска нЭДК, что позволяет организовать процедуру диагностирования в увязке с проектируемой компонентной структурой компетенции.

4. Предложены процедуры безусловного и условного поиска, показаны условия их применения, определены нижняя и верхняя оценки свойств алгоритмов поиска нЭДК (количество шагов), приведены иллюстрирующие примеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные тенденции развития высшего образования: глобальные и Болонские измерения / под ред. проф. В. И. Байденко; Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов. М., 2010.

2. Основы технической диагностики: в 2 кн. Кн. I: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В. В. Карибский и др.; под ред. П. П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976.

3. Киселев В. В., Кон Е. Л., Шеховцов О. И. Автоматизация поиска дефектов в цифровых устройствах. Л.: Энергоатомиздат, 1986.

4. Фрейман В. И. Разработка и исследование методов синтеза импульсных тестов для автоматизации проверки КМОП СБИС на этапах изготовления и эксплуатации телекоммуникационного оборудования: дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2000.

5. Кон Е. Л., Фрейман В. И. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2012. № 4. С. 231–241.

6. Подход к формированию компонентной структуры компетенций / Е. Л. Кон, В. И. Фрейман, А. А. Южаков, Е. М. Кон // Высш. образ. в России. 2013. № 7. С. 37–41.

7. Кон Е. Л., Фрейман В. И., Южаков А. А. К вопросу о контроле элементов дисциплинарных компетенций в рамках основной образовательной программы (на примере технических направлений подготовки) // Открытое образование. 2013. № 3. С. 12–19.

8. Кон Е. Л., Фрейман В. И., Южаков А. А. Применение интегродифференциального критерия оценки освоения компонентов компетенций // Образование и наука. 2013. № 6. С. 47–63.

9. Кон Е. Л., Фрейман В. И., Южаков А. А. Реализация алгоритмов дешифрации результатов безусловного и условного поиска при проверке уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций // Образование и наука. 2013. № 10. С. 17–36.

V. I. Freyman

Perm national research polytechnical university

APPLICATION OF THE TECHNICAL DIAGNOSTICS METHODS AND PROCEDURES TO MONITOR AND ASSESS STUDYING RESULTS, SPECIFIED IN THE COMPETENCY FORMAT

It is proposed to use some approaches and methods of technical diagnostics for monitoring studying results, specified in the competency format. This will perform a formalized presentation component structure of competence, and to implement procedures for detecting and searching of competencies and their constituents with an insufficient level of development.

Technical diagnostic, testing, algorithms of defects searching and detecting, diagnostic table