

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

На правах рукописи



ФРЕЙМАН Владимир Исаакович

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ**

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
д-р техн. наук, профессор
Южаков Александр Анатольевич

Пермь
2016

Оглавление

Введение.....	10
Глава 1. Методы стандартизации и менеджмента качества продукции на основе управления результативностью подготовки специалистов.....	25
1.1. Стандарты и требования к управлению качеством подготовки специалистов на этапах жизненного цикла продукции.....	25
1.2. Постановка задачи и структура диссертационного исследования	33
1.3. Модели и методы оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов.....	39
1.3.1. Требования стандартов к качеству продукции и результативности подготовки	40
1.3.2. Модель оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов	41
1.3.3. Метод расчета степеней влияния показателей результативности подготовки специалистов на показатели качества продукции	43
1.3.4. Метод оценки соответствия влияния показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов	45
1.4. Модели и методы оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов	46
1.4.1. Модели компетентности как основного показателя результативности подготовки специалистов	46
1.4.2. Анализ соответствия требований профессиональных и образовательных стандартов	48
1.4.3. Метод установления соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов	51
1.5. Создание методологии проектирования и реализации программ подготовки специалистов	52

1.5.1. Модель процесса подготовки – многоконтурная и многосвязная система управления	53
1.5.2. Требования к вектору развития направления подготовки	60
1.5.3. Структурированное представление квалификационных требований работодателей.....	61
1.5.4. Методика разработки программ профильных дисциплин.....	62
1.5.5. Подход к оценке компетентности обучаемых по программе подготовки специалистов.....	63
1.6. Выводы по главе	64
Глава 2. Управление качеством программ подготовки специалистов на этапе проектирования и документирования информации.....	67
2.1. Разработка и исследование модели управления и контроля качества на разных стадиях реализации программ подготовки специалистов	67
2.1.1. Формирование компетенций как основных результатов теоретического обучения по программе подготовки.....	69
2.1.2. Контроль и оценивание результатов обучения	71
2.1.3. Контроль и оценивание качества освоения программы подготовки по результатам итоговой аттестации	75
2.1.4. Классификация средств контроля (диагностических тестов).....	76
2.1.5. Классификация способов определения интегральных оценок результатов реализации программ подготовки	79
2.2. Управление качеством программы при совместном проектировании компетентностной модели и учебного плана	84
2.2.1. Особенности проектирования компетентностной модели	84
2.2.2. Алгоритм совместного проектирования компетентностной модели и учебного плана	89
2.3. Управление качеством программы при проектировании компонентной структуры компетенции.....	94
2.3.1. Классификация и формализация подходов к формированию компонентной структуры дисциплинарной части компетенции.....	94

2.3.2. Иерархический подход к контролю и оцениванию уровня компетентности	106
2.4. Выводы по главе	113
Глава 3. Математические и информационные модели количественной оценки результативности подготовки	115
3.1. Анализ проблемы количественной оценки результативности на разных стадиях реализации программ подготовки	115
3.1.1. Анализ и обоснование выбора критерия оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих	115
3.1.2. Анализ подходов к оцениванию элементов компетенций по участвующим в их формировании видам работы обучаемых	122
3.1.3. Разработка рекомендаций по формированию заданий для оценивания	126
3.2. Разработка и реализация процедур контроля и оценивания уровня компетентности специалистов	129
3.3. Обработка и дешифрация результатов контроля составляющих компонентной структуры компетенций	132
3.3.1. Классификация способов дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования	133
3.3.2. Формализованное представление результатов тестового диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих	136
3.3.3. Разработка алгоритма реализации тестового диагностирования уровня освоения ЭДК	139
3.3.4. Разработка и анализ способов дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения ЭДК	140
3.4. Анализ рисков ошибочного принятия решения при оценке результативности подготовки	143
3.4.1. Применение некоторых положений математической статистики для определения условий компенсации	146

3.4.2. Анализ возможности компенсации дифференциальных оценок интегральным результатом	148
3.4.3. Формализованное определение рисков возникновения компенсации	152
3.4.4. Определение и анализ рисков возникновения компенсации для недвоичных шкал оценивания.....	156
3.4.5. Оценка вероятности рисков возникновения компенсации.....	160
3.5. Применение многоуровневых шкал оценивания результативности подготовки.....	166
3.5.1. Анализ достоинств, недостатков и области целесообразного применения многоуровневых шкал оценивания.....	166
3.5.2. Выбор шкалы для оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате.....	170
3.5.3. Определение вероятностных характеристик свойств многоуровневых шкал.....	174
3.6. Применение нечеткой логики для определения интегральных оценок результативности подготовки	177
3.6.1. Аналитическая модель решения задачи при использовании методов нечеткой логики	178
3.6.2. Моделирование принятия решения для разных шкалах оценивания.....	180
3.6.3. Преимущества применения нечеткой логики	182
3.7. Выводы по главе	184
Глава 4. Разработка методики определения количественной оценки результативности на разных стадиях подготовки	187
4.1. Разработка методики определения количественной оценки результативности подготовки в рамках модуля программы	187
4.1.1. Модель формирования и контроля ЭДК.....	187
4.1.2. Применение интегро-дифференциального критерия для оценки элементов дифференциальных компетенций	192

4.1.3. Разработка методики расчета весовых коэффициентов интегро-дифференциальной оценки уровня освоения элементов дисциплинарной компетенции	193
4.2. Разработка методики анализа количественной оценки результатов подготовки, представленных в компетентностном формате.....	199
4.2.1. Анализ обобщенной структуры АИДКО уровня освоения компетенций и их составляющих.....	200
4.2.2. Формализованная оценка влияния дифференциальной составляющей (результата теста) на интегральный результат, характеризующий уровень освоения ЭДК.....	204
4.3. Разработка методики применения многоуровневых шкал оценивания результативности подготовки	209
4.3.1. Общие рекомендации и выводы по выбору шкалы оценивания	209
4.3.2. Пример расчета интегральной оценки на одном из видов аттестационных испытаний с использованием алгебраических методов расчета.....	212
4.3.3. Пример расчета интегральной оценки на одном из видов аттестационных испытаний с использованием методов расчета, основанных на нечеткой логике.....	216
4.4. Выводы по главе	220
Глава 5. Квалиметрические модели, процедуры и алгоритмы контроля результативности подготовки, построенные на основе аппарата и методов технической диагностики	222
5.1. Разработка квалиметрических методов, процедур и алгоритмов диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики.....	223
5.1.1. Применение положений и аппарата технической диагностики к решению задач контроля и оценки результатов освоения программ подготовки специалистов.....	223

5.1.2. Проектирование таблиц диагностирования совместно с выбранной процедурой обнаружения и поиска нЭДК	229
5.1.3. Классификация алгоритмов обнаружения и поиска.....	236
5.1.4. Разработка и исследование алгоритмов безусловного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения	239
5.1.5. Разработка, реализация и верификация алгоритма условного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения ...	247
5.2. Разработка и применение методики контролепригодного проектирования компонентной структуры дисциплинарной компетенции	265
5.2.1. Проектирование контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции	266
5.2.2. Анализ вариантов построения таблиц диагностирования элементов дисциплинарных компетенций	271
5.2.3. Разработка общей методики формирования контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции	276
5.3. Выводы по главе	280
Глава 6. Квалиметрические методы контроля, дешифрации и оценки результативности подготовки, построенные на основе аппарата математической логики	282
6.1. Разработка, верификация и применение квалиметрического метода оценки уровня компетентности, построенного на основе математического аппарата алгебраической логики	282
6.1.1. Анализ и количественная оценка результатов реализации образовательных программ с использованием диагностических тестов	282
6.1.2. Разработка и применение метода анализа логических условий для дешифрации результатов диагностического теста уровня освоения элементов компетенций	293
6.1.3. Алгоритм дешифрации результатов диагностических тестов уровня освоения элементов компетенций.....	301

6.2. Разработка, верификация и применение квалиметрического метода оценки уровня компетентности, построенного на основе математического аппарата нечеткой логики.....	315
6.2.1. Применение аппарата нечеткой логики для контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате.....	315
6.2.2. Разработка метода дешифрации результатов диагностирования с использованием нечеткой логики	321
6.3. Выводы по главе	327
Глава 7. Информатизация и автоматизация интегрированной системы управления качеством с использованием разработанных моделей, методов и алгоритмов.....	329
7.1. Проектирование и апробация информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки специалистов.....	330
7.1.1. Общая структура, требования и задачи проектируемой автоматизированной системы	330
7.1.2. Автоматизация разработки компетентностных моделей.....	335
7.1.3. Автоматизация проектирования учебных планов	341
7.2. Проектирование и внедрение стандартов системы менеджмента качества университета	345
7.2.1. Разработка стандарта на построение ФОС государственного экзамена	346
7.2.2. Проектирование самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта университета по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».....	347
7.2.3. Проектирование стандарта университета по разработке сетевых образовательных программ.....	351
7.3. Выводы по главе	353
Заключение.....	355
Список литературы.....	359

Приложение А.....	383
Приложение Б.....	389
Приложение В.....	393
Приложение Г.....	398

Введение

Актуальность темы исследования. Отрасли современной экономики характеризуются активной динамикой роста и диверсификации, для которой характерна быстрая смена технологий, особенно информационных, телекоммуникационных, проектных, сервисных, эксплуатационных, что создает и поддерживает высокую конкуренцию среди участников рынка. Для обеспечения *конкурентоспособности* предприятий и организаций, особенно в условиях экономической нестабильности, импортозамещения, повышения значимости наукоемких технологий и производств, необходимо постоянно поддерживать высокое *качество выпускаемой продукции*, при этом находя возможности для его улучшения *на всех этапах жизненного цикла*: планирование, НИОКР, опытное и серийное производство, реализация, сопровождение, модернизация. Важную, а часто и определяющую, роль для каждого из указанных этапов играет эффективно реализованная и результативная *подготовка кадров* (специалистов, персонала, сотрудников), реализуемая в системах образования (среднее специальное и высшее профессиональное), непосредственно на предприятиях (стажировка, аттестация) или в сторонних организациях (повышение квалификации, переподготовка, «фирменное» обучение, сертификация).

Подготовка кадров, как важная часть обеспечения качества продукции и услуг, *стандартизируется*: на федеральном уровне – образовательными и профессиональными стандартами, на уровне предприятий и организаций – внутренними стандартами. При этом вопросы управления и контроля качества подготовки вписываются в сферу ответственности *систем менеджмента качества* (СМК), которые внедрены на предприятиях и организациях всех секторов реальной экономики. Требования к построению и функционированию СМК приведены в стандартах ISO серии 9000 (последнее обновление – сентябрь 2015 г.), адаптируются к национальным стандартам (например, ГОСТ Р ИСО серии 9000), а также в стандартах для конкретной сферы экономики (например, ISO/IWA 2, ГОСТ Р 52614.2-2006 – для сферы образования).

В стандарте ISO 9001:2015 одной из основных составляющих обеспечения качества выпускаемой продукции заявлена *компетентность* сотрудников. Для ее формирования, поддержания, развития и мониторинга используются системы подготовки непосредственно на предприятиях и в обеспечивающих организациях системы образования. В частности, для этого в Федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования третьего поколения (ФГОС ВПО) и их модернизации (ФГОС ВО 3+), а также в профессиональных стандартах, утвержденных Министерством труда и социальной защиты РФ, реализован *компетентностный подход* к формированию и оцениванию результативности (освоения заданного набора *компетенций* – совокупности взаимосвязанных компонентов «знаний», «умений», «владений» (триада ЗУВ) и практического опыта их применения в профессиональной сфере).

Существенное усложнение, расширение номенклатуры и быстрая смена технологий приводит к необходимости постоянного повышения качества подготовки (компетентности) специалистов при фиксированных ресурсах (временных, кадровых, материально-технических, информационных и т.п.). Для разрешения указанного *противоречия* требуется решить важную *научную проблему* разработки комплексного системного процессного подхода к управлению качеством продукции на основе обеспечения компетентности персонала. Это обуславливает необходимость разработки и исследования новых методов и алгоритмов формирования, контроля и оценивания качества результатов подготовки, ориентированных на обеспечение компетентности специалистов. Привлечение опыта ведущих вузов зарубежных стран, в первую очередь Европы и США, не дает полного решения указанной проблемы вследствие существенных отличий и ресурсных возможностей (реальных, а не формальных) у экономик и систем образования. Поэтому проблема разработки интегрированной системы управления качеством продукции на основе методологии оценки результативности подготовки специалистов актуальна.

Степень разработанности темы исследования. Проблемы управления, контроля и оценки качества применительно к различным видам продукции и ус-

луг решались во многих научных исследованиях. На решение проблем менеджмента качества продукции ориентированы исследования Г.Г. Азгальдова, А.В. Гличева, А.И. Субетто, Е.Г. Семеновой, А.Г. Варжапетяна, Г.И. Коршунова, В.А. Липатникова, Н.Н. Рожкова, В.Н. Тисенко, В.К. Федюкина, В.И. Круглова, В.М. Кутузова, С.А. Степанова, В.С. Соболева, И.В. Степанова, В.Н. Васильева, А.А. Шехонина, Л.С. Лисицыной, В.П. Беспалько, В.М. Кларина, В.М. Соколова, Ю.Г. Татура и др., а также зарубежных ученых Б. Блума, У.Э. Деминга, Дж. Харрингтона и др. Системный и методологический подход к управлению системами профессиональной подготовки разрабатывался такими учеными, как А.М. Новиков, Д.А. Новиков, Н.А. Селезнева, С.И. Архангельский, Н.В. Кузьмина, В.М. Соколов, Э.М. Короткое, В.И. Загвязинский и др. Внедрению компетентного подхода в образовании посвящена профессиональная деятельность В.И. Байденко, А.С. Белкина, Э.Ф. Зеер, И.А. Зимней, А.В. Хуторского и др. Непосредственно задачи педагогической квалиметрии решались в работах В.С. Аванесова, М.Б. Звонникова, А.Н. Майорова, Н.Ф. Талызиной, М.Б. Чельшковой, Н.Ф. Ефремовой, К. Ингенкамп, Е.А. Михайлычева, В.С. Черепанова, Ю.А. Шихова и др. Проблемами обеспечения качества профессионального образования занимаются представители ведущих вузов РФ, например, А.И. Чучалин, А.А. Александров, С.В. Коршунов, Ю.Б. Цветков, Е.Л. Кон, Н.Н. Матушкин, В.Ю. Столбов, А.А. Южаков и др.

При достаточно высокой степени разработанности темы исследования не нашли достаточно подробное и конкретизированное решение вопросы организации и реализации программ подготовки специалистов, построенных на основе стандартов, определяющих требования к качеству продукции, образовательных и профессиональных стандартов, системы менеджмента качества. Важной и актуальной остается задача разработки алгоритмов диагностирования, квалиметрических методов оценивания компетентности через оценки составляющих ее компонентов и элементов, а также влияния результативности подготовки на качество продукции. Актуальной и не доведенной до уровня нормативно-методической документации является проблема разработки и внедрения методик определения количественных дифференциальных и интегральных показателей качества на раз-

ных стадиях реализации процесса подготовки, увязанных с форматом требований потребителей и системы менеджмента качества. Традиционно важной является задача автоматизации наиболее сложных и слабоформализуемых этапов проектирования, реализации и оценивания результативности и эффективности программ подготовки специалистов. Решение указанных проблем требует разработки комплексного системного подхода, позволяющего эффективно решать актуальные и важные задачи управления качеством подготовки как значимого фактора обеспечения качества продукции, что обуславливает актуальность исследований, проводимых в рамках представленной диссертационной работы.

Целью диссертационной работы является решение важной научно-технической проблемы – обеспечение качества продукции на основе создания интегрированной системы управления, включающей сформулированные на основании стандартов требования к качеству; модели и методы оценки соответствия показателей качества продукции и качества подготовки специалистов на всех этапах жизненного цикла; алгоритмы и способы автоматизации процедур построения, реализации и оценки результативности программ подготовки при заданном уровне компетентности.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Создание *моделей и методов оценки соответствия* заданных требованиями стандартов качества продукции и уровня компетентности (результативности подготовки) специалистов (п. 1).

2. Разработка *моделей и методов оценки соответствия* требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов (п. 1).

3. Создание *методологии проектирования и реализации* программ подготовки специалистов с учетом требований стандартов, определяющих требования к качеству продукции, системы менеджмента качества, квалификационных требований работодателей (КТР) и вектора развития направления науки, техники и технологии (ВРН) (п. 3).

4. Разработка и исследование *модели управления и контроля качества* на разных стадиях реализации программ подготовки специалистов с учетом требований к качеству продукции и «риск-ориентированного мышления» (п. 2).

5. Применение *способов управления качеством* программ подготовки специалистов *на этапе проектирования*, позволяющих создать основные виды учебно-методической документации, необходимые для эффективной реализации целей и задач в области качества (п. 2).

6. Разработка *математических и информационных моделей и методов определения количественной оценки результативности подготовки* в компетентном формате, и ее соответствие стандартам, определяющим требования к качеству продукции (п. 1).

7. Разработка *квалиметрических методов, процедур и алгоритмов* диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов *технической диагностики* (п. 4).

8. Разработка и исследование *квалиметрических методов дешифрации и оценки показателей результативности и компетентности* как значимого фактора обеспечения качества продукции на основе *математического аппарата алгебраической и нечеткой логики* (п. 4).

9. Проектирование и апробация *информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества* подготовки специалистов в составе интегрированной системы управления качеством продукции (п. 9).

Область исследования соответствует пп. 1, 2, 3, 4, 9 паспорта научной специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции».

Объектом исследования являются взаимосвязанные процессы формирования, контроля и оценивания качества и результативности подготовки специалистов как значимого фактора управления качеством продукции.

Предметом исследования являются квалиметрические модели, методы, процедуры, алгоритмы и способы автоматизации процессов формирования, диагностирования, дешифрации и оценивания результативности программ подготовки

специалистов, увязанные с положениями стандартов, определяющих требования в области качества продукции, системы менеджмента качества, профессиональных и образовательных стандартов.

Методология исследования базируется на методах системного анализа, дискретной математики, теории вероятности и математической статистики, теории информации, квалиметрии, технической диагностики, алгебраической и нечеткой логики, теории автоматического управления, теории управления социальными и организационными системами, методах аналитического и имитационного моделирования.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные и научно-обоснованные в диссертационной работе методы позволяют:

– оценить соответствие требований к качеству продукции и уровню компетентности специалистов, заданному профессиональными и образовательными стандартами, а также внутренними документами организаций;

– выполнить проектирование и реализацию эффективных программ подготовки специалистов для разных этапов жизненного цикла продукции, построенных с учетом взаимоувязанных требований к качеству продукции, системы менеджмента качества, достижений науки, техники, технологий, образовательных и профессиональных стандартов;

– построить и применить модель управления контроля качества на различных стадиях реализации программ подготовки специалистов, которая позволяет определить направления решения задач мониторинга и оценивания результативности подготовки на разных стадиях реализации программы и учитывает требования к качеству продукции и «риск-ориентированное мышление»;

– использовать предложенные способы управления качеством на этапе проектирования программ подготовки, что дает возможность эффективного построения программы за счет разработки и автоматизации основных документов, выбора эффективных сочетаний способов и средств формирования и контроля результатов обучения в компетентностном формате, использования контролепригодных

компонентных структур, повышающих эффективность, точность и экономичность процедуры тестового диагностирования;

– применить разработанные математические и информационные модели и методы для определения количественных дифференциальных и интегральных оценок качества и результативности освоения программ подготовки специалистов в формате, согласованном с требованиями к качеству, СМК, ФГОС и КТР;

– применять квалиметрические методы, процедуры и алгоритмы диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики, которые дают возможность выполнить направленный поиск недостаточно освоенных элементов и компонентов компетенций и повысить экономичность и эффективность процедур контроля;

– использовать квалиметрические методы оценки результативности программ подготовки специалистов как значимого фактора качества продукции, использующие адаптированные к предметной области математический аппарат алгебраической и нечеткой логики, что позволяет повысить адекватность и точность диагностирования, выявить недостаточно освоенные элементы и соответствующие им разделы тематического плана программы, а также сформировать перечень предупреждающих и корректирующих действий;

– спроектировать структуру и реализовать требуемую функциональность информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки в составе интегрированной системы управления качеством продукции.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что предложенный инструментарий в виде моделей, методов, алгоритмов и способов автоматизации построения и реализации программ подготовки специалистов, задействован в структуре методического, алгоритмического и информационного обеспечения автоматизированных систем управления и контроля качества подготовки. Они использованы и апробированы в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, вузах-партнерах по совместно реализуемым образовательным программам: Вятском государственном университете

(ВятГУ), Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева (КНИТУ), Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), промышленных предприятиях и организациях региона (задачи повышения квалификации, переподготовки, «фирменного» обучения и т.п.), что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Научная новизна работы заключается в разработке моделей, методов, новых формализованных подходов к взаимоувязанному выбору и эффективному применению предложенных методов формирования, диагностирования и оценивания качества подготовки в компетентностном формате и его влияния на качество продукции. Новизна научных результатов диссертационного исследования состоит в том, что:

1. Впервые предложены модели и методы оценки соответствия заданных требованиями стандартов качества продукции и уровня компетентности (результативности подготовки) специалистов, которые дают возможность учесть и оценить влияние такого значимого фактора, как компетентность персонала, на показатели качества продукции.

2. Построены модели и предложен метод оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов, что позволило разработать операторы соответствия между функциональными обязанностями (трудовыми функциями) и результатами программ подготовки разных видов, представленных в компетентностном формате.

3. Создана методология построения и реализации программ подготовки специалистов на разных этапах жизненного цикла продукции, которая отличается от известных комплексным системным подходом и взаимным учетом требований стандартов, определяющих качество продукции, СМК, образовательных и профессиональных стандартов, квалификационных требований работодателей (потребителей), вектора развития направления науки, техники и технологии.

4. Разработана и исследована модель управления и контроля качества подготовки на различных стадиях реализации программ подготовки специалистов, учитывающая требования к качеству, «риск-ориентированное мышление» и имеющая специфическую направленность на представление результативности в компетентностном формате, что отличает ее от существующих моделей.

5. Выполнен синтез и анализ математических и информационных моделей и методов определения количественной оценки качества и результативности подготовки, что позволяет сопоставлять результативность, представленную в компетентностном формате, с квалификационными требованиями работодателей и стандартами, определяющими требования к качеству продукции.

6. Впервые представлены разработанные многопараметрические квалиметрические методы, алгоритмы и процедуры диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики и прогнозирования, что делает процессы управления и контроля направленными, экономичными и результативными.

7. Для решения задач управления качеством на этапе проектирования впервые предложена общая методологии построения контролепригодной компонентной структуры компетенций, взаимосвязанной с методами и средствами диагностирования, что позволяет повысить эффективность управления качеством формирования и оценивания планируемых результатов обучения;

8. Разработаны и исследованы оригинальные квалиметрические методы дешифрации и оценки результативности и компетентности как фактора обеспечения качества продукции на основе математического аппарата алгебраической и нечеткой логики, которые отличаются от существующих большей достоверностью принятия решения за счет ориентации на многоуровневые шкалы оценивания и учетом рисков ошибочного принятия решения.

9. Проведено проектирование информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества программ подготовки специалистов, реализуемой в составе интегрированной системы управления качеством продукции, что позволило провести апроба-

цию предлагаемых моделей, методов и алгоритмов и получить положительное заключение об их адекватности, корректности и эффективности.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Модели и методы оценки соответствия заданных требованиями стандартов качества продукции и уровня компетентности (результативности подготовки) специалистов, которые обеспечивают учет влияния фактора компетентности персонала на достижение целей организации в области качества.

2. Модели и методы оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов и их способности обеспечить цели в области качества.

3. Методология планирования и обеспечения программ подготовки специалистов для разных этапов жизненного цикла продукции, учитывающая стандарты, определяющие требования к качеству продукции, системы менеджмента качества, образовательные и профессиональные стандарты, квалификационные требования работодателей и вектор развития соответствующего направления науки, техники и технологии.

4. Модель управления и контроля качества и результативности процессов на различных стадиях реализации программ подготовки специалистов, учитывающая требования к качеству продукции и «риск-ориентированное мышление» и дающая возможность определить особенности формирования компетенций как основных планируемых результатов обучения; выработать подходы к оценке результатов подготовки с учетом особенностей стадии реализации; построить агрегированную компетентностную модель для этапа итоговой аттестации; представить показатели результативности обучения; провести классификацию способов определения интегральных показателей качества.

5. Способы управления качеством на этапе проектирования программ подготовки, позволяющие разработать и внедрить методику совместного проектирования учебно-методических документов программы; рекомендации по выбору и применению эффективных сочетаний способов и средств формирования и кон-

троля компетенций как основных показателей результативности процессов обеспечения качества продукции.

6. Математические модели и методы количественной оценки результативности подготовки и ее соответствие стандартам, определяющим требования к качеству продукции, что позволило определить формат, условия, ограничения, область применения целесообразного применения, практические рекомендации для разных критериев принятия решения; выполнить анализ рисков ошибочного принятия решения вследствие компенсации дифференциальных оценок интегральной; дать рекомендации по применению многоуровневых шкал оценивания.

7. Квалиметрические методы, процедуры и алгоритмы диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики, дающие возможность разработать и эффективно использовать безусловные и условные алгоритмы поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения, а также применить методологию построения контролепригодной компонентной структуры компетенций, взаимоувязанной с методами и средствами диагностирования.

8. Квалиметрические методы дешифрации и оценки показателей результативности и компетентности как значимого фактора качества продукции на основе математического аппарата алгебраической логики (метод анализа логических условий) и нечеткой логики, позволившие провести совместный анализ результатов контроля и повысить качество процедур дешифрации и оценивания результатов контроля уровня освоения элементов компетенций (трудовых функций); реализовать программный инструментарий (в пакетах Visual Basic for Applications и Mat-Lab Fuzzy Logic), провести его апробацию, подтвердившую достоверность и корректность полученных результатов.

9. Информационное, алгоритмическое и методическое обеспечение автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки в составе интегрированной системы управления качеством продукции, в которой нашли применение предложенные в работе модели, подходы, методы и алгоритмы; программный инструментарий автоматизированного проектирования основных до-

кументов программы подготовки специалистов; в рамках методического обеспечения разработанные и внедренные в систему менеджмента качества университета стандарты по проектированию фондов оценочных средств дисциплин, разделов и государственной итоговой аттестации, разработке самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов и сетевых образовательных программ.

Внедрение результатов. Результаты исследований, выполненных в диссертационной работе, были использованы:

– при выполнении гранта «Система управления качеством подготовки выпускников университета ВПО по уровню сформированности компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО», результаты которого апробированы в ПНИПУ и вузах-партнерах (2013-2015 г.г.), а также представлены в Министерство образования и науки РФ для оценки возможности внедрения в составе информационного обеспечения системы оценки результатов обучения (СОРО) и разработки на их основе нормативно-методической документации;

– при выполнении гранта «Разработка сетевой образовательной программы по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (квалификация (степень) «магистр»)); магистерская программа «Инфокоммуникационные технологии и сети городской инфраструктуры» реализуется совместно с ВятГУ и КНИТУ с 2014 г.;

– при разработке фондов оценочных средств дисциплин и разделов образовательных программ;

– при разработке учебно-методической документации и реализации магистерской программы «Сервис-ориентированные корпоративные системы управления» совместно с ведущим сетевым интегратором Пермского края ЗАО «ИВС-Сети» с 2013 г.;

– при разработке и внедрении программ подготовки кадров на предприятии;

– при выполнении гранта «Разработка самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта (СУОС) университета по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (квалификация (степень) «магистр»)); по разработанному СУОС, согласованному с УМО вузов

РФ по образованию в области инфокоммуникационных технологий и систем связи, разработана и реализуется с 2013 г. магистерская программа «Инфокоммуникационные технологии и системы современного города»;

– при выполнении гранта «Разработка сетевой образовательной программы по направлению подготовки 220400 «Управление в технических системах» (квалификация (степень) «магистр»)); магистерская программа «Информационные технологии в проектировании управляющих систем реального времени» реализуется совместно с СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и КНИТУ с 2013 г.;

– при разработке и внедрении программ повышения квалификации;

– при разработке и внедрении стандартов университета по проектированию фондов оценочных средств дисциплин и разделов образовательной программы;

– при разработке учебно-методических комплексов дисциплин, практик, научно-исследовательской работы и государственной итоговой аттестации образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлениям 11.03.02 и 11.04.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»;

– при проектировании автоматизированной системы управления и контроля качества обучения, реализуемой в ПНИПУ.

Количественные оценки результатов внедрения представлены актами внедрения предлагаемых подходов в ПНИПУ и вузах-партнерах по совместно реализуемым образовательным программам, а также письмами-отзывами с профильных предприятий и организаций, в которых отмечено повышение уровня профессиональной подготовленности трудоустраиваемых выпускников.

Апробация результатов работы. Основные результаты исследования, выполненного в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на научно-методических семинарах, международных и всероссийских конференциях: «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» (2012 г., Украина, Одесса); «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике» (2012 г., Россия, г. Пермь); «Problems of modern pedagogics in the context of international educational standards

development» (2013 г., Великобритания, г. Лондон); «Education as the basis of the humanity evolution in conditions of the information environment of the society domination» (2013 г., Великобритания, г. Лондон); «Forming and qualitative development of modern educational systems» (2013 г., Великобритания, г. Лондон); «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе» (2013, 2014, 2015 г., Россия, г. Гурзуф); «Теоретические и методологические проблемы современного образования» (2014 г., Россия, г. Москва); «Актуальные проблемы развития образования в России и за рубежом» (2014 г., Россия, г. Москва); «Учебно-методическое обеспечение образовательных организаций в условиях модернизации ФГОС 3-ого поколения», Пленум Совета УМО вузов РФ по образованию в области инфокоммуникационных технологий и систем связи (2014 г., Россия, г. Ярославль, ЯрГУ), Пленум Совета УМО вузов по университетскому политехническому образованию (2014 г., Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана), «Interpersonal mechanisms of knowledge and experience transfer in the process of public relations development» (2014 г., Великобритания, г. Лондон); «Инновационное развитие: физико-математические и технические науки» (2014 г., Россия, г. Москва); «Тенденции и перспективы развития современного научного знания» (2015 г., Россия, г. Москва); «Теория и практика современной науки» (2015 г., Россия, г. Москва); «Technical progress of mankind in the context of continuous extension of the society's material needs» (2015 г., Великобритания, г. Лондон); «Functions of upbringing and education in conditions of the accelerated socialization of the personality in the modern society» (2015 г., Великобритания, г. Лондон); заседаниях Учебно-методического совета и научно-технических семинарах ПНИПУ (2010-2015 г.г.).

Публикации. Основные положения диссертационного исследования нашли отражение в более 70 публикациях автора, относящихся к теме исследования и охватывающих период с 2005 г. по настоящее время. В их числе 24 публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, 1 индивидуальная монография (свыше 7 п.л.), 5 коллективных монографий, 5 учебных пособий (в том числе 2 с грифом УМО вузов РФ по образованию в области телекоммуникаций, свыше 10

печ. л. каждое), 4 отчета о выполнении НИР, 7 учебно-методических пособий и 2 свидетельства на электронные ресурсы.

Структура и объем диссертации. Структура отражает логику, содержание и результаты исследования и состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованных литературных источников из 209 наименований и 4 приложений. Текст диссертации изложен на 404 страницах, содержит 57 рисунков и 42 таблицы.

Глава 1. Методы стандартизации и менеджмента качества продукции на основе управления результативностью подготовки специалистов

1.1. Стандарты и требования к управлению качеством подготовки специалистов на этапах жизненного цикла продукции

Основной задачей экономики является производство продукции ([31] – продукты и услуг). Для обеспечения высокой конкурентоспособности предприятия, ориентированного на выпуск продуктов, или организации, ориентированной на предоставление услуг, необходимо поддерживать и постоянно улучшать качество представляемой на рынок продукции. Качество продукции определяется многими факторами: научно-техническим уровнем проектов и разработок; характеристиками материалов и комплектующих элементов; уровнем оснащения и технологической подготовки производства; использование системы менеджмента качества; применением систем автоматизации и интеллектуализации производства и т.д. При наличии у современных предприятий и организаций сходных (соизмеримых) по количественным и качественным характеристикам способов и условий построения производства важную, а зачастую и определяющую, роль играет наличие соответствующей *компетентности (квалификации)* специалистов. Наличие профессиональной подготовки требуется для создания и сопровождения продукции на всех этапах ее жизненного цикла (маркетинг, НИОКР, материально-техническое снабжение, подготовка и разработка производственных процессов, непосредственно производство, контроль, испытания и обследование продукции в процессе производства и выходной контроль, упаковка и хранение готовой продукции, реализация и распределение, монтаж и эксплуатация, техническая помощь в обслуживании, утилизация после использования [35]). Соответствующие требования к продукции на каждом этапе жизненного цикла задаются стандартами разного уровня и условиями договоров, а степень соответствия реализации требований определяет качество продукции.

Невозможно дать точную априорную количественную оценку влияния уровня компетентности на выпускаемую продукцию, можно лишь абсолютно уверенно утверждать, что создавать конкурентоспособные продукты могут только высококвалифицированные специалисты. Это особенно актуально в условиях экономических проблем, импортозамещения и повышения конкуренции в разных секторах экономики.

Для формирования требований к компетентности персонала разрабатываются и внедряются следующие нормативные документы:

- Профессиональные стандарты [105] для оценки соответствия уровня компетентности персоналом предприятий и организаций;
- Федеральные государственные образовательные стандарты [151] для оценки уровня освоения заданных компетенций выпускниками учебных заведений систем Среднего специального и Высшего образования;
- Государственные требования, например, к профессиональной переподготовке, повышению квалификации и стажировке государственных гражданских служащих Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 6 мая 2008 г. № 362);
- требования организаций профессионального сообщества (объединения работодателей);
- внутренние (локальные) стандарты образовательных учреждений, предприятий и организаций.

Подготовкой специалистов на предприятии или в организации занимается соответствующая подсистема (служба, подразделение и т.п.) в структуре общей системы менеджмента качества. Также специалисты проходят подготовку или переподготовку в организациях системы образования (среднего, среднего специального, высшего профессионального). Поэтому уровень компетентности персонала во многом определяется эффективностью и результативностью организации и реализации программ подготовки, ее структуры и содержания, обеспечения и т.п.

На рисунке 1.1.1 приведены возможные варианты реализации подготовки кадров на нескольких выбранных этапах жизненного цикла продукции. Наряду с

системой среднего (СО), среднего специального (ССО) и высшего профессионального (ВПО) образования в подготовке кадров принимают участие системы «фирменного» обучения (ФО), а также системы подготовки кадров на предприятии (ПКП), решающие задачи повышения квалификации, переквалификации, аттестации и т.д.

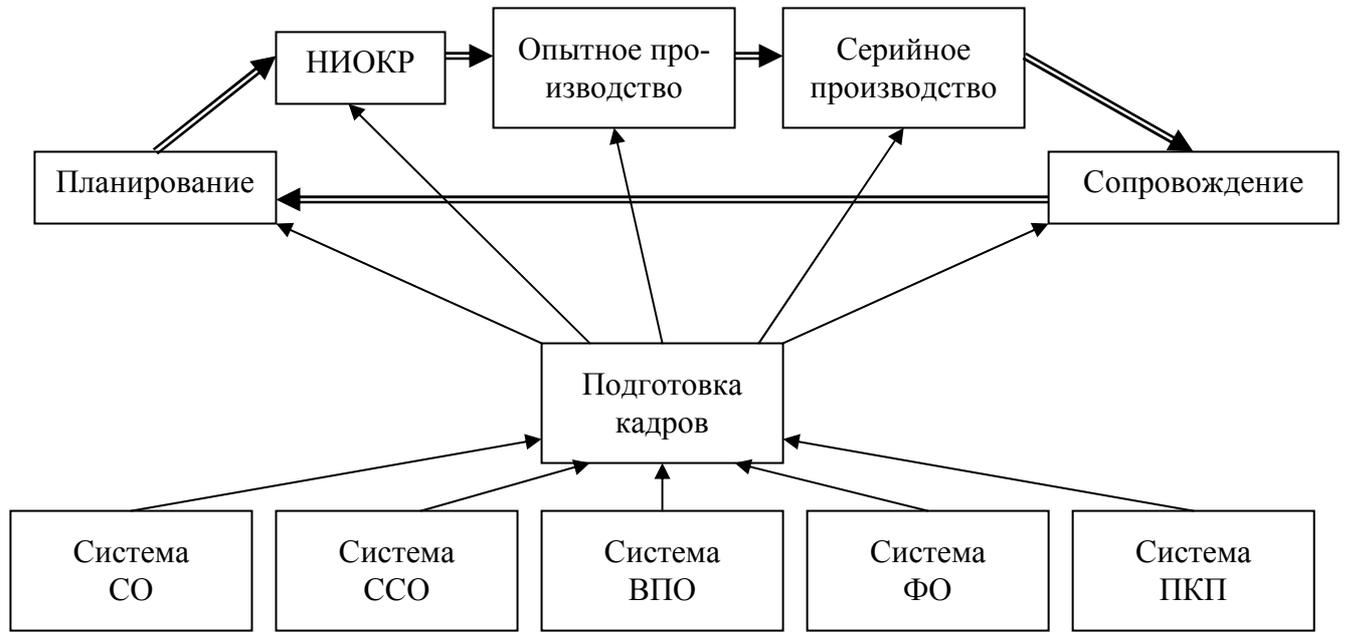


Рисунок 1.1.1 – Варианты организации подготовки кадров для разных этапов жизненного цикла продукции

Отметим, что с точки зрения сроков обучения и объема информации, необходимой для успешной профессиональной деятельности, основную роль играет система ВПО (при том, что каждая система подготовки ориентирована на решение задач соответствующего уровня). Поэтому далее рассмотрим способы организации подготовки специалистов, используя пример Высшей школы, с необходимыми комментариями для применения предлагаемых подходов к другим системам образования.

Отрасли современной экономики характеризуются активной динамикой роста и диверсификации. Это требует от специалистов не только высокой квалификации для выполнения текущих обязанностей, но и способность к изменению либо к смене профиля профессиональной деятельности [95]. Знания и умения,

применяемые в практической деятельности в рамках современных и даже перспективных технологий, методов, информационного, программного, аппаратного обеспечения и т.п., через сравнительно небольшой интервал времени (особенно для сферы информационных, телекоммуникационных технологий и т.п.) могут частично или полностью устареть. Поэтому от системы образования требуется не только подготовка выпускника к решению конкретных профессиональных задач, но и формирования социально-личностных качеств, которые дадут ему возможность эффективно адаптироваться к изменениям условий профессиональной деятельности [49].

Для повышения качества подготовки выпускников (бакалавров, магистров и специалистов) необходим системный комплексный подход к организации и реализации процесса обучения. Для его формирования выделим *элементы системы образования* [89]: органы управления образованием, образовательное учреждение, образовательная программа, обучающие, обучаемые. Далее рассмотрим *образовательную программу* (ОП) как основной элемент, на который можно эффективно воздействовать (рисунок 1.1.2).



Рисунок 1.1.2 – Стандартизация и управление качеством подготовки

На рисунке 1.1.2 представлен процесс проектирования (входящие) и реализации (исходящие) образовательной программы, а также виды контроля качества подготовки, который выполняется по результатам проверки документированной информации (УМД) или результативности обучения (текущий контроль, промежуточная и итоговая (государственная итоговая) аттестация).

Как особый вид продукции, образовательная программа (программа подготовки) может быть рассмотрена в виде цикла улучшений Шухарта-Деминга PDCA: планирование (Plan); реализация (Do); проверка (Check); корректировка (Act) (рисунок 1.1.3).

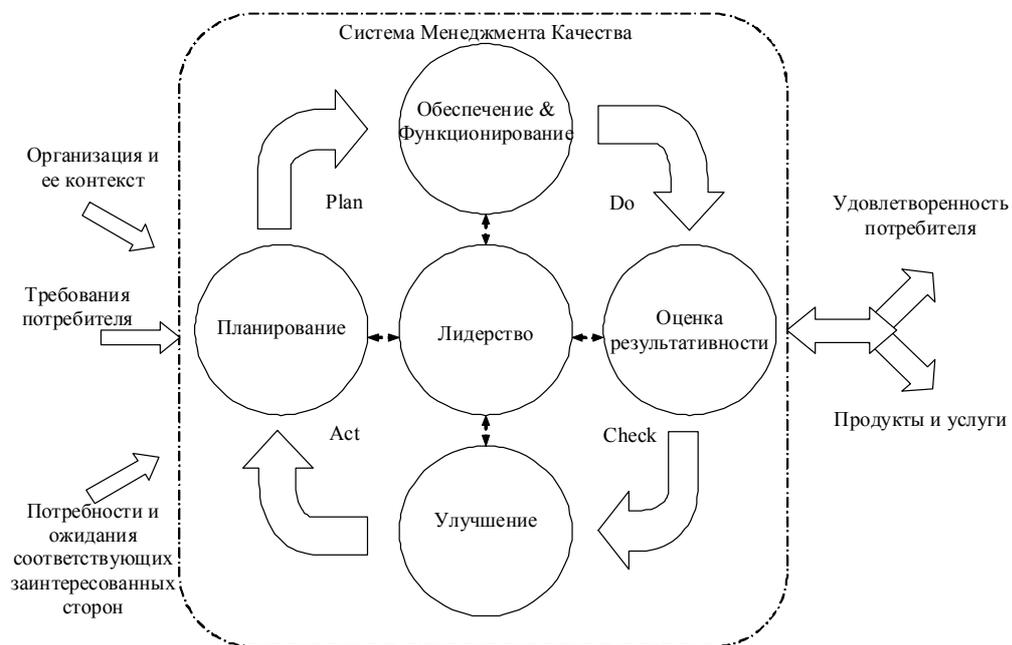


Рисунок 1.1.3 – Стандартизация и управление качеством продукции (продуктов и услуг) в соответствии с ISO 9001:2015

Качество образовательной программы обеспечивается *на этапах проектирования* (формирование структуры, содержания и обеспечения) и *реализации* (в процессе предоставления образовательных услуг). Каждый из этапов требует выполнения соответствующих видов планирования, реализации, проверки и корректировки. Дадим характеристику каждому из выделенных этапов.

Этап проектирования ОП:

- вход – нормативная документация (НД – Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» [152], Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС ВО [151], а для тех направлений подготовки и специальностей, для которых они не утверждены, – ФГОС ВПО), Приказы Министерства образования и науки РФ (например, Приказ № 1367 от 19.12.2013 г. [104]), Стандарты университета [91, 92, 93, 144, 145, 145], стандарты системы менеджмента качества [28], Локальные нормативные документы вуза (Приказы, Распоряжения, Профессиональные стандарты, Квалификационные требования работодателей региона) и т.д. (рисунок 1.1.2);

- выход – учебно-методическая документация (УМД) и обеспечение ОП;

- критерии оценки качества:

- степень соответствия структуры и содержания УМД требованиям НД;

- полнота УМД образовательной программы (компетентностная модель выпускника – КМВ, учебный план – УП, учебно-методические комплексы дисциплин – УМКД, программы практик, научно-исследовательской работы (НИР) и государственной итоговой аттестации (ГИА));

- показатель согласованности структуры и содержания образовательных программ с вектором развития направления и квалификационными требованиями работодателей региона;

- характеристика системы менеджмента качества вуза и организация учебного процесса в соответствии с ее требованиями и т.д.;

- инструменты для обеспечения качества:

- структура и содержание УМД, построенной и взаимоувязанной с требованиями НД;

- наличие методической документации (стандартов университета, шаблонов, макетов, методических рекомендаций и т.п.) для проектирования документов образовательных программ;

- выполнение требований системы менеджмента качества по организации учебного процесса;

– использование методов и алгоритмов контроля, дешифрации и количественной оценки результатов обучения, представленных в компетентностном формате;

– кадровое, материально-техническое, информационное и финансовое обеспечение образовательных программ;

– взаимодействие с потенциальными работодателями региона;

– обеспечение возможности реализации индивидуальной образовательной траектории и академической мобильности обучающихся;

– автоматизация процедур проектирования УМД, а также контроля, дешифрации и оценивания результатов обучения.

Этап реализации образовательной программы (программы подготовки) связан с проведением запланированного объема мероприятий (обучения, контроля, вспомогательных, обеспечивающих и т.п.), оценку результативности (проверку соответствия достигнутого уровня компетентности (квалификации) заданным требованиям, сформулированным на этапе проектирования), проведение корректирующих действий для повышения уровня результативности до необходимых (запланированных) показателей.

Этап реализации ОП:

- вход – УМД, ППС, характеристики обучаемых;

- выход – результаты обучения;

- критерии оценки качества:

– соответствие запланированного объема учебных мероприятий реально реализованным;

– успеваемость на разных стадиях реализации учебного процесса;

– отзывы работодателей по результатам практик, стажировок, выполнения ВКР,

– участие в олимпиадах, конкурсах;

– участие в НИР (доклады на конференциях, публикации, выставки);

- инструменты для обеспечения качества ОП на этапе реализации:

– текущий контроль по дисциплине (практика, этап научно-исследовательской работы), промежуточный контроль (сессия), итоговая (государственная итоговая) аттестация

– расписание занятий и планирование нагрузки на обучаемых и преподавателей;

– мотивация успеваемости как гарантия востребованности на рынке труда («хорошее» распределение, возможность продолжения обучения (М-А), возможность академической мобильности в рамках межвузовской кооперации);

– заинтересованность в исследовательской и/или практической деятельности;

– материальное стимулирование к участию в НИР.

В работе рассматриваются *инструменты управления и контроля качества подготовки* специалистов на этапах проектирования и реализации образовательных программ: разработка НД (стандарты университета (СТУ) в рамках системы менеджмента качества), УМД (КМВ, РУП, УМКД); методов, алгоритмов и способов автоматизации процедур контроля, дешифрации и количественной оценки результатов обучения.

Структура СТУ:

1. основополагающие стандарты университета (СТУ ПНИПУ).
2. Стандарты университета по системе менеджмента качества (СТУ СМК) – стандарт (31 ед.), построенные на основе ИСО 9000:2005, 9001:2008. Здесь можно выделить СТУ СМК 14-2015 «Оказание образовательных услуг», СТУ СМК 15-2015 «Мониторинг и измерение образовательных услуг. Управление средствами контроля и измерения», СТУ СМК 19-2015 «Разработка новых образовательных услуг или совершенствование существующих».
3. Стандарты университета по системе образовательных стандартов (СТУ СОС) – стандарты по разработке УП, УМВ, УМКД, РПД, ФОС.
4. Стандарты университета по системе самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов (СТУ СУОС) – стандарты с правилами разработки и макетами СУОС бакалавров, специалистов, магистров.

5. Стандарты университета по системе безопасности (СТУ СБ).

В одну из задач работы входит подготовка предложений для дополнения или создания новых стандартов университета с использованием предлагаемых подходов, методов и алгоритмов.

1.2. Постановка задачи и структура диссертационного исследования

Одним из эффективных и инновационных инструментов повышения результативности подготовки является *компетентностный подход* к построению и реализации образовательных программ (ОП) всех уровней. Он учитывает международный опыт (например, в европейской системе высшего образования компетентностный подход внедряется с 60 годов XX века), а также эффективные методики и наработки, имевшие место в советской и присутствующие в российской системах образования. Наряду с этим для повышения качества образования активно применяются новые образовательные технологии [6, 24, 25, 103, 91, 92, 93], информационные и телекоммуникационные (инфокоммуникационные) технологии, мультимедийные и презентационные средства [21], механизмы виртуализации [194, 195, 196], сетевые методы организации учебного процесса и т.п. [52, 62, 98, 99].

Компетентностный подход был взят за основу *Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования* (ФГОС ВПО) и их модернизации ФГОС ВО (3+). Среди основных отличий от образовательных стандартов предыдущих поколений можно выделить изменение *требований к результатам* освоения образовательных программ, которые в ФГОС ВПО заданы в формате *компетенций*. Компетенция как результат образовательной деятельности введена в практику Европейской системы образования [198, 199, 201, 202] и представляет собой способность к решению профессиональных задач, а также обладание личностными и социально-коммуникативными качествами, обеспечивающими возможность выпускника адаптироваться к изменениям научно-производственного профиля профессиональной деятельности и ус-

ловий общества. Это актуально для специалистов и гуманитарного, и технического профиля.

В соответствии с ФГОС ВПО структура и содержание ОП ориентированы на формирование заданного стандартом перечня компетенций (который при необходимости может быть расширен вузом). Компетенция, в основном, формируется в нескольких дисциплинах и/или разделах учебного плана, каждый из которых отвечает за формирование *дисциплинарной части* компетенции (*дисциплинарной компетенции* – ДК) [64]. Каждая компетенция и, соответственно, дисциплинарная компетенция, имеет *компонентную структуру*, состоящую из *компонентов* «знания», «умения», «владения» (триада ЗУВ, пришедшая на смену триаде «знания», «умения», «навыки» – ЗУН) [60]. Каждый компонент представлен, как правило, несколькими *элементами компонентов дисциплинарных компетенций* (сокращенно – ЭДК), детализирующим, что же конкретно должен «знать», «уметь» и чем должен «владеть» студент по окончании изучения данной дисциплины. Для дисциплины ЭДК являются *атомарными объектами* формирования, контроля и оценивания [70, 59, 57]. Далее происходит «сборка» для оценивания уровня освоения дисциплинарной компетенции, а затем – компетенции в целом. Также оценивание уровня освоения компетенций производится по результатам *государственной итоговой аттестации*, проводимой, как правило, в виде *государственного экзамена* и *защиты выпускной квалификационной работы* (для программ подготовки кадров на предприятии – аттестация, для «фирменного» обучения – сертификация). Уровень освоения компетенций, определенный по результатам теоретической подготовки, согласуется с результатами итоговой аттестации (заменяется, дополняется, корректируется – возможны разные варианты) [71].

Фрагменты компетентного подхода присутствовали в принципах построения образовательных стандартов предыдущих поколений. В частности, триада «знания-умения-навыки» (ЗУН) присутствовала и в квалификационной характеристике выпускника, и в организационно-методических документах образовательных программ. Однако они не были заявлены как результаты образовательной деятельности, поэтому контролировались на соответствующих видах ауди-

торной и самостоятельной работы студентов косвенно, формируя оценку за учебную дисциплину (раздел).

Компетентностный подход подразумевает разработку *новых* образовательных программ, поскольку существенным образом должны быть *изменены структуры*:

– базового и рабочих учебных планов, в которых повышена деятельностная составляющая (увеличение трудоемкости лабораторных занятий, семинаров, практик, научно-исследовательской работы и т.п.), а также предусмотрен большой объем вариативной части и дисциплин по выбору;

– компетентностной модели выпускника (характеристика и результаты образовательной программы, представленные в компетентностном формате в паспортах компетенций) и построенных в более тесном взаимодействии с работодателями, с учетом профессиональным стандартам и современных и перспективных направлений развития науки, техники и технологий;

– учебно-методических комплексов дисциплин и разделов, включая методические рекомендации и указания преподавателям и студентам по организации, проведению и оцениванию результатов аудиторной и самостоятельной работы;

– фондов оценочных средств и контрольно-измерительных материалов дисциплин, разделов ОП и государственной итоговой аттестации, в которых оценка трудоемкости элементов программы задается в зачетных единицах.

Проблема управления качеством образования продолжает оставаться актуальной. Системный и методологический подход к управлению системами образования разрабатывался такими учеными, как А.М. Новиков, Д.А. Новиков, Н.А. Селезнева, С.И. Архангельский, Н.В. Кузьмина, В.М. Соколов, Э.М. Короткое, В.И. Загвязинский, Н.Н. Матушкин и др., например, работы [42, 43, 79, 89, 90, 103, 110]. Внедрению компетентностного подхода в образовании посвящена профессиональная деятельность В.И. Байденко [10, 95], А.С. Белкина [9], Э.Ф. Зеера [41, 45, 46], И.А. Зимней [47, 48, 49], А.В. Хуторского [51, 185] и др. На решение проблем менеджмента качества продукции (в частности, в области образования) ориентированы исследования Г.Г. Азгальдова, А.В. Гличева, В.А. Азарьевой, В.И. Круглова, В.М. Кутузова, С.А. Степанова, В.В. Яценко, Д.В. Пузанкова, В.С. Со-

болева, И.В. Степанова, Е.Г. Семеновой, А.Г. Варжапетяна, Г.И. Коршунова, В.Н. Васильева, А.А. Шехонина, Л.С. Лисицыной, В.П. Беспалько, А.И. Субетто, В.М. Кларина, В.М. Соколова, Ю.Г. Татура и др. (например, работы [4, 5, 12, 16, 17, 75, 78, 85, 115, 116, 118, 147, 148]), а также зарубежных ученых Б. Блума, У.Э. Деминга, Дж. Харрингтона и др. [192, 193, 199, 201, 202]. Непосредственно задачи педагогической квалиметрии решались в работах В.С. Аванесова, М.Б. Звонникова, А.Н. Майорова, Н.Ф. Талызиной, М.Б. Челышковой, Н.Ф. Ефремовой, К. Ингенкамп, Е.А. Михайлычева, В.С. Черепанова, Ю.А. Шихова и др., в частности, [1, 2, 39, 40, 44, 188, 189, 190]. Проблемы обеспечения качества профессионального образования занимают представителей ведущих вузов РФ, например, А.И. Чучалин, А.А. Александров, С.В. Коршунов, Ю.Б. Цветков, Е.Л. Кон, А.А. Южаков и др. ([6, 50, 153, 186, 187]).

При этом можно констатировать отсутствие утвержденных (или хотя бы рекомендованных) Министерством образования и науки РФ методик оценивания качества подготовки (уровня освоения компетенций по всей ОП и их составляющих – по дисциплинам и разделам ОП). Поэтому можно утверждать, что на сегодня существует актуальная нерешенная проблема управления и контроля качества результатов обучения (и образования), заданных в компетентностном формате. Как было отмечено, что работы в данном направлении зарубежными и отечественными учеными активно ведутся, но их результаты пока не доведены до уровня нормативно-методической документации, которую можно было бы использовать образовательным учреждениям и службам подготовки кадров на предприятиях в практике реализации ОП. Это объясняется многими причинами: закрепленной за вузом ответственностью за качество обучения, специфическими свойствами объекта (компетенции) и субъекта (студента) контроля, слабой формализуемостью и многокритериальностью решаемых задач, неоднозначным (в достаточно большой части – негативным) отношением научно-педагогического сообщества к выбранному направлению модернизации системы высшего образования и т.д.

Несмотря на вышесказанное, задачи в указанной постановке нужно решать, поскольку от этого напрямую зависит эффективность процедуры управления ка-

чеством образовательного процесса, активность участия работодателей в реализации образовательных программ, возможность определения и реализации индивидуальных образовательных траекторий обучающимися, эффективность использования современных образовательных и коммуникационных технологий и т.п. Также имеющаяся нормативно-методическая документация (в частности, [104]) в явной форме формулирует требования к необходимости оценки результатов обучения по каждой дисциплине (разделу) в формате ЗУВ и результатов освоения ОП в формате компетенций.

Автором совместно с коллегами на протяжении нескольких лет проводятся научные исследования и осуществляются шаги по практической апробации подходов и методов выбора эффективных способов формирования, контроля и оценивания компетенций и их составляющих как основных результатов реализации программ подготовки специалистов, построенных с учетом требований современной экономики и промышленности. Поставлены и решены следующие задачи, решаемые в рамках *предлагаемого комплексного системного подхода* к управлению качеством подготовки специалистов:

- учтена взаимоувязанность используемого либо проектируемого объекта диагностирования (компонентной структуры компетенций в формате ЗУВ) и средств контроля (тестов обнаружения/поиска) ОП;
- исследованы и обоснованы области целесообразного применения многоуровневых шкал оценивания уровня освоения элементов и компонентов компетенций;
- разработаны безусловные и условные процедуры и алгоритмы обнаружения и поиска компетенций и их составляющих, имеющих недостаточный уровень освоения;
- выполнена разработка и апробация методов количественной оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате;
- привлечены некоторые положения, формальный аппарат и методы смежных областей науки (техническая диагностика, теория автоматического управления, нечеткое управление, теория принятия решения, метрология, информацион-

ные и коммуникационные технологии и т.д.) для их использования и адаптации при разработке и анализе эффективных, алгоритмизируемых и автоматизируемых методов и способов контроля и оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате;

– разработана уровневая система оценивания с использованием аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания, с учетом разработанных методов определения весовых коэффициентов, правил и ограничений по вычислению интегральной оценки;

– предложена структура и содержание информационной специализированной базы данных (БД), в которой должна храниться вся информация о каждом субъекте обучения по результатам освоения им образовательной программы с максимальной детализацией и возможностью доступа и фильтрации по заданному критерию поиска;

– выполнено проектирование автоматизированной информационной системы управления и контроля качества подготовки, в основу обеспечения которой положены предлагаемые в работе методы, способы и алгоритмы.

Сформулированные задачи обуславливают следующую структуру диссертационной работы:

1. Методы стандартизации и менеджмента качества продукции, построенные с учетом разработанных моделей и методов оценки соответствия качества продукции и результативности подготовки (компетентности) специалистов, обеспечиваемой при проектировании и реализации программ подготовки, включая принципы их разработки для разных этапов жизненного цикла продукции и контроля результативности на разных стадиях подготовки.

2. Управление качеством разработки документированной информации для реализации программ подготовки на примере взаимоувязанного проектирования учебного плана (содержание и структура программы) и компетентностной модели (планируемые результаты обучения).

3. Общие подходы и модели определения количественной оценки результативности подготовки.

4. Методы количественной оценки результативности подготовки, включая разработку методики определения дифференциальных и интегральных показателей качества; анализ рисков ошибочного принятия решения об уровне освоения компетенций и их элементов; анализ и рекомендации по применению многоуровневых шкал оценивания.

5. Квалиметрические методы, процедуры и алгоритмы диагностирования уровня компетентности в рамках модулей, дисциплин и разделов программы, использующие аппарат и методы технической диагностики, включая контролепригодное проектирование компонентной структуры компетенций, позволяющей учесть планируемые способы диагностирования результативности обучения по модулю (дисциплине, разделу).

6. Квалиметрические методы оценки результативности подготовки, построенные на основе математических аппаратов алгебраической и нечеткой логики, позволяющие выявить результаты обучения с недостаточным уровнем освоения.

7. Автоматизация процедур проектирования и контроля качества и результативности реализации программ подготовки, включая разработку структуры и обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки; программного инструментария автоматизации проектирования учебно-методических документов и оценивания результативности проверки качества обучения, стандартов системы менеджмента качества.

1.3. Модели и методы оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов

В стандартах и других нормативных документах не содержатся методы и инструментарий для оценивания уровня компетентности, а ее связь с требованиями к качеству продукции недостаточно формализована. Поэтому актуальной является задача разработки и внедрения общей методологии оценки компетентности (результативности подготовки) специалистов и оценки ее соответствия качеству продукции. Такая методология является основой для создания интегрированной

системы управления качеством продукции, поскольку объединяет заданные требования к качеству продукции, трудовым функциям, методы проектирования и реализации подготовки, методы контроля и количественной оценки результативности подготовки (компетентности). Одной из ключевых задач создания указанной системы является разработка моделей и методов оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов, решению которой посвящена настоящая статья.

1.3.1. Требования стандартов к качеству продукции и результативности подготовки

Приведем несколько определений из стандарта ISO 9001:2015:

– качество (quality) – степень, с которой совокупность присущих характеристик объекта соответствует требованиям;

– *требования к качеству* (quality requirement) – потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным, связанное с качеством».

Показатели деятельности (показатели качества – введены ГОСТ 15467.79 и его переизданиями) характеризуют требования к качеству. Показатели качества продукции разделяются на единичные, комплексные, определяющие и интегральные. Определить показатели качества можно с помощью одного из следующих методов – измерительный, регистрационный, расчетный, органолептический, экспертный, социологический. Оценка качества продукции может быть выполнена: оценкой уровня качества продукции; оценкой технического уровня продукции; дифференциальным, комплексным или смешанным методом; статистическим методом. Показатели качества являются индивидуальными и зависят от объектов, систем, процессов и т.п., для которых они определяются.

Основными показателями компетентности является уровень освоения (сформированности) заданного набора компетенций (в терминологии профессиональных стандартов – трудовые функции). От их квалифицированного выполнения зависят качественные и количественные показатели конечного результата профессиональной деятельности. Далее будут предложены модели и методы

оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов.

1.3.2. Модель оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов

Каждый показатель качества может быть единичным, а также может быть учтен в составе комплексного или интегрального показателя качества. В последнем случае качество Q продукции представляется множеством показателей q_k ($k \in [1; l]$), номенклатура и численные значения которых определены стандартами. Под стандартами в рамках отношений «Заказчик – Исполнитель» будем понимать, в том числе, и условия договоров (контрактов). В общем случае $Q = F(q_1, \dots, q_k, \dots, q_l)$, где F – выбранный вид свертки. Подробно вопросы обоснования и выбора комплексного или интегрального показателя качества рассмотрены, например, в [75, 101, 157].

Рассмотрим для определенности образовательные стандарты [151], где установлены направления подготовки специалистов $\{НП_i\}$, каждому из которых соответствуют множества общекультурных компетенций $\{ОК_{ij}\}$ и профессиональных компетенций $\{ПК_{ij}\}$. Сопоставим каждому q_k подмножество выбранных направлений подготовки специалистов из $\{НП_i\}$, а в них – подмножества выбранных общекультурных компетенций из $\{ОК_{ij}\}$ и профессиональных компетенций из $\{ПК_{ij}\}$. Процедура сопоставления может быть реализована на уровне требований предприятий по подбору кадров в виде анкет, опросных листов, собеседований. В этих случаях модели и методы оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов недостаточно формализованы и в значительной степени зависят от «человеческого фактора». Дальнейшая формализация может осуществляться путем построения модели соответствия между элементами множества q_k ($k \in [1; l]$) и множеств $\{ОК_{ij}\}$, $\{ПК_{ij}\}$, а методика будет представлена процедурой перебора элементов множеств. При этом полученные результаты не учитывают степень влияния компетенции на показатель качества. Для реализации этого свойства предложена следующая модель.

Рассмотрим множество показателей качества q_k ($k \in [1; l]$) и множество показателей результативности подготовки K . Соответствие между показателями качества продукции q_k ($k \in [1; l]$) и результативности подготовки в виде совокупности компетенций $K_{i,j}$ ($i \in [1; n]; j \in [1; m_i]$, где m_i – количество компетенций в i -ой группе) как составляющих обобщенного показателя компетентности специалиста может быть представлено моделью ориентированного графа (рисунок 1.3.1) [76]. Вершинами графа являются показатели качества и результативности, а ребрами – их отношения, характеризующие степень влияния конкретной компетенции на конкретный показатель качества: $\lambda_{i,j}^k$.

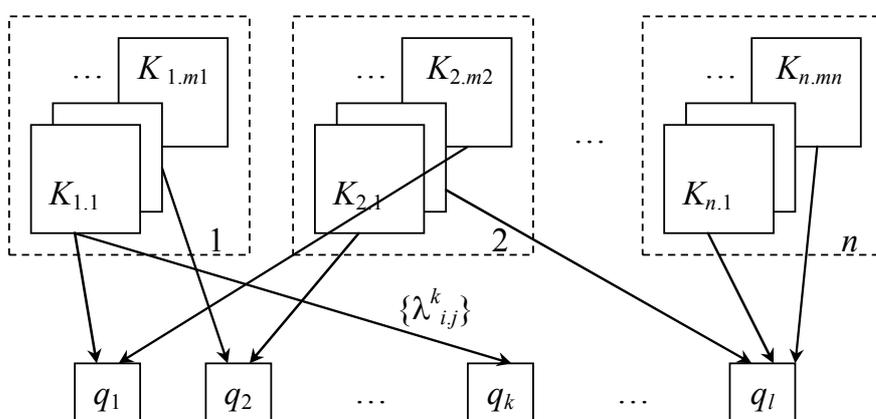


Рисунок 1.3.1 – Модель соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки

Компетенции сгруппированы по определенному критерию, например, принадлежности специалиста к группе (руководство, инженерно-технические работники, рабочие и служащие, вспомогательный и обслуживающий персонал и т.п.), либо по какому-либо другому критерию объединения, либо могут быть не сгруппированы и ранжированы. Графу соответствует матрица смежности (таблица 1.3.1):

Таблица 1.3.1 – Матрица смежности

	$K_{1,1}$	...	$K_{1,m1}$	$K_{2,1}$	...	$K_{2,m2}$	...	$K_{i,j}$	...	$K_{n,1}$	...	$K_{n,mn}$
q_1	$\lambda_{1,1}^1$	...	$\lambda_{1,m1}^1$	$\lambda_{2,1}^1$	...	$\lambda_{2,m2}^1$	...	$\lambda_{i,j}^1$	...	$\lambda_{n,1}^1$	...	$\lambda_{n,mn}^1$
q_2	$\lambda_{1,1}^2$	...	$\lambda_{1,m1}^2$	$\lambda_{2,1}^2$	...	$\lambda_{2,m2}^2$	...	$\lambda_{i,j}^2$	...	$\lambda_{n,1}^2$	...	$\lambda_{n,mn}^2$
...
q_k	$\lambda_{1,1}^k$	...	$\lambda_{1,m1}^k$	$\lambda_{2,1}^k$	...	$\lambda_{2,m2}^k$	...	$\lambda_{i,j}^k$	...	$\lambda_{n,1}^k$	...	$\lambda_{n,mn}^k$
...
q_l	$\lambda_{1,1}^l$	...	$\lambda_{1,m1}^l$	$\lambda_{2,1}^l$	...	$\lambda_{2,m2}^l$	...	$\lambda_{i,j}^l$	...	$\lambda_{n,1}^l$	...	$\lambda_{n,mn}^l$

В модель включаются только те компетенции, которые оказывают влияние хотя бы на один показатель качества, следовательно, строка преобразованной матрицы смежности должна содержать хотя бы один ненулевой элемент.

Введем следующие ограничения: пусть показатель качества q_k определяется влиянием только показателей результативности подготовки и не зависит от влияния других факторов. Тогда примем условия нормализации: $q_k \in [0; 1]$, где 1 – максимально возможное влияние результативности подготовки на данный показатель качества продукции, которое далее может быть пересчитано в единицах конкретного показателя качества Q_k (время, количество, проценты и т.д.); $K_{ij} \in [0; 1]$, где 1 – максимальный уровень освоения компетенции; $\lambda_{ij}^k \in [0; 1]$, где 1 – максимальное влияние компетенции K_{ij} на показатель качества q_k . С учетом введенных соотношений для строк матрицы смежности формулируется условие нормирования:

$$\sum_{j=1}^{mi} \lambda_{i,j}^k = 1, \text{ где } k \in [1; l]; i \in [1; n]. \quad (1.3.1)$$

Степень влияния λ может быть задана экспертно или определена с учетом значимости (принадлежности к группе), заданному уровню сформированности, зависимости от других факторов и т.п. При задании формальных способов определения λ должно быть учтено введенное ранее условие нормирования.

1.3.3. Метод расчета степеней влияния показателей результативности подготовки специалистов на показатели качества продукции

Метод расчета основывается на методе Фишберна, который адаптирован для использования с матрицей смежности. Рассмотрим использование предложенного метода для решения поставленной задачи на примере для заданной матрицы смежности [76]. В ней первоначально ячейки, соответствующие степеням влияния λ , заполняются весами ребер графа модели с учетом значимости *группы* компетенций (или каждой компетенции при отсутствии группировки, или одинаково для всех в предположении, что все компетенции равнозначны). Ранжирование компетенций (и групп) может быть выполнено экспертами (например, в от-

ношении 3:2:1), или с помощью математического аппарата, например, количественной и качественной важности критериев [75, 101]. Для этого формируется совокупность векторов аналитических и/или экспертных оценок заданного набора компетенций, затем векторы ранжируются, группируются по выбранному признаку (например, на три группы), и для каждой группы вычисляется значимость (например, усреднением).

В качестве примера используем экспертно-аналитический метод, в результате применения которого получено отношение 3:2:1 (таблица 1.3.2).

Таблица 1.3.2 – Пример заполнения матрицы смежности

	$K_{1,1}$	$K_{1,2}$	$K_{2,1}$	$K_{2,2}$	$K_{3,1}$	$K_{3,2}$
q_1	3	3		2	1	
q_2		3		2	1	
q_3			2	2		
q_4						1

Формат линейного критерия выглядит следующим образом:

$$q_1 = \lambda^1_{1,1} \cdot K_{1,1} + \lambda^1_{1,2} \cdot K_{1,2} + \lambda^1_{2,2} \cdot K_{2,2} + \lambda^1_{3,1} \cdot K_{3,1};$$

$$q_2 = \lambda^2_{1,2} \cdot K_{1,2} + \lambda^2_{2,2} \cdot K_{2,2} + \lambda^2_{3,1} \cdot K_{3,1};$$

$$q_3 = \lambda^3_{1,2} \cdot K_{1,2} + \lambda^3_{2,2} \cdot K_{2,2};$$

$$q_4 = \lambda^3_{3,2} \cdot K_{3,2}.$$

Знаменатель степени влияния λ равен сумме весов ребер, входящих в критерий. Для рассматриваемого примера это сумма в столбцах 1, 2, 4, 5: ($3 + 6 + 6 + 2 = 17$). Числитель степени влияния λ равен сумме весов соответствующего столбца матрицы смежности. С учетом предложенного метода коэффициенты определяются следующим образом:

$$\lambda^1_{1,1} = 3/17; \lambda^1_{1,2} = 6/17; \lambda^1_{2,2} = 6/17; \lambda^1_{3,1} = 2/17.$$

Условия нормирования (сумма коэффициентов в строке равна 1) выполняются. В результате критерий определения влияния уровня компетентности как показателя результативности подготовки на показатель качества продукции q_1 строится следующим образом:

$$q_1 = 3/17 \cdot K_{1,1} + 6/17 \cdot K_{1,2} + 6/17 \cdot K_{2,2} + 2/17 \cdot K_{3,1}.$$

Значимость критериев можно задавать, изменяя веса ребер графа.

1.3.4. Метод оценки соответствия влияния показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов

Метод оценки соответствия представлен следующими этапами:

1. Определение множества показателей качества, на которые оказывает существенное (значимое) влияние компетентность как показатель результативности подготовки.
2. Определение множества компетенций (например, из анализа трудовых функций профессиональных стандартов; компетентностной модели выпускника образовательного учреждения; должностных инструкций и т.п.).
3. Создание модели в виде ориентированного графа.
4. Формирование матрицы смежности графа.
5. Определение степени влияния каждой компетенции на показатели качества.
6. Заполнение матрицы смежности.
7. Проверка выполнения условий нормирования.
8. Расчет нормализованных значений показателей качества (например, по линейному (аддитивному) критерию, с помощью методов нечеткой логики и т.д.).
9. Пересчет показателей качества в соответствующих единицах.

Использование предложенной методики позволяет решать задачи анализа, определяя, на какую величину нужно увеличить тот или иной показатель λ (зависящий от уровня освоения компетенции) для улучшения результата. Это позволяет запланировать мероприятия по повышению компетентности (повышение квалификации, переподготовку и т.п.).

Приведем пример из результатов внедрения. На предприятии оператора связи определены 6 основных компетенций, сгруппированы так, как показано в таблице 1.3.2 (группа 1 – организационно-управленческая, 2 – проектно-конструкторская, 3 – сервисно-эксплуатационная виды деятельности). По данным аттестации определены следующие обобщенные нормированные показатели компетентности:

$$K_{1,1} = 0,6; K_{1,2} = 0,7; K_{2,1} = 0,9; K_{2,2} = 0,5; K_{3,1} = 0,8; K_{3,2} = 0,7.$$

Для выбранного показателя качества Q_1 , который характеризует среднесуточное количество обращений с жалобами на качество услуг связи, на основании данных статистик и прогнозирования определены максимальное (50) и минимальное значение (10), на которые может оказать существенное влияние фактор компетентности q_1 (примем, что имеет место линейная зависимость). Для текущих показателей компетентности параметры качества равны соответственно $q_1 = 0.62$ и $Q_1 = 25$. Используя разработанный метод и инструментарий моделирования, можно определить, что при повышении уровня каждой компетенции на 0.1 параметры качества будут равны соответственно $q_1 = 0.72$ и $Q_1 = 21$, и повышение качества составляет 16 %. Далее перед службой управления персоналом ставится задача обеспечить повышение квалификации, провести аттестацию и проверить соответствие результативности подготовки заданной цели повышения качества связи.

1.4. Модели и методы оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов

В рамках проектирования и внедрения интегрированной системы управления качеством продукции актуальной задачей является разработка моделей и методов оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки, представленной в компетентностном формате, как одного из наиболее значимых факторов, влияющих на качество продукции. В настоящей статье предложены подходы к решению поставленной задачи.

1.4.1. Модели компетентности как основного показателя результативности подготовки специалистов

Компетентность, проявляющаяся в освоении на заданном уровне совокупности компетенций, является основным показателем *результативности подготовки* (в том числе самостоятельной) специалиста к решению поставленных перед ним профессиональных задач. Компетентность является комплексным показателем

телем качества, складывающимся из набора составляющих – *компетенций* (способность выполнять определенные профессиональные задачи) [151]. Уровень сформированности у специалиста компетенций и, как следствие, уровень компетентности, является основным показателем качества (уровня квалификации), характеризующим готовность к достижению сформулированных целей [105].

Комплексный показатель (компетентность) K можно представить функциональной зависимостью F от всех (или выбранных наиболее значимых) единичных показателей (компетенций) k_i ($i \in [1; n]$, где n – количество показателей) [168]:

$$K = F(k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n). \quad (1.4.1)$$

Таким образом, влияние конкретного показателя k_i определяется через частную производную $\partial K/\partial k_i$. Изменение значения показателя dk_i приведет к изменению интегрального показателя качества dK на величину, зависящую от влияния данного показателя и при условии отсутствия изменений остальных показателей.

Например, функционал может представлять линейный критерий:

$$K = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot k_i, \quad (1.4.2)$$

где значения интегрального показателя качества и факторов нормированы, а сумма весовых коэффициентов равна 1. Тогда влияние показателя k_i представляет собой его весовой коэффициент (показатель важности) $\lambda_i = \partial K/\partial k_i$. Следовательно, изменение (приращение) значения комплексного показателя K определяется как

$$\Delta Q = \lambda_i \cdot \Delta f_i = \partial Q/\partial f_i \cdot \Delta f_i \quad (1.4.3)$$

при условии, что значения остальных факторов не изменились ($\Delta f_j = 0; j \in [1; n], j \neq i$).

При более сложном (нелинейном) виде функционала (мультипликативном, интегральном, дифференциальном, смешанном и т.п.) влияние отдельного показателя оценить значительно труднее [64]. Это требует построения адекватной математической модели или упрощения (например, за счет линейной аппроксимации или исключения из рассмотрения менее значимых показателей).

1.4.2. Анализ соответствия требований профессиональных и образовательных стандартов

Для стандартизации и формализации требований к функциональным обязанностям работников разработаны и утверждены приказами Министерства труда РФ *профессиональные стандарты* по основным отраслям экономики (например, [105]). Они предназначены для распределения профессиональных обязанностей, приема новых сотрудников, перевода, аттестации и других действий по управлению персоналом.

В профессиональном стандарте указывается цель вида профессиональной деятельности, в которой отражены этапы жизненного цикла соответствующих объектов. Также предлагается функциональная карта вида профессиональной деятельности, в которой указываются *обобщенные трудовые функции* (ОТФ), детализируемые до конкретных *трудовых функций* (ТФ) с указанием уровня (подуровня) требуемой квалификации, который может быть использован как эквивалент оценки качества ее выполнения.

Перечень трудовых функций с указанием соответствующего уровня квалификации представляют собой *требования* к работнику, занимающему определенную должность. К ним добавляются требования к образованию и обучению (ТОО), опыту практической работы (ТОПР) и особые условия допуска к работе (ОУДР). Должности позиционируются по отношению к *Общероссийскому классификатору занятий* (ОКЗ) и *Общероссийскому классификатору специальностей по образованию* (ОКСО). Требования стандарта могут быть дополнены (расширены, конкретизированы), исходя из потребностей предприятия или организации, и закреплены внутренними (локальными) нормативными документами. На рисунке 1.4.1 приведена взаимосвязь основных терминов и положений профессионального стандарта.

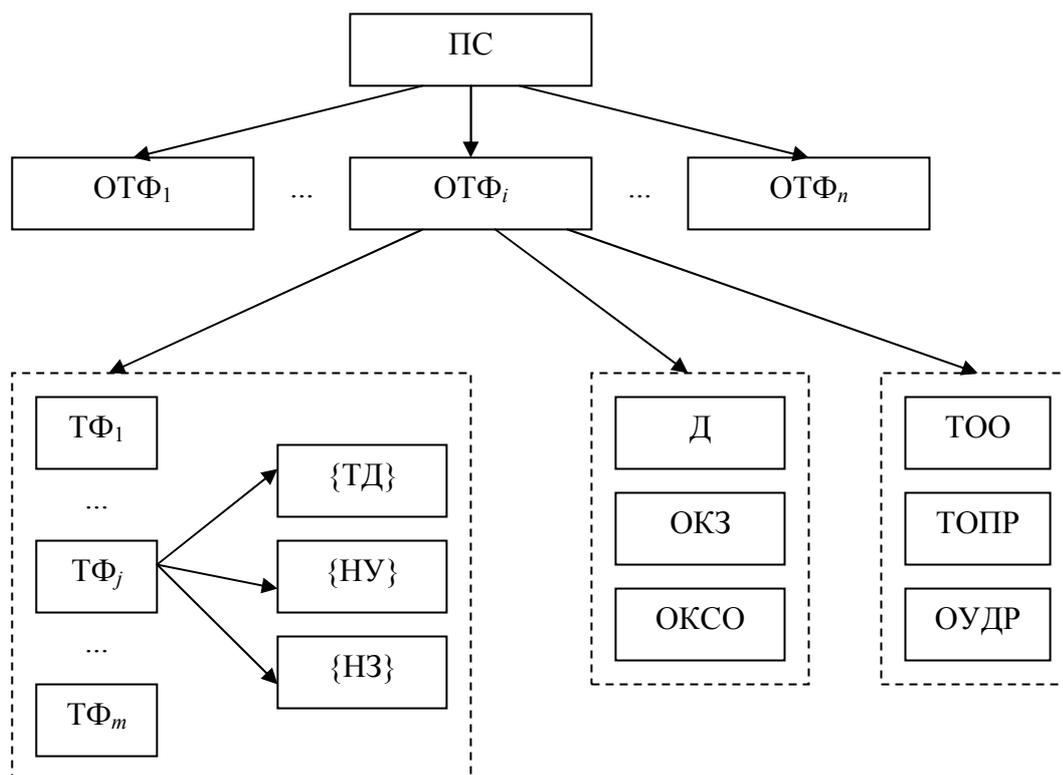


Рисунок 1.4.1 – Структура и содержание профессионального стандарта

Каждая ТФ декомпозируется на трудовые действия (ТД); необходимые умения (НУ); необходимые знания (НЗ). Таким образом, каждая ТФ представляет собой *часть* компетентности (компетенцию), а ее составляющие – *компонентную структуру* компетенции, аналогичном формате «знания», «умения», «владения» (ЗУВ). Задача программ подготовки (в рамках системы среднего специального или высшего профессионального образования, повышения квалификации, переподготовки и т.п.) – сформировать заданный требованиями программы набор компетенций и составляющих их компонентной структуры. Поэтому для решения проблемы обеспечения *соответствия результатов подготовки требованиям профессиональных стандартов* необходимо установить формальное и качественное их *соответствие*. Это предлагается сделать при помощи *операторов соответствия* (например, в виде матрицы соответствия), в которых указывается соответствие трудовой функции и компетенции, детализированное до уровня соответствия составляющих трудовой функции и компонентной структуры компетенции (рисунок 1.4.2). В качестве оцениваемых показателей результативности могут выступать оценки, полученные в результате промежуточных и итоговых аттестаций в рамках реализуемой программы. Качество и адекватность указанных оценок тем

выше, чем активнее участие представителей работодателей в процессах проектирования и реализации программы (как руководителей практик и стажировок, выпускных квалификационных работ, членов аттестационных комиссий и т.п.).

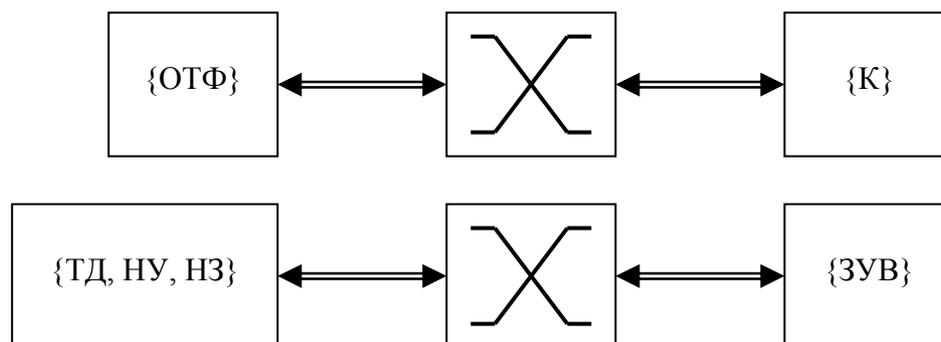


Рисунок 1.4.2 – Модель соответствия требований профессионального стандарта и результатов реализации программ подготовки

На практике возможен такой вариант, когда невозможно будет определить однозначное соответствие, и понадобится использовать операции предварительной обработки (например, агрегирование, декомпозиция и т.п.). Это потребует предварительной обработки оценок результативности (операциями «свертки», «дешифрации» и т.п.).

Оператор соответствия может быть представлен в виде матрицы соответствия (таблица 1.4.1). Для ее построения из профессионального стандарта выписываются трудовые функции и их структура (ТД, НУ, НЗ), а из результатов программы подготовки специалистов (например, из образовательной программы выпускника вуза, удовлетворяющей требованиям ПС) – компетенции (в большинстве случаев – профессиональные) с их компонентной структурой (ЗУВ).

Например, в ПС [4] «Специалист по радиосвязи и телекоммуникациям» 3 ОТФ, 7 ТФ, а в соответствующем стандарте ФГОС ВО [3] – 7 ОПК, 6 ПК производственно-технологической деятельности и 9 ПК проектной деятельности (выберем только указанные два как наиболее подходящие для сформулированной в ПС основной цели профессиональной деятельности). Далее составляется покрытие матрицы [7], оцениваемое в столбце W и строке V для дальнейших действий по установлению соответствия при неоднозначном отображении ($W > 1$ или $V > 1$).

Таблица 1.4.1 – Матрица соответствия

		K ₁			K ₂			...	K _n			W
		З	У	В	З	У	В	...	З	У	В	
ТД ₁	НЗ				х			...				1
	НУ		х					...		х		2
	ТД			х				...			х	2
ТД ₂	НЗ	х			х			...	х			3
	НУ					х		...				1
	ТД							...			х	1
∴
ТД _m	НЗ				х			...				1
	НУ		х					...				1
	ТД						х	...			х	2
V		1	2	1	3	1	1		1	1	3	

1.4.3. Метод установления соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов

Предлагается следующая последовательность действий:

1. Выбор профессиональных стандартов, соответствующих поставленным целям и задачам, и формирование перечня необходимых ОТФ и ТФ.
2. Определение требований к персоналу, предъявляемых профессиональными стандартами.
3. Дополнение требований из внутренних (локальных) нормативных документов предприятия или организации.
4. Выбор программ подготовки (системы образования, повышения квалификации, переподготовки и т.п.), которые соответствуют заданному перечню ОТФ и ТФ из выбранных профессиональных стандартов, и формирование перечня показателей результативности подготовки в формате компетенций и их детализированной структуры – ЗУВ.
5. Составление оператора соответствия (например, в виде матрицы).
6. Проведение необходимой обработки, например, путем агрегирования или декомпозиции элементов, чтобы обеспечить полное покрытие.

7. Выполнить анализ показателей результативности программы и на его основе определить уровень компетентности, соотнести его с требуемым уровнем квалификации специалиста, заданной требованиями профессиональных стандартов.

8. При необходимости повышения показателей результативности программы выбрать результаты с недостаточными показателями, провести дополнительную подготовку (или самоподготовку) и повторно выполнить п 7.

1.5. Создание методологии проектирования и реализации программ подготовки специалистов

Современный этап развития двухступенного (бакалавр-магистр) образовательного процесса Высшей школы, в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС), характеризуется новыми принципами формирования учебных планов, учебно-методических комплексов дисциплин (УМКД), фондов оценочных средств (ФОС) и рабочих программ профильных дисциплин (РППД). В основе указанных новаций лежит большая самостоятельность и свобода выбора педагогом номенклатуры дисциплин, их позиционирование, тематики, содержания и структуры различных видов занятий в рамках вариативной части учебного плана, а также компетентностно-ориентированный подход к подготовке и оценке результатов обучения студентов. Указанные факторы требуют пересмотра сложившихся представлений об организации и управлении учебным процессом, поиском новых подходов к решению проблемы построения эффективной программы подготовки. В данном разделе рассматривается одно из возможных решений этой сложной и слабоформализуемой задачи, основанное на применении модулей «Вектор развития направления» (ВРН) подготовки специалиста и сформулированных и структурированных «Квалификационных требованиях работодателей» (КТР) по направлению и профилю подготовки [50].

Проблемой проектирования программ профессиональной подготовки занимаются многие ученые в России и за рубежом. Так, например, в работах [186, 187]

приведены требования к компетентности выпускников инженерных программ, их соответствие международным образовательным стандартам. В работах [6, 24] предложен подход к проектированию программ подготовки на основе самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов. В [17] предложена модель планирования и оценивания ожидаемых результатов обучения. В [25] предложены механизмы и инструменты подготовки кадров к инновационной деятельности, основное внимание уделено содержательным аспектам подготовки. В работах [47, 50, 95] рассмотрены теоретические аспекты применения компетентностного подхода в образовании, в частности, без учета управления в рамках концепции SMK.

Суть и новизна предлагаемого решения состоит в системном подходе и взаимоувязывании требований вектора развития направления, квалификационных требований работодателей, требований системы менеджмента качества. Указанный подход, позволяющий целенаправленно формировать и оценивать основные составляющие компетенций – знания, умения и владения по каждой профильной дисциплине, противопоставляется сложившемуся традиционному автономному (изолированному) подходу к разработке РППД, при котором педагог разрабатывал и видел только свою дисциплину и во многих случаях не мог обосновать ни ее актуальность, ни ее содержание, ни ее взаимосвязь с другими профильными дисциплинами и требованиями рынка специалистов.

Правильно построенная программа позволит аргументировано обосновать целесообразность выбора профильных дисциплин (в рамках вариативной части учебного плана), их содержание, отсутствие дублирования тематики в разделах других профильных дисциплин, наличие, а не декларация, реальных компетенций, и перейти от концепции «читаю (обучаю), что знаю» к концепции «знаю, что и зачем читаю» и, в конечном итоге, способствовать успешному трудоустройству по специальности выпускников соответствующего направления.

1.5.1. Модель процесса подготовки – многоконтурная и многосвязная система управления

Для эффективной работы предлагаемая система организации учебного (образовательного) процесса (УП) должна отвечать основным свойствам любой сис-

темы управления сложным процессом, а именно **устойчивости, управляемости, наблюдаемости.**

Под устойчивостью учебного процесса [50] понимаем свойство сохранять требуемое состояние, в которое переведен процесс, корректирующими (возмущающими, управляющими) воздействиями и характеризующееся новыми параметрами процесса, в частности, различными видами профильных занятий и их содержанием в рамках учебно-методического комплекса дисциплин (УМКД или РППД). При этом новое состояние должно сохраняться и после снятия возмущающих воздействий. Возмущающими воздействиями являются **изменения** квалификационных требований работодателей, выбранного вектора развития направления, стандартов отраслей, обусловленные изменением конъюнктуры рынка труда, развитием информационных технологий, нормативно-технической базы и другими факторами. Следовательно, устойчивый УП позволит сформировать и сохранить новое состояние с требуемыми параметрами для последующих выпусков квалифицированных специалистов.

Можно считать, что учебный процесс, формирующий необходимые компетенции (знания, умения и владения) студентов и выпускников на промежуточных и итоговых рубежах, является в известной мере **структурно устойчивым**, с точки зрения методологической базы в виде УМКД, отвечающих современным требованиям ФГОС. В тоже время следует отметить, что с позиций непрерывных изменений КТР, ВРН, перехода на 2-х ступенчатое образование, введение вариативной части учебного плана и прочих факторов УП требует перманентной коррекции. Поэтому не менее важными и значимыми являются такие свойства системы, как **управляемость и наблюдаемость**, которые являются обязательными для синтеза и анализа многомерных систем с требуемым качеством. Анализируемый УП, с традиционной точки зрения, может рассматриваться как многомерная система, в которой **задающие (управляющие) воздействия**, сформированы в виде ВРН, КТР, а **выходные переменные в виде сформированных компетенций.**

Под управляемостью системы [50] понимается возможность перевода системы из любого состояния в требуемое за конечный интервал времени путем

задания (изменения) входного воздействия. Конечность интервала времени обеспечивается временем обучения. Выбранный ВРН, отвечающий современным требованиям и тенденциям развития отрасли, наряду с КТР, формируют актуальный набор как обязательных, так и вариативных дисциплин и являются основой управляемости образовательным процессом. Управляемый УП позволяет отработать актуальные изменения возмущающих воздействий, переводя процесс в требуемое состояние, изменив содержание РППД (УМКД), т.е. параметры (**внутренние переменные**) УП, обеспечивающие необходимые компетенции студентов.

Наблюдаемость системы [50], являющаяся дуальным понятием управляемости, означает, **что все переменные состояния** должны быть непосредственно или косвенно оценены по выходному вектору. Если изменение какой-либо переменной не влияет на выходной вектор, то имеет место неполная наблюдаемость системы либо избыточность переменной. Очевидно, что переменные состояния образовательного процесса влияют на степень освоения знаний, или формирование отдельных компонент компетенций. Измерителями текущего состояния системы являются контрольные мероприятия (КМ), как текущие, так и рубежные. Разработка валидного контрольно-измерительного аппарата, включающего в себя различные формы, такие как тесты, курсовые работы, индивидуальные занятия, – является одним из важнейших моментов образовательного процесса, обеспечивающего полную наблюдаемость системы.

Для эффективного функционирования данная система должна обладать определенными показателями качества, которые должны обеспечивать корректирующие мероприятия, являющимися по своей сути регуляторами. Поскольку **образовательный процесс представляет многоконтурную, многосвязную систему управления (ММСУ)**, включающую организационную, методическую, техническую, нормативную базы, то разработка корректирующих мероприятий является важной и сложной задачей, связанной в первую очередь с формированием вариативной части учебно-методического комплекса профильных дисциплин (УМКД или РППД) на основе ВРН, КТР и СМК. Данная задача решается в настоящем разделе на примере подготовки бакалавров и магистров направления

11.03.02 и 11.04.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и сети связи», обладающих необходимыми компетенциями, востребованных современным рынком труда специалистов указанного профиля (рисунок 1.5.1). При этом следует подчеркнуть, что обсуждаемые принципы организации многоканального управления учебным процессом, а также полученные результаты и рекомендации могут использоваться при подготовке специалистов других направлений [205].

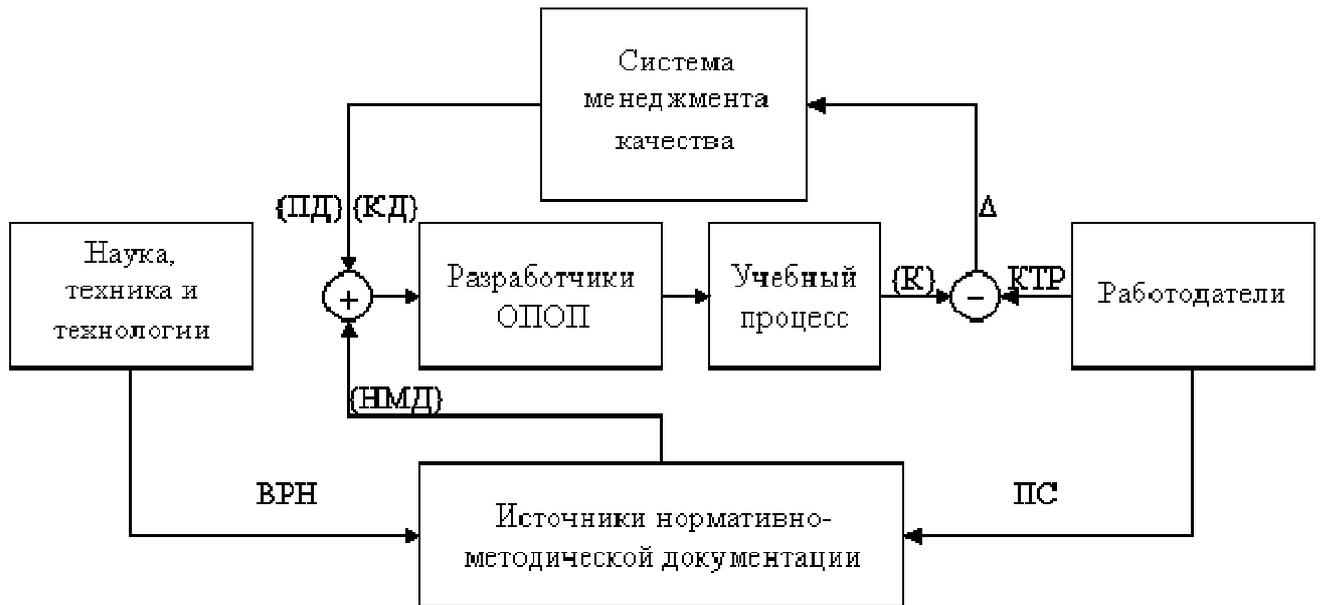


Рисунок 1.5.1 – Модель управления и контроля процесса подготовки

Дадим описание модели управления и контроля процесса подготовки по направлению 11.03.02 (210700), приведенной на рисунке 1.5.1. *Источники нормативно-методической документации* (например, Министерство образования и науки РФ, Учебно-методическое объединение вузов по образованию в области инфокоммуникационных технологий и систем связи, и т.д.) формируют *нормативно-методическую документацию* (НМД) для разработки основных профессиональных образовательных программ (ОПОП). Основой для направления 11.03.02 (210700) являются, с одной стороны, достижения *науки, техники и технологий*, нашедшие отражение, например, в концепции сетей связи следующего поколения (NGN), современных и перспективных инфокоммуникационных технологиях, аппаратурно-программном обеспечении сетей связи и систем коммутации, пользовательских услугах (сервисах) и т.д. С другой стороны, обязательным

являет учет обобщенных или конкретизированных требований потенциальных *работодателей* (например, региона, города и т.д.), которые являются основными «потребителями» выпускников вуза. Для направления подготовки 11.03.02 (210700) это могут быть: *системные интеграторы*, ориентированные на внедрение и сопровождение корпоративных систем связи; *операторы связи*, решающие задачи предоставления широкого спектра инфокоммуникационных услуг населению и предприятиям региона; *разработчики аппаратного и программного обеспечения* инфокоммуникационного оборудования; *подразделения на непрофильных предприятиях и организациях*, отвечающие за сопровождение и развитие систем связи и сетей передачи данных; *разработчики распределенных информационно-управляющих систем*, проектирующих и внедряющих системы автоматизации процессов жизнеобеспечения помещений, домов и комплексов зданий и объектов критической инфраструктуры города.

Нормативно-методическая документация содержит, например, образовательные стандарты (государственные или самостоятельно установленные вузом), положения, правила, распоряжения, приказы, примерные учебные планы, типовые рабочие программы дисциплин и т.п. Достижения науки, техники и технологий могут быть представлены в виде *вектора развития направления* (ВРН), для направления подготовки 11.03.02 (210700) четко сформулированного в концепции NGN. Требования ВРН и НМД дают необходимую информацию *разработчикам* ОПОП для проектирования необходимо документации, а именно: компетентностных моделей выпускника; базового (или рабочих) учебных планов для каждого профиля (специализации, магистерской программы); набора учебно-методических комплексов дисциплин; программы практик и научно-исследовательской работы (НИР); программ государственной итоговой аттестации и т.д.

На основании разработанной документации ОПОП реализуется *учебный процесс*. Результатами обучения, представленными в компетентностном формате, является совокупность сформированных на заявленном уровне *компетенций* и их составляющих (дисциплинарных компетенций и компонентов «знать», «уметь», «владеть» для каждой из них). Для оценки качества обучения они должны быть

сравнены с потребностями работодателей. Они могут быть сформулированы в виде *квалификационных требований работодателей (КТР)*, детализирующих профессиональные задачи, к решению которых должен быть готов выпускник. На основании сравнения выявляется *несоответствие (Δ)*, которое анализируется в процессе *управления и контроля качества*. На основании проведенного анализа вырабатываются *предупреждающие действия (ПД)* и/или *корректирующие действия (КД)* по коррекции документации или иных (организационных, материально-технических, кадровых и т.д.) ресурсов ОПОП. Очевидно, что быстрое действие коррекции определяется сроком обучения, масштабом, возможностями подразделения вуза, реализующего ОПОП, и т.д. Например, возникает необходимость в усилении практической составляющей (введение дополнительного лабораторного практикума) по одной из дисциплин; разработке учебно-методического пособия; смене ведущего преподавателя; закупке инструментария моделирования и т.п.

Методология проектирования и реализации программ подготовки специалистов *включает*: 1) Выбор и обоснование вектора развития направления; 2) требований потребителя в формате КТР; 3) Разработку методов и процедур управления и контроля качества подготовки на разных стадиях реализации программы в рамках СМК.



Рисунок 1.5.2 – Схема процесса менеджмента качества на этапе проектирования программы

На рисунке 1.5.2 представлена структурная схема процесса менеджмента качества на этапе проектирования образовательной программы (программы подготовки) и построенная в соответствии с требованиями стандартов ISO 9000:2015 и ISO 9001:2015. Одной из ключевых особенностей процесса проектирования является проводимый в фазе планирования риск-менеджмент [7], связанный с анализом последствий построения и последующей реализации программы (эффективность, востребованность, масштабируемость и т.д.).

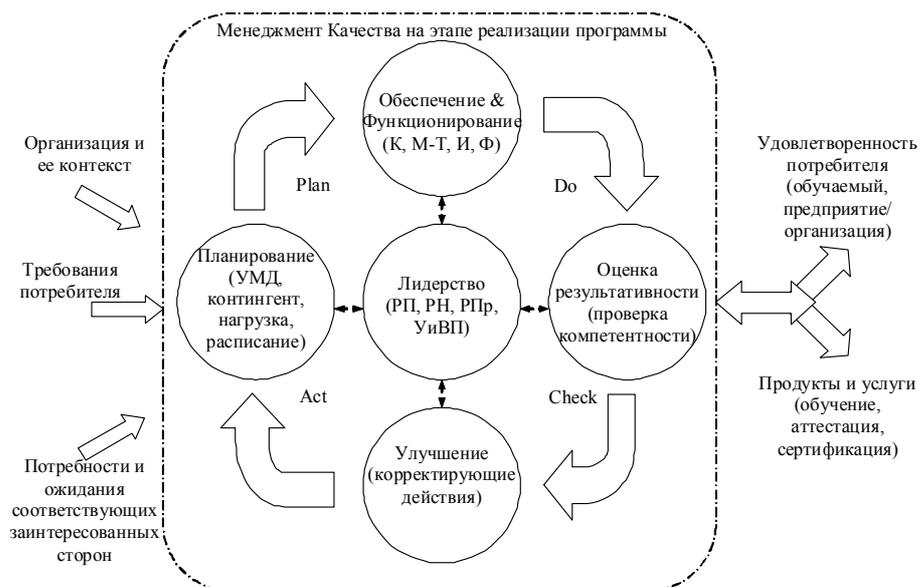


Рисунок 1.5.3 – Схема процесса менеджмента качества на этапе реализации программы

На рисунке 1.5.3 представлена структурная схема процесса менеджмента качества на этапе реализации образовательной программы (программы подготовки) и построенная в соответствии с требованиями стандартов ISO 9000:2015 и ISO 9001:2015. Особенностью процесса реализации является диагностирование, дешифрация и оценивания результативности обучения по уровню освоения компетенций и их составляющих, реализуемых в модулях (дисциплинах) и разделах программы; указанные задачи решаются в рамках диссертационной работы.

Правильная организация учебного процесса, учитывающая требования СМК, положения вектора развития направления, квалификационные требования работодателей, нормативно-методическую документацию, эффективные способы формирования и средства контроля компетенций и их составляющих, современ-

ные образовательные технологии и т.д. позволят обеспечить высокий уровень подготовки и востребованность выпускников.

1.5.2. Требования к вектору развития направления подготовки

Вектор развития направления подготовки должен учитывать современное состояние, тенденции, динамику развития соответствующей отрасли и тем самым определять обоснованный и актуальный выбор вариативной части учебного плана, в частности: перечень дисциплин и, в первую очередь, профильных, содержание и тематику всех видов занятий дисциплины (лекций, лабораторных работ, практических занятий, курсовых проектов, выпускных квалификационных работ (ВКР), тематику самостоятельной работы, подбор методического материала и др.), направление развития соответствующего сектора кафедры, его лабораторно-методическую базу и инфраструктуру. Поэтому корректный выбор ВРН является ответственным шагом при построении учебного процесса, отвечающего требованиям ФГОС, современным ключевым требованиям работодателей и залогом успешности в профессии выпускников вуза.

Приступая к разработке РППД, необходимо выбрать и сформировать вектор развития направления подготовки специалиста и структурированный вариант квалификационных требований «продвинутых» работодателей, сформулировать объекты и предметы изучения, используя ВРН и КТР. При этом квалификационные требования работодателей, в частности, могут быть использованы для обоснования предпочтения (приоритета) при выборе объекта и предмета изучения в случае неоднозначности (многовариантности) возможного выбора. Отметим, что в процессе эволюционного развития ИКТ и конъюнктурных требований рынка инфокоммуникационных сетей (ИКС), изменениям могут подвергаться и сам вектор развития направления, и квалификационные требования работодателей. Поэтому в случае появления новых технологий, сервисов, квалификационных требований работодателей, корректируются соответствующие разделы РППД.

Кроме того, формируя разделы и тематику РППД для всех видов занятий, необходимо учитывать основные направления работы бакалавров и магистров, а именно:

– бакалавр должен уметь решать, в первую очередь, задачи, связанные, в основном, с производственными этапами жизненного цикла ИКС, а именно: изготовлением, эксплуатацией, сопровождением и сервисным обслуживанием ИКС (традиционных и перспективных) и их компонентов;

– магистр должен уметь решать задачи, связанные со всеми этапами жизненного цикла ИКС, т.е. помимо указанных выше: планированием, разработкой, проектированием (включая верификацию) и усовершенствованием (upgrade).

В приложении А проиллюстрирован пример выбора ВРН для направления подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

1.5.3. Структурированное представление квалификационных требований работодателей

Анализ КТР, помимо решения задачи разработки РППД, стимулирует студентов к более глубокому и целенаправленному изучению и выбору профильных дисциплин направлений и привлекает внимание будущих абитуриентов. Поэтому мы придаем большое значение публикации доступных нам КТР как предприятий эксплуатирующих ИКС, в частности операторов связи, так и предприятий, проектирующих и производящих аппаратуру связи. Заметим следующее: если работодатель формулирует квалификационные требования в произвольном виде, они должны быть структурированы по правилам, т.е. детализированы, дополнены и согласованы с существующим ВРН и соответствовать следующим требованиям:

– единая форма представления КТР для всех заинтересованных предприятий, работающих в области инфокоммуникаций;

– форма представления КТР должна содержать разделы с информацией об используемых и планируемых к внедрению технологиях в эксплуатируемых или разрабатываемых ИКС и их компонентах, полном перечне инженерных вакансий, для каждой из которых нужно указать обязанности и требования к соискателю.

Считаем желательным также указывать в требованиях к соискателю каждой инженерной вакансии перечень профильных дисциплин, в которых изучались вопросы, интересующие работодателя (например, с использованием ссылок). В [50]

приведен пример КТР в области проектирования и эксплуатации инфокоммуникационных систем и сетей, структурированных по предложенным правилам.

1.5.4. Методика разработки программ профильных дисциплин

Основные этапы методики разработки РППД могут быть графически представлены в виде следующей линейной последовательности операторов выбора (рисунок 1.5.4).

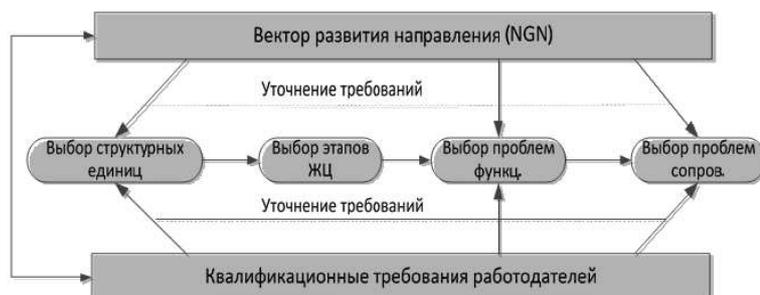


Рисунок 1.5.4 – Графическое представление основных этапов методики

Взаимосвязь разрабатываемой РППД с ВРН и КТР и учет требований СМК по контролю результативности позволяет аргументировано выбрать профильную дисциплину, разработать содержание РППД, указать ее место (позиционировать) в учебном плане, показать ее связи с подсистемами и задачами, решаемыми традиционными или перспективными инфокоммуникационными технологиями и системами, приобретать компетенции, реально способствующие трудоустройству выпускников на современном рынке специалистов в области инфокоммуникационных технологий и систем.

В приложении А представлен пример фрагмента учебного плана, в котором выполнено позиционирование профильных дисциплин. Там же приведены одноступенные *идентификаторы структурных единиц* для структур ВРН, предназначенные для выделения основных структурных элементов при их обозначении в РППД, соотнесенные с этапами жизненного цикла аппаратуры и сетей связи. С их помощью определяются покрытие профильными дисциплинами всех профессиональных задач, которые должен решать выпускник.

1.5.5. Подход к оценке компетентности обучаемых по программе подготовки специалистов

Будем считать, что УП и РППД разработаны и утверждены в соответствии с предложенным выше подходом. Тогда можно переходить к следующим задачам, связанным с оценкой компетенций выпускника и студента. В классической теории управления эта задача позиционируется как «задача наблюдаемости». Рассмотрим возможный подход к решению поставленной задачи [50].

Компетенции можно позиционировать как вектор, компонентами которого являются знания, умения и владения (навыки), учитывающие КТР ведущих работодателей и требования ФГОС (бакалавриата или магистратуры). Таким образом, ставятся следующие частные задачи для каждого из оцениваемых субъектов:

1. Разработать критерии и методику количественной оценки знаний.
2. Разработать критерии и методику количественной оценки умений.
3. Разработать критерии и методику количественной оценки владений и опыта деятельности, которые, в свою очередь, обеспечат возможность создания критерия и методику количественной оценки компетентности выпускника.

Решением первой задачи (**оценка знаний**) являются тесты, разрабатываемые преподавателем, ведущим профильную дисциплину. Результат тестирования сравнивается с некоторым порогом, который соответствует уровню усвоения материала, устанавливаемым педагогом, и выносится решение (суждение) о наличии знаний. Можно рекомендовать согласование программ ПД, включая содержание лекций, тесты, экзаменационные билеты, тематику практических работ, заданий на курсовое проектирование, программу производственной и преддипломной практик с представителями ведущих фирм региона, являющихся основными работодателями. Эта задача во многом сегодня уже решена. В тоже время этот подход может быть рекомендован на протяжении всего цикла обучения, включая выпускные экзамены.

В качестве **оценки умений** рекомендуется использовать различные количественные показатели (в том числе и тесты), оценивающие умение ставить и решать теоретические задачи, проведение исследований, создание учебных проек-

тов, применения учебно-производственных САПР и стандартных методик оценки числовых характеристик систем и решения других задач, возникающих на всех этапах жизненного цикла изделий, компонентов и систем. Целесообразно применять тестовые процедуры защиты отчетов лабораторных работ, заданий по практикам, проектам и пр. При этом оцениваемые работы по профильным дисциплинам должны носить комплексный характер (а не разрозненные, не связанные между собой по тематике элементы) и защищаться перед комиссией из разных профильных специалистов.

Решением третьей из сформулированных задач (**оценка владений**) могут быть показатели, оценивающие успешность выполнения реальных заданий, согласованных с работодателем, производственных практик, программ профильных магистратур, производственные задания по трудовым договорам (соглашениям) студентов, привлекаемых к работе на предприятиях в течение семестров и выполняемые ими под руководством ведущих специалистов фирм, тематика выпускных квалификационных работ и пр. Защита результатов названных производственных заданий, демонстрирующая наличие знаний, умений и владение профессиональными навыками, должна проводиться перед комиссией, состоящей из представителей кафедры и ведущих фирм, на квалификационные требования которых с учетом требований ФГОС ориентируется кафедра.

Предлагаемая методология проектирования программ подготовки апробирована в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, а также в вузах-партнерах по совместно реализуемым образовательным программам. Она может быть использована для программ подготовки кадров на предприятиях при соответствующем масштабировании и адаптации.

1.6. Выводы по главе

1. Выполнен анализ стандартов и требований к управлению качеством подготовки специалистов на этапах жизненного цикла продукции; выделен перечень

нерешенных задач, что позволило обосновать актуальность работы и построить структуру исследования.

2. Рассмотрены и решены задачи формализованного представления соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов, представленной в компетентностном формате. Рассмотрены как модели «жесткого» соответствия показателей качества, так и учитывающие степень влияния конкретной компетенции на конкретный показатель качества. Предложенные модели и методы оценки инвариантны к составу множеств показателей качества и разного рода компетенций, поэтому предложенный подход позволяет выполнить обобщенное оценивание влияния уровня компетентности на результат профессиональной деятельности. Используемый метод ранжирования позволяет управлять процессом оценивания, обоснованно корректируя степени влияния соответствующих показателей на значение интегрального показателя качества продукции.

3. Приведены результаты решения частной задачи оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов. Построена модель комплексного показателя компетентности, которая позволяет определить его зависимость от составляющих его элементов (компетенций), являющихся результатами реализации программы подготовки специалистов в образовательном учреждении или подразделении предприятия или организации. Предложен метод формирования оценки соответствия требований профессионального стандарта и результативности подготовки, позволяющий реализовать операцию соответствия между структурой профессионального стандарта и компонентной структурой компетенций как результата обучения по программе подготовки.

4. Разработана общая методология проектирования и реализации программ подготовки специалистов, построенная на взаимоучете требований системы менеджмента качества, образовательных и профессиональных стандартов, достижений науки, техники и технологии и квалификационных требований работодателей региона. Предложенный комплексный системный подход позволяет решить задачи

обоснования актуальности и необходимости изучаемых учебных модулей, дисциплин и разделов программы, выбора и порядка следования дисциплин (взаимозависимость), изучаемых на разных уровнях подготовки, что способствует востребованности и трудоустройству бакалавров и магистров на рынке труда.

5. В рамках предложенной методологии сформулированы требования и порядок формирования основных составляющих этапов проектирования и реализации программ подготовки, а именно: выбор вектора развития направления; формата и содержания квалификационных требований работодателей (потребителей); методика построения рабочей программы профильной дисциплины. Выполнение сформулированных требований позволит построить эффективную и востребованную программу подготовки специалистов.

Основные результаты исследований, рассмотренные в настоящей главе, опубликованы в работах [52, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 70, 72, 73, 76, 154, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170].

Глава 2. Управление качеством программ подготовки специалистов на этапе проектирования и документирования информации

В данной главе исследуется комплексный подход к управлению качеством программ подготовки, реализуемый на этапе проектирования, который заключается: в совместном проектировании основных документов программы; применении эффективного сочетания способов и средств формирования и контроля частей и элементов компетенций в рамках учебно-методического комплекса дисциплины; использовании предложенной методики контролепригодного (с учетом планируемых методов контроля и оценивания) проектирования компонентной структуры компетенции. Это позволит формализовать процесс разработки УМКД, а также построить эффективную структуру формирования и контроля элементов компетенций в рамках конкретной дисциплины (модуля, раздела). Результаты могут быть также использованы в любых программах подготовки кадров в силу схожести, с учетом масштаба, их структуры и формата представления результатов обучения.

Вопросы управления качеством программ рассматривались в работах [6, 17, 44, 79], для которых характерен, как правило, подробный анализ одного конкретного элемента структуры программы. Однако в них не были достаточно подробно изложено решение задач *совместного* (взаимоувязанного) проектирования, в частности, структуры планируемых результатов (компетентностной модели) и содержания (учебного плана), способов и средств формирования и контроля элементов компонентной структуры и методов диагностирования. Совместное проектирование даст эффективные и формализованные решения, что позволит алгоритмизировать и автоматизировать процедуру разработки основных документов программы.

2.1. Разработка и исследование модели управления и контроля качества на разных стадиях реализации программ подготовки специалистов

Процессы управления и контроля качества привязаны к определенной стадии процесса обучения (например, в наиболее расширенном варианте – для системы

высшего образования: теоретическое обучение (блоки дисциплин, разделы – практики, научно-исследовательская работа) и государственная итоговая аттестация; или в сокращенном варианте: теоретическое обучение; лабораторный практикум; аттестация (сертификация)). Каждая стадия требует проработки вопросов эффективной организации и обеспечения заданной результативности. Поэтому предлагаемая модель рассматривает походы к решаемым задачам управления и контроля качества подготовки для каждой стадии реализации программы подготовки, затрагивая вопросы формирования и контроля уровня освоения компетенций и их составляющих как планируемых показателей результативности обучения.

Проблемы управления и контроля качества, актуальные для подготовки квалифицированных специалистов, рассматривались в работах ведущих ученых. Например, в работах [39, 40] даны общие рекомендации по формированию и оцениванию компетенций в образовательной программе, но без детального структурирования и учета особенностей стадии, на которой каждая из них формируется. В работе [44] проиллюстрирован компетентностный подход к оценке результатов обучения, в котором недостаточно подробно отражен учет вклада каждой составляющей (модуля, дисциплины, раздела) в формирование результата. В работах, посвященных менеджменту качества в образовательных учреждениях [82, 83, 84], рассмотрены процессы планирования и контроля образовательного процесса с учетом стандартов и требований СМК, без детализации процесса мониторинга атомарных составляющих показателей результативности подготовки. В фундаментальных исследованиях [46, 89, 90, 110] проанализированы проблемы оценки качества образования, показана сложность их количественной оценки, предложены общие направления для решения указанных задач.

Отличием и особенностью предлагаемой модели является то, что она построена для анализа проблем управления и контроля качества обучения на разных стадиях реализации процесса подготовки, и состоит из ряда *частных* моделей, который отражают отдельные процессы формирования и оценивания результативности программы. Исходными данными для разработки общей и частных моделей является документированная информация по структуре и содержанию программы

подготовки, созданная на этапе проектирования: планируемые результаты (компетентностная модель); последовательность реализации (учебный план, учебно-методические комплексы дисциплин и разделов программы), обеспечение (методические рекомендации по применению фондов оценочных средств, определению показателей качества подготовки на разных стадиях реализации).

2.1.1. Формирование компетенций как основных результатов теоретического обучения по программе подготовки

Требования к результатам освоения программы подготовки специалистов заданы в формате компетенций. Термин «компетенция» имеет много различных толкований и определений, но, в общем, может быть описан как способность (готовность) выпускника к решению профессиональных задач с активным использованием социально-личностных и коммуникативных качеств. На формирование социально-личностных качеств, что немаловажно и для успешной профессиональной деятельности, и формирования выпускника как гражданина, ориентированы *общекультурные* компетенции, которые формируются, в первую очередь, гуманитарными и социально-экономическими дисциплинами и подкрепляются во время прохождения практик и выполнения научно-исследовательской работы [49]. *Профессиональные* компетенции формируются, как правило, в процессе изучения профессиональных (профильных) дисциплин, а также разделов практик и научно-исследовательской работы учебного плана [71].

Компетенция, как сложный объект, кроме декомпозиции на *части* в соответствии с формирующими ее дисциплинами и разделами учебного плана ОП, имеет *компонентную структуру*. Она строится на основании принятой в ФГОС ВПО триады возможных действий над объектами компетенций: «знания», «умения», «владения» (ЗУВ) (рисунок 2.1.1).

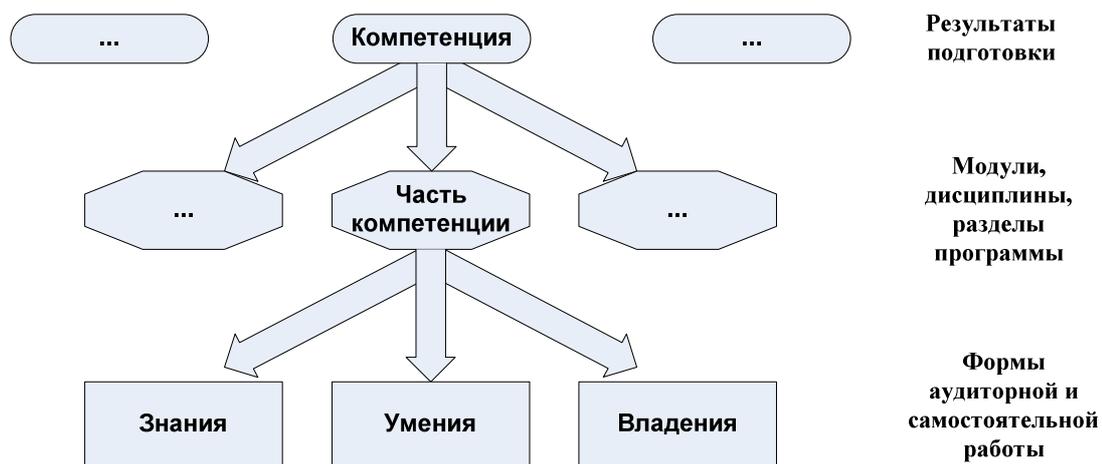


Рисунок 2.1.1 – Модель декомпозиции компетенции

Каждый из компонентов компетенции, формируемых в конкретной учебной дисциплине (модуле, разделе), т.е. *компонент дисциплинарной компетенции* – КДК, состоит из некоторого числа однотипных элементов компонента дисциплинарной компетенции (далее для упрощения обозначений *элемента дисциплинарной компетенции* – ЭДК). Они детализируют описание объекта компетенций и действий над ним, например, «знать характеристики модели ...», «уметь выполнить расчет ...», «владеть инструментарием проектирования ...» и т.п. Формулировки и количество ЭДК выбираются в соответствии с тематическим планом дисциплины, способами формирования, средствами контроля и методами диагностирования уровня их освоения (рисунок 2.1.2). Таким образом, атомарными объектами формирования и контроля в рамках дисциплины предлагается считать ЭДК.

Способы формирования компетенций основываются на традиционных видах аудиторной (лекции, семинары, лабораторные работы и т.п.) и самостоятельной (курсовое проектирование, выполнение индивидуальных заданий, подготовка докладов, рефератов, практика и т.п.) работы студентов, дополненных современными образовательными технологиями (кейс-методы, проектный подход, процессный подход, адаптивное тестирование, применение дистанционных образовательных технологий, использование средств мультимедиа и т.п.). Они реализуются, как правило, применительно к компонентам (элементам) дисциплинарной компетенций, формируемой в конкретной дисциплине (разделе) учебного плана образовательной программы, учитывают их специфику и особенности [59].

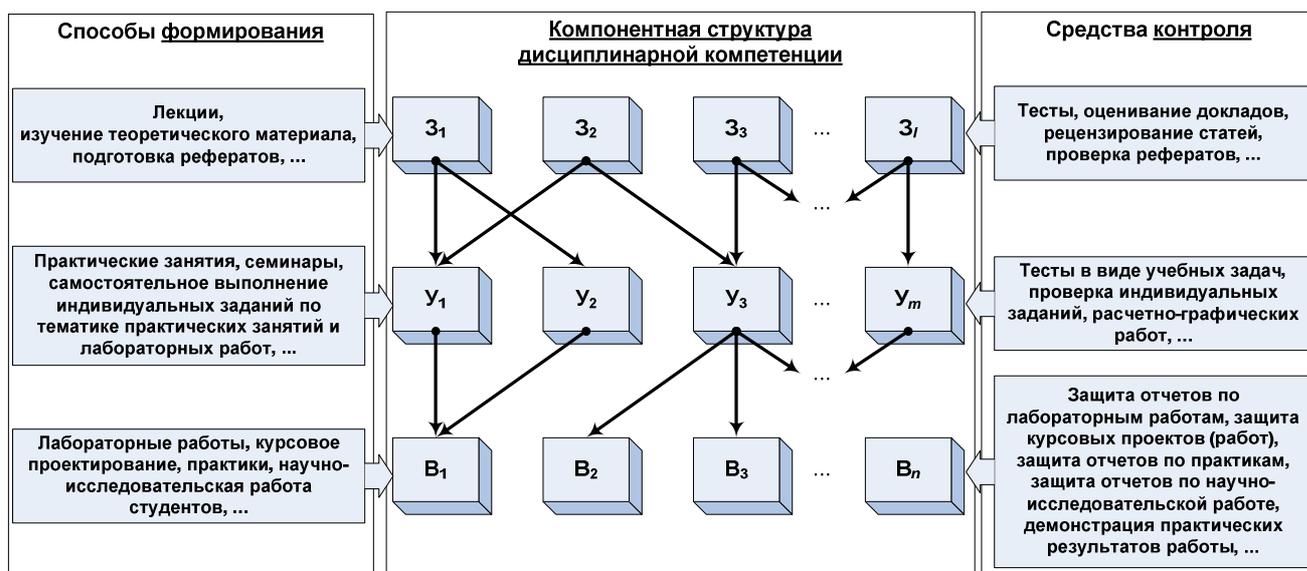


Рисунок 2.1.2 – Модель компонентной структуры дисциплинарной компетенции, соответствия способов и средств формирования и контроля ее компонентов и элементов, представленных в формате Знания (З), Умения (У), Владения (В)

Средства контроля в дисциплине (разделе) образовательной программы выбираются с учетом специфики объектов контроля, заданных в компетентностном формате – ЗУВ. Также они согласуются с видами аудиторной и самостоятельно работы студентов. Выбор адекватных и валидных средств контроля обеспечивает заданную точность и объективность оценок уровня освоения составляющих компетенций, а по ним – и самих компетенций [57].

2.1.2. Контроль и оценивание результатов обучения

Уровень освоения компетенции оценивается по результатам теоретического обучения (после реализации всех дисциплин и разделов учебного плана программы подготовки), а также в рамках итоговой (государственной итоговой) аттестации (ГИА). Для каждого из указанных этапов сформулированы свои задачи контроля и оценивания.

Например, в большинстве ФГОС ВПО по направлению (специальности) подготовки указывается *минимальный* перечень компетенций, которые должны быть проконтролированы в рамках ГИА. Перечень может быть расширен выпускающей кафедрой за счет добавления, например, профильно-специализированных компетенций. Оценивание остальных компетенций, не вошедших в перечень, может быть выполнено по результатам их контроля в рамках дисциплин и разделов

теоретического обучения. Оценки уровня освоения компетенций, полученные в результате ГИА, могут быть дополнены (скорректированы) оценками, полученными по результатам теоретического обучения.

Одним из вариантов решения данной проблемы может быть распределение не попавших в перечень контролируемых на ГИА компетенций между *практиками* (например, производственной – для бакалавров, стажировкой – для магистров) и *научно-исследовательской работой*. Указанные разделы учебного плана ОП, как правило, реализуются и/или оцениваются в конце теоретического обучения, имеют конкретные цели, индивидуальное задание, практические результаты, очевидную деятельностную направленность и подробную характеристику руководителя. Таким образом, все это позволяет оценить уровень освоения компетенций.

Несмотря на осуществление итогового контроля уровня освоения компетенций в рамках ГИА или разделов практик и научно-исследовательской работы, промежуточный контроль уровня освоения компетенций и их составляющих в рамках *дисциплин* также представляется целесообразным [63, 71, 153].

Во-первых, тематический план дисциплины должен быть тесно увязан с компонентной структурой формируемых дисциплинарных компетенций, которые ориентированы на квалификационные требования работодателей и модулированы достижениями науки, техники и технологий в данной конкретной области.

Во-вторых, поскольку компетенция и ее составляющие являются объектами формирования, то нужно обязательно их контролировать, например, для оценки их эффективности, адекватности, актуальности, т.е. для управления и контроля качества учебного процесса.

В-третьих, возможна ситуация, когда какую-либо компетенцию невозможно (или нецелесообразно, неэффективно и т.п.) проверить ни на разделах, ни на ГИА, поэтому она может быть проконтролирована только в рамках формирующей ее дисциплины (или группы дисциплин).

В-четвертых, промежуточный контроль позволяет оценить динамику освоения каждой компетенции, характеризуя, в том числе, личностные и коммуника-

тивные качества студента, что может быть важно работодателям для комплексной оценки уровня подготовки выпускника к профессиональной деятельности.

Промежуточный контроль уровня освоения компетенций может быть реализован:

– как расчет интегральной оценки по совокупности дифференциальных оценок (оценок дисциплинарных компетенций), с установлением соответствующих весовых коэффициентов;

– по оценке уровня освоения дисциплинарной компетенции в дисциплине, которая признана завершающей освоение данной компетенции;

– по оценке уровня освоения данной компетенции в разделе учебного плана, завершающем ее формирование (например, производственной практике).

Для предоставления расширенной информации для анализа предлагается для каждой из N заявленных для освоения компетенций (K) указывать, на каких этапах реализации образовательной программы (теоретическое обучение (ТО): дисциплины (Д), разделы (Р); государственная итоговая аттестация (ГИА): государственный экзамен (ГЭ), защита выпускной квалификационной работы (ВКР)) ее оценка сформирована (например, в формате таблицы 2.1.1 эта информация указывается знаком «+»).

Таблица 2.1.1 – Модель оценивания результатов освоения программы в компетентностном формате

Код, наименование компетенции	Теоретическое обучение			Государственная итоговая аттестация			Σ
	Д	Р	Σ^{TO}	ГЭ	ВКР	$\Sigma^{ГИА}$	
...							
K_i	+	+	$O_{K_i}^{TO}$	+		$O_{K_i}^{ГИА}$	O_{K_i}
...							
K_N	+		$O_{K_N}^{TO}$	+	+	$O_{K_N}^{ГИА}$	O_{K_N}

Важным вопросом является использование шкал оценивания. В отличие от дисциплинарного подхода к построению и результатам реализации образователь-

ных программ, компетенция как объект оценивания имеет специфические свойства, которые нужно учитывать при выборе шкалы. Во-первых, в паспорте компетенции изначально задается «уровень формирования», который показывает, насколько подробно, полно, глубоко, широко и т.п. должны быть сформированы ее компоненты и элементы. Например, таких уровней может быть задано три (формулировки могут быть выбраны произвольно): «пороговый» («начальный», «низкий»); «средний»; «продвинутый» («высокий»). Уровень формирования устанавливается, например, на основании результатов анкетирования потенциальных работодателей, профессорско-преподавательского состава выпускающей и обеспечивающих кафедр, выпускников и т.п. Он определяет объем теоретического материала, выносимый на изучение, степень детализации рассмотрения, тематику и содержание практических и лабораторных занятий, сложность индивидуальных заданий и т.п. Для разных вариантов реализации одной и той же образовательной программы (для набора соответствующего года) заданный уровень освоения конкретной компетенции может быть изменен. Это повлечет за собой изменение паспорта данной компетенции, а также содержания учебно-методических комплексов дисциплин и разделов, участвующих в формировании данной компетенции.

Во-вторых, результатом освоения компетенции является «уровень освоения» («сформированности», «усвоения»), который можно интерпретировать как *степень соответствия* результатов, продемонстрированных испытуемым, заданным в паспорте и детализированным в фондах оценочных средств дисциплин и разделов требованиям по *индикаторам*, по которым производится сравнение. Степень соответствия, например, может быть представлена в традиционной четырехбалльной шкале:

- «высокая степень соответствия»: «отлично»;
- «средняя степень соответствия»: «хорошо»;
- «низкая степень соответствия»: «удовлетворительно»;
- «недостаточная степень соответствия»: «неудовлетворительно».

Часто происходит подмена понятий, связанная с отсутствием нормативно-методической документации. Один и тот же термин «уровень освоения» может

быть использован и на уровне задания (в паспорте компетенции), и как результат обучения. Или, например, ошибочно считается, что если задан «пороговый» уровень формирования, то это означает, что студента будут учить только на уровень освоения «удовлетворительно». На самом деле он может освоить представленный ему объем материала, который выбрали и сформировали разработчики образовательной программы в соответствии с заданным уровнем, на оценку «отлично».

Выделим некоторые решаемые частные задачи:

1. Контроль и оценивание компонентов дисциплинарных компетенций (ЗУВ).
2. Оценивание дисциплинарных компетенций (ДК).
3. Оценивание компетенций (К) по результатам теоретического обучения.
4. Оценивание компетенций (К) по результатам государственной итоговой аттестации.
5. Интегральное оценивание качества подготовки.

Таким образом, учитывая актуальность решения указанных задач, далее будут рассмотрены варианты оценивания итоговых результатов подготовки выпускников.

2.1.3. Контроль и оценивание качества освоения программы подготовки по результатам итоговой аттестации

Для интегральной оценки результатов подготовки выпускников предназначена государственная итоговая аттестация, включающая, как правило, два этапа: государственный экзамен и защиту выпускной квалификационной работы. В большинстве ФГОС ВПО задан минимальный перечень компетенций, освоение которых должен демонстрировать выпускник для принятия решения о соответствии его уровня подготовки требованиям стандарта. Перечень, и так включающий достаточно большое количество компетенций, может быть расширен относительно заданного, например, включением профильно-специализированных компетенций (ПСК), что усложняет задачу оценивания. Поэтому предлагается построить и использовать для оценивания на этапах ГИА *агрегированную компетентностную*

модель выпускника (АКМВ), которая снижает размерность задачи и делает ее реально, а не формально, выполняемой (рисунок 2.1.3).

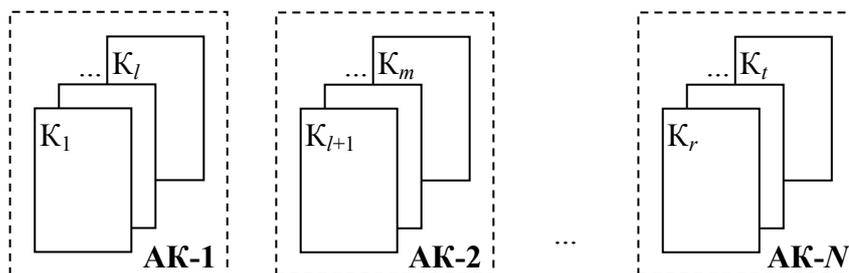


Рисунок 2.1.3 – Агрегированная компетентностная модель выпускника

Критерии агрегирования (группообразования) могут быть различными, например, принадлежность к определенному виду профессиональной деятельности (проектно-конструкторская, научно-исследовательская и т.п.); объекту (устройства, системы, сети и т.д.); этапу (подэтапу) жизненного цикла продукции (планирование, моделирование, расчет, проектирование, конструирование, сопровождение и т.п.) и пр.

Закрепленные за ГИА компетенции из ФГОС ВПО в первоначальном или сокращенном виде входят в состав *компонентов и элементов* агрегированных компетенций, что упрощает процедуру их диагностирования и оценивания на этапах ГИА. Оценки уровня освоения компетенций, полученные в результате ГИА, могут быть интегрированы с оценками уровня освоения соответствующих дисциплинарных компетенций, полученными в результате теоретического обучения, или быть использованы отдельно.

2.1.4. Классификация средств контроля (диагностических тестов)

Классификация средств контроля (диагностических тестов) проводится по следующим критериям [64]: назначение (функциональность), структура (вид, принцип построения) и виду (свойствам) объекта контроля (рисунок 2.1.4).

По назначению тесты подразделяются на тесты обнаружения (проверяющие тесты) и тесты поиска [55].



Рисунок 2.1.4 – Классификация диагностических тестов

Тесты обнаружения дают обобщенные результаты, показывающие наличие хотя бы одного нЭДК, без конкретизации, среди полного множества контролируемых ими ЭДК, т.е. носят индицирующий характер [178]. Поэтому тесты обнаружения эффективны при реализации мероприятий контроля (аттестаций, допуска к определенному виду занятий и т.д.), а также для контроля однотипных ЭДК (например, принадлежащих одному компоненту – «знать», «уметь» или «владеть»).

Тесты поиска позволяют выявить конкретный ЭДК с недостаточным (относительно заданного порогового значения) уровнем освоения из полного множества контролируемых ЭДК. Тесты поиска должны удовлетворять требованиям точности или глубины локализации и предназначены для получения детальной информации относительно подмножества подозреваемых ЭДК.

По структуре тесты подразделяются на простые, составные и сложные [74].

Простой тест: контролирует один ЭДК, имеет заданную структуру (например, количество тестовых заданий (вопросов) не больше заданного максимального значения) и/или сложность (например, содержание тестовых заданий, соотношение тестовых заданий разной сложности, время на подготовку). Если требования по структуре или сложности не выполняются, то либо декомпозируется ЭДК, либо для его контроля подбирается дополнительный простой тест (или несколько тестов, и тогда этот тест является составным).

Составной тест: состоит из нескольких простых тестов. При этом возможны два варианта реализации:

– составной тест элемента: составляющие простые тесты контролируют один и тот же ЭДК (его разные составляющие, что требует его логической декомпозиции и последующей сборки);

– составной тест группы элементов: составляющие простые тесты контролируют разные ЭДК.

Детализация (дешифрация) результатов осуществляется по каждому из составляющих простых тестов, а общий результат теста определяется при помощи интегро-дифференциального критерия как линейная свертка с разными или одинаковыми весовыми коэффициентами (показателями важности критериев). Составной тест не требует сложного алгоритма дешифрации, поскольку после тестирования можно явно определить результаты всех составляющих его простых тестов, и по ним вычислить результаты проверки для всех контролируемых составным тестом элементов. Примеры составных тестов – тест знаний, составленный из групп вопросов для проверки каждого из контролируемых ЭДК, индивидуальное задание, в котором каждый раздел проверяет соответствующий ЭДК и т.д.

Сложный тест: контролирует несколько ЭДК и представляет собой «монолитную» (не декомпозируемую на простые тесты или тестовые задания) структуру, построенную без интеграции простых тестов. Детализация (дешифрация) результата осуществляется по каждому из контролируемых ЭДК сравнением с заданными дескрипторами уровней освоения.

Сложный тест реализуется как один тест, контролирующий несколько ЭДК (особенно такие тесты могут использоваться для проверки умений и владений). Применение сложного теста потребует более сложной процедуры дешифрации результатов для каждого из контролируемых элементов с целью детализации уровня его освоения. Примеры сложных тестов – защита реферата, лабораторной работы, курсового проекта, отчета по практике, научно-исследовательской работе, доклад на семинаре.

Анализируя приведенную классификацию, можно указать, что для тестов знаний больше подходят простые и составные тесты, для тестов умений и владений – составные и сложные тесты. Вид теста влияет на выбор компонентной

структуры компетенции, а также на алгоритмы и методы контроля уровня освоения ЭДК.

По свойствам объекта контроля тесты подразделяются на тесты знаний, умений, владений. Отметим, что классификация по данному критерию представляется достаточно условной. Поэтому ниже приведены варианты видов тестов, наиболее эффективных для проверки уровня освоения каждого из компонентов компетенции [60].

Тесты знаний – тесты закрытого типа (выбор правильного варианта (вариантов) из множества предоставленных), тесты на соответствие, тесты на упорядочивание; доклады на семинарах, конференциях; научно-технические статьи, рефераты и т.д.

Тесты умений – тесты открытого типа (с необходимостью вписать правильный ответ, а не выбрать его из списка имеющихся вариантов), оформленные в виде индивидуальных заданий по тематике практических занятий или лабораторных работ; расчетно-графические работы и т.д.

Тесты владений – защита отчетов и демонстрация практических результатов выполнения лабораторных работ, курсовых проектов (работ), практик, научно-исследовательской работы и т.д.

Заметим, что множества видов аудиторной и самостоятельной работы, формирующие компоненты компетенций (ЗУВ), являются, в общем случае, пересекающимися. И только для задачи формализации выбора эффективных способов формирования и средств контроля, без учета минимизации и оптимизации, они условно закрепляются за каким-либо одним компонентом компетенции.

2.1.5. Классификация способов определения интегральных оценок результатов реализации программ подготовки

При формировании интегральных (итоговых) оценок при решении задач контроля и оценивания на разных уровнях: в дисциплине – по результатам тестов определить оценки уровня освоения ЭДК, а по оценкам уровня освоения ЭДК – КДК и ДК; по результатам теоретического обучения – по оценкам ДК определить уровень освоения компетенций; в процессе ГИА – по частным оценкам экспертов

определить итоговую оценку за государственный экзамен, защиту выпускной квалификационной работы, и т.п. Это позволяет говорить о том, что проблема определения интегральных оценок на всех этапах оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих является важной и актуальной, поэтому требует проработки подходов к ее решению с учетом специфики уровня решаемых задач.

Классификация способов расчета интегрального показателя проводится по следующим критериям: алгебраическому, количественному, информационному и качественному (рисунок 2.1.5).

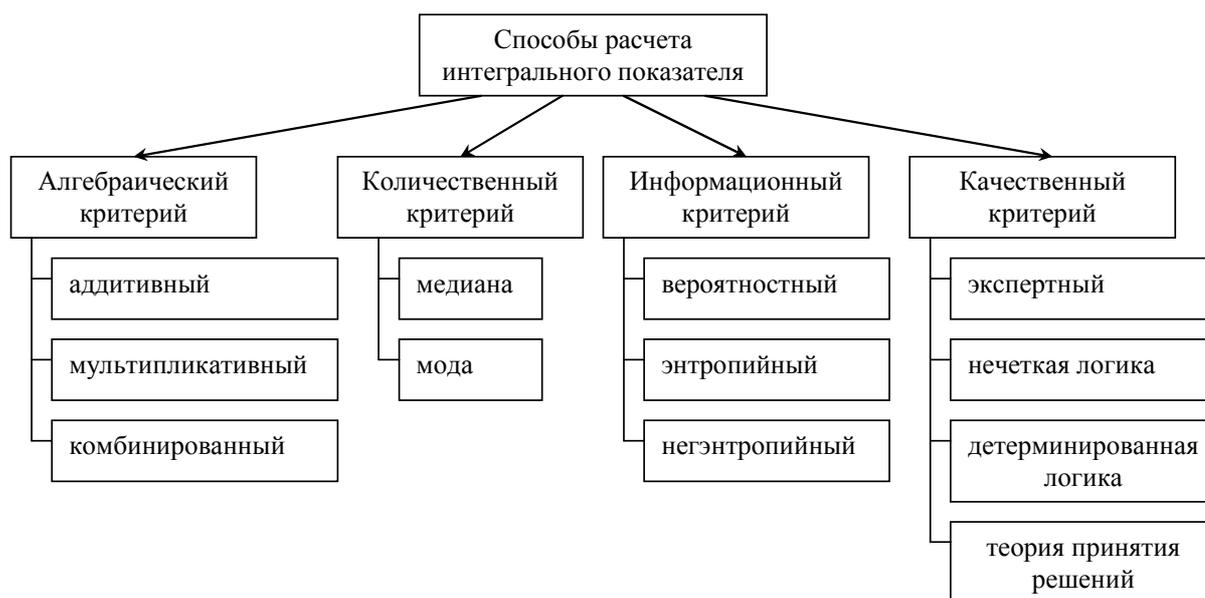


Рисунок 2.1.5 – Классификация способов расчета интегрального показателя

С проблемой определения интегральных (итоговых) оценок при решении задач контроля и оценивания результатов обучения приходится сталкиваться на разных этапах реализации учебного процесса:

- в дисциплине: по результатам тестов необходимо определить оценить уровень освоения ЭДК, а по оценкам уровня освоения ЭДК – КДК и ДК;
- после окончания теоретического обучения: по оценкам ДК нужно определить эффективность его результатов и уровень освоения компетенций;
- в процессе ГИА: по частным оценкам экспертов определяется итоговая оценка за государственный экзамен, защиту выпускной квалификационной работы, и т.п.

Это позволяет говорить о том, что проблема определения интегральных оценок на всех этапах оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих является важной и актуальной, поэтому требует проработки подходов к ее решению с учетом специфики уровня решаемых задач.

Алгебраический критерий оценивания базируется на методе *свертки*. Предложено рассматривать его в формате интегро-дифференциального критерия (ИДК) [69]. Его разновидностями являются: *аддитивный интегро-дифференциальный критерий оценивания* (АИДКО); *мультипликативный интегро-дифференциальный критерий оценивания* (МИДКО); *комбинированный (аддитивно-мультипликативный) интегро-дифференциальный критерий оценивания* (КИДКО).

Наиболее простым и апробированным инструментом решения подобного типа задач является *аддитивный интегро-дифференциальный критерий оценивания* (АИДКО). Он может быть вычислен как среднее арифметическое (гармоническое), среднее арифметическое (гармоническое) взвешенное.

Мультипликативный интегро-дифференциальный критерий оценивания (МИДКО) строиться как среднее геометрическое или среднее геометрическое взвешенное.

Другие способы вычисления интегральной оценки можно отнести к *количественным* критериям, например, *медиана* (значение середины ряда дифференциальных оценок, выстроенных в порядке возрастания), *мода* (наиболее часто встречающаяся дифференциальная оценка).

Однако существенным недостатком алгебраических и количественных критериев является возможность *компенсации* (парирования) одних оценок другими (например, высоких низкими и наоборот). При этом усредненный итоговый результат (интегральная оценка) не отражает действительное распределение составляющих (дифференциальных оценок).

Проблему предлагается частично решать, например, следующим образом:

– подбором весовых коэффициентов дифференциальных оценок (например, в зависимости от покрытия тестом ЭДК (адаптированный метод Фишберна) [69];

– в зависимости от количественных показателей трудоемкости, сложности или значимости соответствующего теста и т.п.) [178];

– построением комбинированного критерия путем введения мультипликативности в аддитивный критерий, т.е. допустимых пороговых значений [58];

– применением некоторых положений «классической» метрологии (для данной предметной области – квалиметрии);

– использованием методов обработки результатов измерений (анализ данных тестирования, расчет дополнительных характеристик, например, дисперсии) и т.п.

Другим направлением является переход к неалгебраическим способам решения поставленной задачи, позволяющим за счет усложнения процедуры обработки и дешифрации повысить точность расчетов, используя один из следующих формальных аппаратов:

– теория принятия решения [101];

– детерминированная логика [178, 56, 167];

– теория нечеткого вывода [68, 176];

– нейронные технологии и т.п.

Вероятностный критерий может быть реализован через определение вероятностных и статистических показателей (математическое ожидание, дисперсия и т.д.); а также с использованием понятий *энтропии* и *негэнтропии* [37].

Качественный критерий позволяет вынести решение на основании анализа дифференциальных составляющих вручную (экспертный); на базе продуктивных правил и методов нечеткого вывода; с применением детерминированной логики; с использованием методов теории принятия решений. В данном случае компенсация отсутствует, но присутствует субъективизм эксперта (или выбранного метода).

На разных этапах оценивания возникают различные требования к точности интегрального результата, поэтому эффективно применение различных подходов. Так, например, на этапе промежуточного контроля вполне достаточно усредненного (или взвешенного) значения интегрального показателя (АИДКО), а для ито-

гового контроля (по дисциплине, циклу дисциплин, разделу, всей компетенции, ГИА) желательное применение более точных и детализирующих методов оценивания. Таким образом, с использованием указанных подходов предлагается сформировать оценки уровня освоения компетенций и их составляющих при решении разных задач аттестации обучаемых.

Для повышения точности (объективности, валидности) принятия решения об интегральном показателе уровня освоения компетенций и/или их составляющих (ЗУВ, ДК) предлагается использовать:

1. На уровне учебной дисциплины образовательной программы:

– многократные измерения (увеличение количества тестов; усложнение тестов, приводящее к увеличению покрытия тестами ЗУВ – для снижения случайной составляющей погрешности);

– подбор безусловных и условных алгоритмов диагностирования;

– проектирование контролепригодной структуры дисциплинарных компетенций;

– эффективные методы дешифрации (декомпозиция сложных тестов на простые; декомпозиция результатов реализации сложного теста по контролируемым ЭДК и т.п.);

– многоуровневые шкалы;

– алгоритмы детерминированной логики;

– алгоритмы нечеткой логики.

2. На уровне раздела образовательной программы/Государственной итоговой аттестации:

– проектирование агрегированной компетентностной модели;

– многоуровневые шкалы;

– алгоритмы детерминированной и/или нечеткой логики;

– методы дешифрации, позволяющие максимально точно выявить объект, предмет и индикатор контроля;

– методы анализа результатов прямых измерений (например, для профессиональных компетенций) и косвенных (например, для общекультурных компетенций).

Предлагаемые в рамках предложенной классификации подходы, методы и алгоритмы применяются на этапах планирования, проектирования и реализации учебно-методических комплексов дисциплин (в частности, фондов оценочных средств). Предложенные подходы были изложены на Пленумах Учебно-методических объединений вузов по образованию в области инфокоммуникационных технологий и систем связи (г. Ярославль, ЯрГУ, июнь 2014 г.) и университетскому политехническому образованию (г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, октябрь 2014 г.) и признаны заслуживающим внимания и развития.

2.2. Управление качеством программы при совместном проектировании компетентностной модели и учебного плана

2.2.1. Особенности проектирования компетентностной модели

Образовательная программа (ОП) подготовки по направлению (далее будем иметь в виду уровневую систему «бакалавр»-«магистр», для специалитета все дальнейшие построения аналогичны) представляет собой совокупность документов, обеспечивающих формирование и контроль уровня освоения закрепленных компетенций. Основными документами для проектирования ОП являются:

- Федеральный государственный образовательный стандарт по соответствующему направлению подготовки (специальности);
- Руководящие документы (Приказы, Положения), разработанные Министерством образования и науки РФ;
- Рекомендации (примерный перечень профилей, примерные учебные планы, аннотации к рабочим программам дисциплин и т.д.), разработанные Учебно-методическими объединениями (УМО) вузов по образованию в конкретной профессиональной области;

– Руководящие документы (Приказы, Распоряжения, Стандарты), разработанные в рамках вуза.

Обратим внимание на тот факт, что содержательная часть ОП, в том числе способы формирования и оценки компетенций, определяется вузом, который обязан обеспечивать гарантию качества подготовки [151]. Это требует от соответствующих служб вуза (например, Управления образовательных программ, Центра управления качеством образования и т.п.) разработки широкой номенклатуры документов по методическому обеспечению качественного решения поставленных задач. К тому же статус «Национального исследовательского университета» дает право разработать самостоятельно устанавливаемые образовательные стандарты [159].

Разработка программы подготовки начинается с формирования компетентностной модели выпускника (КМВ). В состав КМВ, которые разрабатываются в ПНИПУ, в соответствии с разработанным стандартом [145], предлагается включить следующие документы [179]:

1. Основные положения, описывающие актуальность реализации и общую структуру ОП. Необходимость реализации ОП находит отражение в формулировке профиля подготовки (специализации, магистерской программы), которые ориентируются на потенциальных работодателей региона.

2. Характеристика профессиональной деятельности, в которой обосновывается согласованный с потенциальными работодателями выбор видов деятельности выпускника.

3. Требования к результатам освоения, в которых приводятся соответствующие выбранному профилю и видам деятельности общекультурные (ОК) и профессиональные (ПК) компетенции, указанные в ФГОС, дополнительные (согласованные с потенциальными работодателями) профильно-специализированные компетенции (ПСК), а также определенный из экспертной оценки и анкетирования потенциальных работодателей предполагаемый уровень освоения каждой компетенции.

4. Матрица отношения компетенций и дисциплин (разделов) – структура, в которой указывается соответствие компетенций и формирующих их дисциплин, модулей или разделов. Внутривузовским стандартом формулируются дополнительные ограничения на количество дисциплин или разделов, формирующих одну компетенцию, и количество компетенций (частей), формируемых в рамках одной дисциплины или раздела. Эти ограничения определяются требованиями равномерности покрытия, зависимости количественных показателей от предполагаемой трудоемкости дисциплины, практически реализуемыми средствами контроля и т.д. Обобщенные фрагменты матрицы приведены в таблице 2 каждого ФГОС ВПО [151]. В ней указано, какие компетенции из полного перечня, приведенного в ФГОС в разделе «Требования к результатам освоения основных образовательных программ», должны быть освоены в результате изучения дисциплин каждого цикла или раздела ОП. Необходимо отметить, что для модернизированных стандартов (ФГОС 3+) указанное закрепление отсутствует, поэтому примем, что закрепление проводится разработчиками ОП для формирования единой базовой части для разных профилей (специализаций, магистерских программ), поэтому далее сохраним введенную для ФГОС ВПО терминологию.

Результаты заполнения матрицы отношений дисциплин и компетенций находят отражение в разрабатываемых далее паспортах компетенций, базовом (БУП) и рабочих учебных планах (РУП), рабочих программах дисциплин (РПД) и программах частей разделов (практик, научно-исследовательской работы студентов и т.п.). Очевидно, что задача покрытия, решаемая при заполнении матрицы, обусловлена неоднозначностью выбора студентом индивидуальной образовательной траектории и не имеет единственного решения [50]. Поэтому она может быть решена итеративно, оценена качественно, а результаты в дальнейшем могут быть пересмотрены и скорректированы [67].

5. Паспорта компетенций – документы, в которых раскрывается структура каждой компетенции, т.е. части, закрепленные за соответствующими дисциплинами или разделами, а также их элементы (знания, умения, владения – ЗУВ). В разработке паспортов компетенций принимают участие ведущие преподаватели и

сотрудники выпускающей и/или профильной кафедр, отвечающие за реализацию соответствующих дисциплин и разделов, а также руководство кафедры и направления подготовки.

Для представления каждой компетенций применяется следующая структура. Компетенция разбивается на *части*, называемые *дисциплинарными компетенциями* (ДК), как правило, соответствующие участвующим в формировании данной компетенции учебным дисциплинам. Для каждой дисциплинарной компетенции принимается *компонентная структура* – знания, умения, владения. Каждый компонент представляется набором *элементов* в формулировке «Знать...», «Уметь...», «Владеть...», далее называемых «элементы дисциплинарной компетенции».

Структура разработанной и утвержденной дисциплинарной компетенции (или компетенций, если их в рамках одной дисциплины или раздела реализуется несколько), далее используется при разработке рабочей программы дисциплины или программы раздела. Как правило, разработка паспортов компетенций ведется параллельно с реализацией документов из состава учебно-методических комплексов дисциплины (УМКД), например, аннотацией дисциплины, презентацией дисциплины или рабочей программы дисциплины. Это позволяет в итеративном порядке уточнять формулировки и обеспечить качество содержательной части дисциплин.

Кроме компетентностной модели, в состав документации ОП входят базовый (БУП) и рабочие учебные планы (РУП), учебно-методические комплексы дисциплин и разделов, программа итоговой государственной аттестации, методическая документация. Для решения поставленных задач предполагается, что документация компетентностной модели выпускника и учебные планы уже разработаны.

Из анализа разных ФГОС можно сделать вывод, что их разработчики не придерживались единого подхода к закреплению компетенций за циклами и разделами ОП (поэтому закрепление в ФГОС 3+ исключено). Для одних ФГОС характерно включение каждой компетенции только в один цикл или раздел, для

других – возможное закрепление одной компетенции за разными циклами и разделами. Это затрудняет разработку КМВ в плане итоговой проверки уровня освоения каждой компетенции, поскольку в ее формировании участвуют дисциплины разных циклов, как правило, закрепленные за разными подразделениями (кафедрами) вуза.

В каждом цикле присутствует базовая часть, отражающая минимальные государственные требования к содержанию данного цикла ОП, и вариативная часть, формируемая вузом с учетом квалификационных требований работодателей (КТР) и вектора развития направления (ВРН) [50]. Для формирования вариативной части циклов в КМВ добавляются дополнительные *профильно-специализированные компетенции* (ПСК), а в учебный план – соответствующие дисциплины. Однако в разных ФГОС по-разному определяются компетенции, для формирования которых привлекаются дисциплины вариативной части, что тоже создает сложности при построении КМВ.

Количественные параметры компетентностной модели не регламентируются стандартами. В частности, речь идет о количестве компетенций, в формировании которых участвует одна дисциплина (условно назовем этот параметр *емкость дисциплины*), и о количестве дисциплин, которые могут сформировать одну компетенцию (условно назовем этот параметр *емкость компетенции*). По-видимому, задание диапазонов возможных значений указанных параметров должно быть выполнено собственными стандартами вуза. Требования по диапазону указанных параметров формулируются из разных соображений.

Емкость компетенции может, например, характеризовать ее значимость (количество формирующих дисциплин) или содержательность. С другой стороны, формулировка компетенции может быть такой, что можно подобрать одну или две дисциплины, которые в состоянии ее сформировать на достаточно высоком уровне. При этом не последнюю роль играет организационный момент, связанный с формированием оценки уровня освоения компетенции, складывающейся из оценок составляющих ее дисциплинарных компетенций. Также должна быть учтена сложность и объем *паспорта компетенции* – документа, в котором описаны деск-

рипторы уровней компетенции (требования к результатам освоения элементов компетенции), а также дисциплинарные компетенции формирующих ее дисциплин. Поэтому в Пермском национальном исследовательском политехническом университете приняты следующие рекомендации: минимальная емкость компетенции – 1 (в редких случаях, например, для дисциплины «Физическая культура»), максимальная – 5 различных дисциплин, участвующих в ее формировании (с возможностью в частном случае несущественного увеличения) [144].

Емкость дисциплины существенным образом определяет ее трудоемкость, выбор способа формирования компонентной структуры (знания, умения, владения – ЗУВ), средств контроля, а также сложность, объем и структуру главного методического документа дисциплины из состава УМКД – рабочей программы дисциплины (РПД). В ПНИПУ, например, приняты следующие рекомендации: минимальная емкость дисциплины – 1 (в редких случаях, например, для дисциплины «Физическая культура»), максимальная – 4 компетенции (в зависимости от трудоемкости дисциплины) [144].

2.2.2. Алгоритм совместного проектирования компетентностной модели и учебного плана

Исходные данные для проектирования КМВ и РУП:

– содержание Федерального государственного образовательного стандарта для подготовки по направлению (специальности), в котором указаны объекты, область, виды и задачи профессиональной деятельности, полный перечень (множество) компетенций, трудоемкость циклов и разделов, срок обучения, требования к организации и обеспечению учебного процесса, итоговой государственной аттестации и т.д.;

– квалификационные требования работодателей (КТР) в виде составленного, как правило, в произвольной форме перечня знаний и умений и готовности к использованию на практике технологий, протоколов, аппаратуры, приборов и т.п., которыми должны обладать выпускники для трудоустройства к конкретному работодателю, или общие требования;

- вектор развития направления (ВРН) в виде перечня проблем, тенденций, современных и перспективных технологий в конкретной предметной области;
- требования вуза по организации учебного процесса (например, календарные графики, объем аудиторной работы студентов в неделю, унифицированные для группы направлений (факультета, вуза) дисциплины и их трудоемкость для ОП разных уровней (бакалавр, специалист, магистр), ограничения по количеству видов аттестации в семестре, длительность сессий и т.д.);
- требования вуза по параметрам компетентностной модели (например, ограничения по емкости компетенций и дисциплин, количество ПСК и т.д.) и т.д.

Примечание. В соответствии с КТР и ВРН выбираются виды деятельности, список компетенций из ФГОС, а также формулируются ПСК.

При разработке компетентностной модели сначала определяется характеристика профессиональной деятельности выпускника (объекты, область, виды, выбранный по видам перечень соответствующих общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций из ФГОС, дополненный профильно-специализированными компетенциями (ПСК), сформулированными под конкретный профиль (магистерскую программу) с учетом квалификационных требований заинтересованных работодателей и вектора развития технологий в конкретной профессиональной сфере). После этого необходимо построить таблицу (матрицу) соответствия компетенций (К) и дисциплин (Д) «К-Д» (с учетом рекомендаций по допустимым значениям их емкости). Таблица должна строиться в тесной увязке с разработкой учебного плана, поскольку от количества и трудоемкости дисциплин зависит, можно ли вообще построить учебный план с таким большим количеством рассмотренных выше требований и ограничений. Опыт разработки учебных планов по ФГОС-3 показывает, что данная задача нетривиальная и решается путем многократных итераций [158].

Для снижения трудоемкости разработки магистерских программ, которых может быть от одной до десятков по одному направлению (например, ориентированных на каждого потенциального работодателя) предлагается разработать базовый учебный план в виде *шаблона*. Он представляет собой учебный план, в кото-

ром указаны конкретные наименования дисциплины базовых частей циклов и разделов ОП, а также обобщенные наименования дисциплин вариативных частей циклов. Все остальные компоненты учебного плана: календарный график, распределение трудоемкостей по дисциплинам, дисциплин по семестрам, видов работы студентов в каждой дисциплине, виды аттестации и т.п., присутствуют в полном объеме. Таким образом, при разработке новых рабочих учебных планов будет использован шаблон, в котором нужно будет, сохраняя логику последовательности изучения, заполнить (заменить) названия дисциплин вариативной части и, при необходимости, перераспределить виды и часы аудиторной работы. При этом трудоемкость, распределение по семестрам и другие макропоказатели учебного плана не изменятся (или немного изменятся, но не нарушат требования). Придерживаясь предлагаемого ниже алгоритма, указанные требования вполне реально выполнить.

Примем, что содержание вариативной части каждого цикла учебных дисциплин должно углублять, расширять содержание базовой части. Поэтому за вариативной частью должны быть закреплены те же компетенции, что и за базовой, плюс часть профильно-специализированных компетенций. Положим также, что формулировки дисциплин вариативной части также должны ориентироваться на дисциплины базовой части. Соображения по количеству, трудоемкости и формированию дисциплинарных компетенций будут высказаны ниже. Очевидно, что из-за большого количества ограничений построение компетентностной модели выпускника, в которой формулируются дисциплины вариативных частей циклов, задается их трудоемкость, распределяются компетенции, а также построение учебного плана, в котором указывается последовательность изучения дисциплин и график учебного процесса с учетом ограничений на допустимую нагрузку студентов, должно выполняться параллельно и итеративно. Автором разработан и апробирован следующий *алгоритм* совместной разработки компетентностной модели выпускника и учебного плана:

1. Формируются общие положения КМВ (цели, миссия, на кого ориентирована, привязка к приоритетным направлениям развития вуза и т.д.).

2. Разрабатывается характеристика профессиональной деятельности выпускника: выбираются виды профессиональной деятельности из ФГОС, в соответствии с ними формируется список общекультурных и профессиональных компетенций, с учетом КТР и ВРН дополненный профильно-специализированными компетенциями.

3. Задается трудоемкость разделов ОП из ФГОС: практики, научно-исследовательская работа, итоговая государственная аттестация.

4. Строится график учебного процесса (обычно график унифицируется по сходным направлениям и специальностям всего вуза).

5. Выбирается для формирования перечня дисциплин первый цикл дисциплин (например, М1 – для магистратуры).

6. Определяется трудоемкость дисциплин базовой и вариативной частей выбранного цикла.

6.1. Выписываются дисциплины базовой части цикла учебных дисциплин, задается их трудоемкость (из ФГОС) и вид аттестации (например, равномерно, или по другой логике).

6.2. Определяется трудоемкость вариативной части (общая по циклу минус базовая).

6.3. Определяется трудоемкость дисциплин по выбору (30 % от вариативной части) и количество дисциплин по выбору (ДВ) с учетом возможных значений трудоемкости дисциплины (например, от 2 (с зачетом) до 5 (с экзаменом) зачетных единиц, или по-другому).

6.4. Определяется трудоемкость (общая вариативная минус дисциплин по выбору) и количество обязательных дисциплин вариативной части с учетом возможных значений трудоемкости дисциплины (например, от 2 (с зачетом) до 5 (с экзаменом) зачетных единиц, или по-другому). Здесь возможны разные способы, например, по k дисциплин вариативной части на одну дисциплину базовой части, или это количество может меняться в зависимости от разной трудоемкости базовых дисциплин, и т.п.

6.5. Формулируются наименования дисциплин вариативной части цикла.

7. Выбирается следующий цикл и повторяется указанная последовательность действий, пока не будут определены списки и трудоемкости всех дисциплин по всем циклам ОП.

8. Формируется рабочий учебный план: дисциплины базовой и вариативной частей, а также практики, научно-исследовательская работа и итоговая государственная аттестация, расставляются по семестрам в нужной последовательности, задаются виды аттестации и т.д.

9. Проводится проверка учебного плана, что при невыполнении требованиям по макропоказателям ОП может вызвать необходимую коррекцию: по трудоемкости дисциплин и разделов, по видам аттестации, по количеству и трудоемкости дисциплин вариативной части, по последовательности изучения и т.д. В результате итеративной процедуры получается сбалансированный рабочий учебный план.

10. Распределяются виды аудиторной работы студентов, а также определяется объем самостоятельной работы, по каждой дисциплине. При этом контролируются соответствующие макропоказатели ОП и, при необходимости, проводится коррекция в рамках данного пункта.

11. Закрепляются компетенции за дисциплинами каждого цикла.

11.1. Выполняется закрепление компетенций за дисциплинами базовой части, по возможности равномерно (для выполнения рекомендаций по емкости дисциплины). Для этого оптимальным значением емкости является целое значение отношения количества компетенций цикла, отнесенное к количеству дисциплин базовой части.

11.2. Вводятся ПСК в список компетенций (если в этом есть необходимость, поскольку, как правило, ПСК вводятся в дополнение к ПК по выбранным видам профессиональной деятельности).

11.3. Выполняется закрепление компетенций за дисциплинами вариативной части, по возможности равномерно (для выполнения рекомендаций по емкости дисциплины). Здесь учитывается, например, какие дисциплины базовой части они дополняют, расширяют, углубляют и т.д. Если при формировании вариативной

части не придерживались такой логики, то закрепление производится, исходя из формулировок конкретных компетенций. Закрепление проводится с учетом ограничений по емкости дисциплины.

12. Формируются остальные документы компетентностной модели выпускника (в частности, паспорта компетенций) и всей ОП (в частности, УМКД, программы практик, научно-исследовательской работы студентов, итоговой государственной аттестации и т.д.).

Пример разработки основных документов ОП приведен в Приложении Б.

Предложенный алгоритм положен в основу процедур автоматизации проектирования основных учебно-методических документов программы; реализованный программный инструментарий подробно описан в главе 7.

2.3. Управление качеством программы при проектировании компонентной структуры компетенции

2.3.1. Классификация и формализация подходов к формированию компонентной структуры дисциплинарной части компетенции

Классификация подходов к формированию компонентной структуры дисциплинарной части компетенции проводится по критерию ее *взаимосвязанности* с реализуемыми в данной дисциплине (разделе) методами диагностирования и средствами контроля. Выделим два подхода: при первом не учитывается взаимное влияние содержания и количественных характеристик компонентной структуры дисциплинарной компетенции и средств контроля; во втором реализуется контролепригодное проектирование компонентной структуры компетенции [72, 177].

Термин *«контролепригодное проектирование»* объектов компонентной структуры ДК (ЗУВ) заимствован из технической диагностики и означает синтез объекта контроля с учетом требований диагностирования, облегчающих решение задачи контроля и поиска дефектов в объекте [53]. При этом учитывается взаимосвязь и взаимовлияние объектов и средств контроля (тестов), которые сводятся:

- использованию выбранных методов диагностирования (процедур поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения – нЭДК);
- подбору средств контроля (тестов) заданного вида;
- удовлетворению требований к точности и простоте алгоритма дешифрации результатов диагностирования;
- снижению сложности расчета интегро-дифференциального критерия оценки уровня освоения ЭДК;
- введению ограничений на количественные показатели компонентной структуры;
- заданию формата таблицы диагностирования;
- соответствию содержанию и структуре тематического плана, а также графику учебного процесса дисциплины и т.д.

Далее представлен подход к определению, выбору и взаимосвязи элементов компонентной структуры компетенций, а также подбору наиболее эффективных способов их формирования, контроля и оценки. Даются практические рекомендации, позволяющие формализовать и упростить разработку основных документов (КМВ, УМКД) образовательных программ.

Определение, способы формирования и средства контроля элементов дисциплинарных компетенций. Рассмотрим определения компонентов компетенций (знаний, умений, владений – ЗУВ) и примем их уточненные формулировки для решения поставленных частных задач эффективного формирования, контроля и оценивания их элементов.

С целью построения объектов контроля для формализованного представления предлагается использовать следующие «формы знаний» [60]: – принципы; подходы; модели; процессы; методы (методики); алгоритмы; термины (терминология); определения; аксиомы (теоремы, утверждения); формулы; характеристики (параметры); операторы (операции); конструкции (логические, функциональные, семантические); ...

Предлагается считать, что элементы компонента «Знания» формируются (приобретаются) студентами в процессе следующих видов аудиторной и самостоятельной работы [66]:

- лекции, в том числе с использованием современных образовательных технологий, мультимедийной и презентационной техники;
- самостоятельное изучение теоретического материала;
- подготовка рефератов, докладов и др.

Контроль знаний, на наш взгляд, эффективней всего осуществлять:

- тестированием (например, тесты закрытого типа (выбор правильного варианта (вариантов) из множества предоставленных), тесты на соответствие, тесты на упорядочивание);
- оцениванием докладов на семинарах, конференциях;
- рецензированием научно-технических статей;
- проверкой рефератов и т.д.

Для задач формализации построения модели учебного процесса примем, что умения представляют собой способность применить знания при соблюдении следующих условий [60]:

1. Учебный характер поставленной задачи.
2. Полные исходные данные и очевидный детерминированный вариант решения поставленной задачи.
3. Обязательное обеспечение студента подробными методическими материалами.
4. Активное консультирование и текущий детальный контроль со стороны педагога.

С целью построения объектов контроля для формализованного представления компонента «Умение» предлагается выделить следующие «формы умений»: применение методик, подходов; построение моделей; исследование процессов; осуществление расчетов; выполнение анализа схем; исследование характеристик; работа с инструментарием...

Предлагается считать, что элементы компонента «Умения» формируются (приобретаются) студентами в процессе следующих видов аудиторной и самостоятельной работы [70]:

- практические занятия;
- лабораторные работы (с учебными стендами, инструментарием моделирования);
- семинары;
- самостоятельное выполнение индивидуальных заданий (ИЗ), расчетно-графических работ (РГР) и т.п.

Контроль умений эффективней всего осуществлять:

- тестированием (например, тесты открытого типа (с необходимостью вписать правильный ответ, а не выбрать его из списка имеющихся вариантов), оформленные в виде учебных задач);
- проверкой домашних заданий, расчетно-графических работ, индивидуальных заданий;
- выступлениями на семинарах, конференциях и т.д.

Владение подразумевает способность применения знаний, умений, навыков и опыта профессиональной деятельности при решении сложных проектных и исследовательских практических, а не адаптированных, учебных, упрощенных и т.п., задач. Они должны быть сформулированы в профессиональной (предметной, профильной) или в смежных областях науки и техники. Условия для формирования владений [60]:

1. Практический (прикладной, в том числе инновационный) характер поставленной задачи.
2. Неполнота исходных данных и неочевидность вариантов и критериев оценки решения поставленной задачи.
3. Самостоятельность при решении задачи.
4. Обеспечение методическими материалами, направленными на организацию самостоятельной работы, но подразумевающими обязательный поиск основных источников информации для решения поставленной задачи.

5. Консультирование и рубежный контроль со стороны педагога.

6. Наличие элементов реализации в предложенном или самостоятельно и обоснованно выбранном аппаратно-программном базисе.

В формулировке компонента «Владеть» необходимо предусмотреть такие конструкции, как «... опытом применения ...», «... навыками использования ...» приведенными выше (или расширенными в соответствии с конкретной областью профессиональной деятельности) формами знаний и умений. Логично, что навыки и опыт могут быть сформированы в основном в процессе работы в рамках лабораторных практикумов, различных видов практик и научно-исследовательской работы.

С целью построения объектов контроля для формализованного представления компонента «Владение» предлагается использовать следующие «формы владений»: обосновать и выбрать платформу реализации; построить и выбрать методы исследования модели, процессов, явлений и т.п.; разработать комплект документации (паспорт проекта, технико-экономическое обоснование, сметы, схемы, чертежи и т.д.); реализовать проект; разработать информационное, программное, аппаратное обеспечение объекта или системы; освоить и применить инструментальный для решения задач исследования, моделирования, проектирования, ...

Предлагается считать, что элементы компонента «Владения» формируются (приобретаются) студентами в процессе следующих видов аудиторной и самостоятельной работы [70]:

– лабораторные работы (с лабораторными стендами, построенными на промышленном оборудовании, с использованием распространенного прикладного программного обеспечения);

– курсовое проектирование;

– практики;

– научно-исследовательская работа студентов (НИРС).

Указанные виды работы должны проводиться с использованием современного инструментария, систем автоматизации проектирования, автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), реальными (сформулированными в

предметной области) техническими заданиями (ТЗ). Они должны сопровождаться календарным планом выполнения, отчетами, оформленными в соответствии с требованиями ГОСТ по научно-исследовательской работе, и необходимой проектной и конструкторской документацией.

Контроль владений эффективней всего осуществлять:

- при защите отчетов (по лабораторным работам, по практикам, по НИРС);
- при защите курсовых проектов (работ);
- в процессе демонстрации практических результатов работы (практик, НИРС и т.д.).

Заметим, что множества видов занятий, формирующие компоненты компетенций (ЗУВ), являются, в общем случае, пересекающимися. И только для задачи формализации выбора эффективных средств формирования и контроля, без учета минимизации и оптимизации, определенные виды занятий закрепляются за каким-либо одним компонентом компетенции.

Эффективное сочетание способов формирования и средств контроля позволит повысить эффективность организации учебного процесса и уровень освоения закрепленных за дисциплиной компетенций.

Особенности содержания компонентной структуры компетенций для разных уровней подготовки выпускников технических направлений. Для выпускников разных уровней подготовки (бакалавр, специалист, магистр) требования к характеристикам знаний (например, широта, глубина, фундаментальность и т.п.) должны отличаться. Например, для технических (инженерных) направлений и специальностей подготовки Ассоциацией инженерного образования России (АИОР) на основании требований международных организаций инженерной подготовки сформулированы такие требования к знаниям в разных областях науки и техники (естественно-научной, математической, социально-экономической, профессиональной и т.д.) [8]:

1. Бакалавр должен обладать базовыми и углубленными знаниями.
2. Специалист должен обладать базовыми и специальными знаниями.
3. Магистр должен обладать глубокими и фундаментальными знаниями.

С нашей точки зрения, представленные требования к знаниям весьма условны, неоднозначны и требуют уточнения, поэтому могут быть сформулированы с учетом реальной ориентации выпускников на соответствующие виды профессиональной деятельности в следующем виде [165]:

1. Бакалавр должен иметь общее представление о применяемых и перспективных технологиях, принципах построения и функционирования устройств и систем в своей предметной области, а также углубленные знания в вопросах эксплуатации, сопровождения и обслуживания.

2. Специалист должен иметь общее представление об используемых и перспективных технологиях, их сравнительном анализе и области применения, принципах построения и функционирования устройств и систем в своей предметной области, углубленные знания в вопросах эксплуатации, сопровождения и обслуживания, а также разработки и проектирования.

3. Магистр должен обладать углубленной подготовкой в вопросах сравнительного анализа, целесообразной области применения, моделирования, исследования используемых и перспективных технологий, функционирования устройств и систем на всех этапах их жизнедеятельности, а также участия в инновационных проектах и коммерциализации полученных научно-технических результатов.

Требования к характеристикам умений и владений (например, уровень поставленных и решаемых задач, особенности условий реализации, уровень ответственности за принятые решения и т.п.) также должны различаться. Например, для технических (инженерных) направлений и специальностей подготовки Ассоциацией инженерного образования России (АИОР) на основании требований международных организаций инженерной подготовки сформулированы такие требования к умениям и владениям [8]:

– бакалавр должен проводить комплексные инженерные исследования, выполнять комплексные инженерные проекты, осуществлять коммуникации в профессиональной сфере, с применением базовых и углубленных знаний;

– специалист должен проводить комплексные инженерные исследования, выполнять комплексные инженерные проекты, осуществлять коммуникации в профессиональной сфере, с применением базовых и специальных знаний;

– магистр должен проводить инновационные инженерные исследования, выполнять инновационные инженерные проекты, осуществлять коммуникации в профессиональной сфере, с применением глубоких и фундаментальных знаний.

Все требования нуждаются в уточнении и конкретизации с учетом квалификационных требований работодателей, вектора развития направления и сформулированных в соответствии с ними компетенций в определенной профессиональной сфере деятельности выпускников. Указанные обобщенные требования должны быть учтены при разработке ОП соответствующих уровней подготовки выпускников.

Предлагаемые в данном разделе решения поставленных частных задач находятся на этапе частичной апробации при поэтапной разработке и внедрении методического обеспечения системы управления качеством учебного процесса в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Разработка практического подхода к формальному описанию компонентной структуры и способов формирования элементов дисциплинарных компетенций. В рабочую программу дисциплины из паспортов компетенций, закрепленных за ней, переносятся компонентные структуры дисциплинарных компетенций, а именно индексы и формулировки компетенций, дисциплинарных компетенций и их элементов (таблицы 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3). Это необходимо для реализации компетентного подхода к проектированию РПД, который в данной постановке заключается в выявлении эффективных способов формирования и адекватных средств контроля элементов компетенций. Таких таблиц приводится столько, сколько дисциплинарных компетенций формируется в рамках данной дисциплины. Если дисциплина (например, гуманитарной, социально-экономической, математической, естественнонаучной, общепрофессиональной направленности) входит в состав нескольких образовательных программ, то коли-

чество таблиц и соответствующих им компонентных структур дисциплинарных компетенций увеличивается [59].

Таблица 2.3.1 – Описание компетенции

Индекс	Формулировка компетенции ИК
ИК	Способен ...

Таблица 2.3.2 – Описание дисциплинарной компетенции

Индекс	Формулировка дисциплинарной компетенции ИК-<i>n</i>.ИД
ИК- <i>n</i> .ИД	Способен ...

Таблица 2.3.3 – Описание элементов дисциплинарной компетенции

Индекс	Формулировка элементов дисциплинарной компетенции ИК-<i>n</i>.ИД
ИК- <i>n</i> .ИД-ИЭ	Знать ...
ИК- <i>n</i> .ИД-ИЭ	Уметь ...
ИК- <i>n</i> .ИД-ИЭ	Владеть ...
...	...

Раскроем условные обозначения, используемые в таблицах:

- ИК – индекс компетенции (например, ОК-3, ПК-5 или ПСК-2), заимствуется из документа «Требования к результатам освоения» в составе КМВ;
- ИК-1...ИК-*n* – обозначение части компетенции с индексом ИК, устанавливается в соответствии с порядковым номером дисциплинарной компетенции в паспорте компетенции (например, ПК-5-2.Б2_В3);
- ИД – индекс дисциплины или раздела (например, Б2_В3 – дисциплина бакалавриата (Б), цикл математический и естественно-научный (2), вариативная часть (В), порядковый номер дисциплины (3)), заимствуется из учебного плана;
- ИЭ – индекс элемента соответствующего элемента компонента ДК (Z_i, Y_j, V_k), i, j, k – порядковые номера элементов.

В общем случае дисциплина принимает участие в формировании нескольких компетенций, а в одной компетенции – нескольких частей (дисциплинарных компетенций), в частном случае – одну. Однотипных элементов («знать», «уметь»

или «владеть») в рамках дисциплинарной компетенции тоже может быть несколько, в частном случае – по одному каждого типа (или даже не всех типов, например, только «знать» и «уметь»). Очевидно, что для учебной дисциплины элемент «знать» является обязательным и по количеству, как правило, должен превышать остальные элементы. В рамках внутривузовских стандартов предполагается введение рекомендаций (параметрических ограничений), поскольку каждый элемент, как это будет показано ниже, формируется определенными видами занятий (а в дальнейшем и контролируется соответствующими формами и средствами), что при больших значениях громоздко и затруднительно. Например, может быть предложена следующая система соотношения параметров элементов «знать», «уметь», «владеть»: минимум «3–2–0» («знать» – 3, «уметь» – 2, «владеть» – 0), максимум «6–4–2» («знать» – 6, «уметь» – 4, «владеть» – 2).

При дальнейшей разработке рабочей программы дисциплины должно быть указано, какими видами аудиторной и самостоятельной работы студентов предполагается формирование каждого из элементов всех закрепленных за дисциплиной частей компетенций (дисциплинарных компетенций). Предлагается составить таблицу, в которой установлено соответствие между каждым элементом части компетенции и видом работы (аудиторной или самостоятельной), в которой предполагается этот элемент сформировать (таблица 2.3.4). Для удобства восприятия таблица 2.3.4 разделена на две составляющие, соответствующие аудиторной и самостоятельной работе.

При заполнении таблицы 2.3.4 может быть реализовано множество вариантов покрытия, которое зависит от профиля подготовки (например, технический или гуманитарный), от номенклатуры аудиторных занятий, от форм самостоятельной работы и т.д. Для выбранного в качестве примера направления 11.03.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» дисциплины профессионального цикла, как правило, имеют примерно одинаковую структуру:

– аудиторная работа: лекции (ЛК), практические занятия (ПЗ), лабораторные работы (ЛР);

– самостоятельная работа: изучение теоретического материала (ИТМ), выполнение индивидуальных заданий (ИЗ) в виде расчетных работ, рефератов, докладов, статей и т.п., подготовка к допуску и защите лабораторных работ (ЗЛР), курсовое проектирование (КП). В таблице 3 индексы l , m , n показывают количество элементов в одной дисциплинарной компетенции.

Для эффективного распределения видов работы с учетом ресурсных ограничений необходимо придерживаться определенной логики при заполнении таблицы 2.3.4. С учетом приведенной типовой структуры далее предлагаются рекомендации по распределению видов работы по элементам частей компетенции (очевидно, что процесс заполнения таблиц является итеративным, а рекомендации имеют общий характер и могут использоваться в качестве нулевой итерации).

Для введенных выше допущений о возможных видах работы студентов будем считать, что знания в основном формируются при прослушивании лекций и самостоятельном изучении теоретического материала в рамках тематического учебного плана, подготовки к допуску, выполнению и защите лабораторных работ, изучения инструментальной среды проектирования (моделирования) и т.д.

Умения можно сформировать в процессе практических занятий, выполнении индивидуальных заданий (рефератов, докладов, статей и т.п.) и при проведении, подготовке отчетов и защите лабораторных работ.

Владения могут быть сформированы в процессе самостоятельного выполнения творческих этапов исследовательских лабораторных работ, в рамках курсового проектирования, в том числе при разработке междисциплинарных проектов, в процессе прохождения практик на базовых профильных предприятиях и организациях, при выполнении выпускной квалификационной работы.

Таблица 2.3.4 – Таблица формирования элементов дисциплинарных компетенций

ЗУВ		Средства формирования компетенций в рамках аудиторной работы												
		ЛК				ПЗ				ЛР				
		1	2	...	$N_{ЛК}$	1	2	...	$N_{ПЗ}$	1	2	...	$N_{ЛР}$	
ИК-1.ИД	$З_1$	+		...			...					...
	...													
	$З_l$			...	+			...				...
	$У_1$			...		+		...				...
	...													
	$У_m$			...				...	+			...
	$В_1$			...				...		+		...
	...													
	$В_n$			...				...				...	+
...														
ЗУВ		Средства формирования компетенций в рамках самостоятельной работы												
		ИТМ				ИЗ				ЗЛР				КП
		1	2	...	$N_{ИТМ}$	1	2	...	$N_{ДЗ}$	1	2	...	$N_{ЗЛР}$	
ИК-1.ИД	$З_1$	+		...			...					...
	...													
	$З_l$			...	+			...				...
	$У_1$			...		+		...				...
	...													
	$У_m$			...				...	+			...
	$В_1$			...				...		+		...	+
	...													
	$В_n$			+	+
...														

На следующих итерациях проводится анализ покрытия элементов дисциплинарной компетенции соответствующими видами занятий дисциплины, исключение дублирования, перегрузки и т.д.

При распределении можно ввести дополнительные ограничения, например, такое: считать, что структурная единица учебного процесса (лекция, тема самостоятельного изучения, практическое занятие, домашнее задание и т.д.) участвует в формировании только одного элемента каждого компонента ДК (знание, умение, владение), либо не более порогового значения, заданного внутренним стандартом вуза. Это позволит значительно упростить формирование тестовых заданий при оценке уровня освоения элементов ДК при проведении аттестации, а также перечень корректирующих мероприятий.

Предложенный формализованный подход к разработке части рабочей программы дисциплины, в котором решаются вопросы задания способов формирования элементов закрепленных за учебной дисциплиной компетенций, является основой для разработки остальных документов учебно-методического комплекса дисциплины. Пример для конкретной дисциплины приведен в Приложении В.

2.3.2. Иерархический подход к контролю и оцениванию уровня компетентности

Для оценки уровня освоения компетенций необходимо выбрать средства и методы контроля элементов компетенций. Данная задача связана с формами контроля, при помощи которых можно проверить, сформировались ли в процессе работы студентов (аудиторной или самостоятельной) закрепленные за ними элементы, и как именно. Это необходимо для проведения текущей аттестации, а также для управления качеством учебного процесса (выявление слабых мест в подготовке, сложных для понимания вопросов, недостаточно четкого и доступного методического обеспечения, соотношения трудоемкости и номенклатуры аудиторной и самостоятельной работы и т.д.) [57].

Контроль проводится с целью установления уровня компетенций студентов путем оценивания их составляющих – частей и элементов. Для этого предложена методика применения интегро-дифференциального критерия (ИДК) [69], реализующего иерархический подход к вычислению оценок. ИДК позволяет получить дифференциальные оценки каждого уровня, а затем «свернуть» («склеить») их в интегральную оценку с учетом «важности» («вклада», «веса») соответствующих

компонентов. Для единообразия в оценивании должна быть выбрана фиксированная для всех уровней иерархии нормализованная шкала, например $[0 \div 1]$.

Для дисциплины на соответствующем уровне иерархии необходимо сформировать оценки закрепленных за ней частей компетенций (дисциплинарных компетенций), которые в дальнейшем позволят рассчитать оценку для каждой компетенции. Оценка части компетенции проводится через линейную свертку оценок составляющих ее элементов (ЗУВ).

Для единообразия представления, все формы контроля элементов дисциплинарных компетенций (знаний, умений и владений) могут быть представлены как результаты выполнения тестовых заданий. Например, для контроля знаний используется тест закрытого типа (выбор одного или нескольких правильных вариантов из предложенного перечня). Контроль умений может быть организован через самостоятельно выполняемые домашние задания, например, в виде расчетно-графических работ, результаты которых тоже можно представить как результаты теста открытого типа (с вписываемыми студентами ответами), либо оцениваемые педагогом.

Лабораторная работа как один из наиболее сложных и важных компонентов учебного процесса (особенно для технических направлений подготовки), должна, с нашей точки зрения, быть организована с учетом системного подхода, а именно:

1. Имеет сквозной и/или междисциплинарный характер; при этом отдельные части комплексного технического задания могут быть представлены как самостоятельные лабораторные работы.
2. Выдается индивидуальное учебное техническое задание каждому студенту.
3. Сопровождается эффективным методическим обеспечением, позволяющим самостоятельно изучить, например, инструментальную среду.
4. Организуется тест допуска.
5. Проводится с возможностью свободного доступа к ресурсам (например, серверу) для ее завершения (выполнения расчетов, формирования выводов, представления результатов, оформления и т.д.).
6. Осуществляются консультации, в том числе дистанционно.

7. Проводится отдельно защита каждой лабораторной работы (частей комплексного технического задания), а по завершении всего цикла – всей работы.

Защита лабораторной работы тоже может быть представлена как комплексное тестовое задание, в рамках которого оценивается выполнение каждого этапа (защита теории, описание лабораторного оборудования, пояснение методики выполнения, обоснование результатов, демонстрация практической части и т.п.).

Из вышесказанного следует, что можно условно обозначать соответствующие задания как, например, тест знаний (ТЗ), тест умений (ТУ), тест владений (ТВ).

Примем, что компонентная структура построена по иерархическому принципу: знания (З) участвуют в формировании умений (У), а умения – в формировании владений (В). Указанная структура отвечает компонентному подходу, ориентированному на приоритет «деятельностной» составляющей подготовки студентов. С формальной точки зрения это означает, что знания входят в состав умений, а умения – в состав владений.

Компонентная структура дисциплинарной компетенции, а также средства формирования и контроля элементов компетенции, с учетом иерархического принципа построения принятой модели, приведены на рисунке 2.3.1. Для большинства компетенций логичным, на наш взгляд, является следующее соотношение: $l > m > n$. Объектами контроля являются элементы ЗУВ, а средствами – тестовые задания в соответствующей форме. В предлагаемой трехуровневой модели количество связей каждого уровня ограничено для уменьшения размерности и регуляризации структуры исходной модели.

При реализации примеров средств формирования присутствуют определенные допущения. Например, лабораторные работы включены как средство формирования владений. Но можно выделить два вида лабораторных работ: «учебные», построенные на физических или виртуальных лабораторных стендах, и «реальные», построенные на промышленном оборудовании. Поэтому первая группа лабораторных работ может быть отнесена и к элементу «Умения», также как и соответствующие ей средства контроля (допуск, проверка отчета и защита лабораторной работы). Те же соображения могут быть применены к курсовому проектиро-

ванию по виду технического задания: учебное или приближенное к реальному профилю. Для того чтобы курсовое проектирование, практики, выполнение выпускной квалификационной работы могло быть полноценно отнесено к формированию и контролю элемента «Владение», необходимо согласование их тематику с потенциальными работодателями [163, 164].

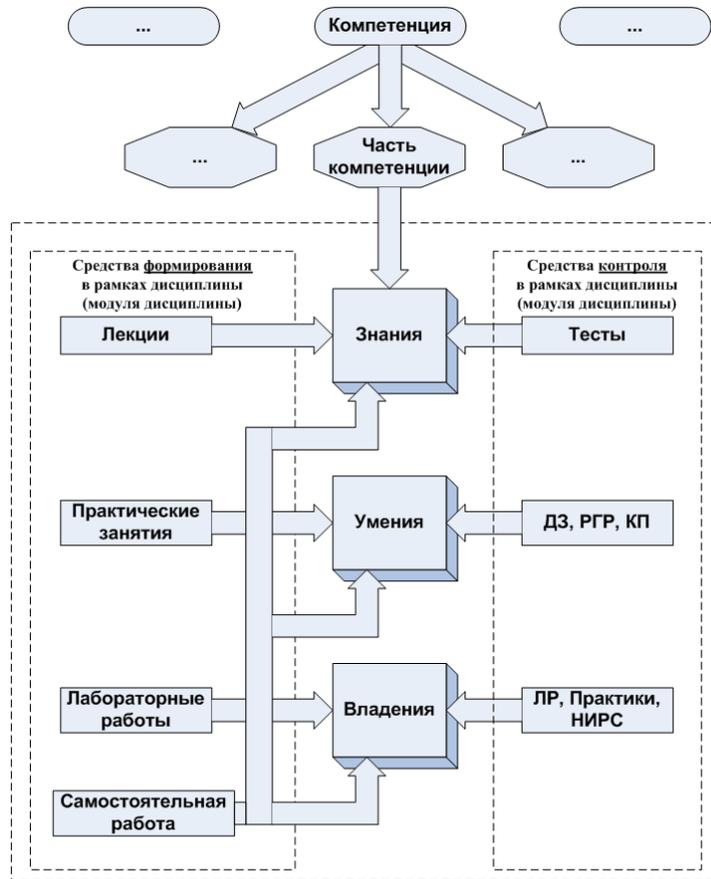


Рисунок 2.3.1 – Модель формирования и контроля компонентной структуры дисциплинарной компетенции

Иерархическая структура компетенции влияет на методику проектирования тестовых (контрольных) заданий. Это проявляется в том, что тестовое задание для элемента более высокого уровня иерархии включает в себя фрагменты тестового задания для элемента более низкого уровня иерархии. Такая вложенность позволяет спроектировать функционально-полный базис (ФПБ) элементарных проверок для формирования тестовых заданий следующего уровня сложности. Причем очевидно, что объем и уровень сложности тестового задания должен соответствовать уровню элемента компетенции.

Данная задача, таким образом, сводится к составлению совокупности тестовых заданий (дополняемых при необходимости) для контроля уровня освоения компетенций по оценке элементов составляющих их дисциплинарных компетенций. Научный и практический интерес представляют безусловные и условные алгоритмы построения тестов, в которых уменьшается размер тестовой совокупности при сохранении точности (полноты покрытия), что требует построения адекватной диагностической модели. При этом становится возможным использовать в тестовых заданиях текущего уровня фрагменты тестовых заданий предшествующего уровня. Отметим, что вопросы синтеза элементарных тестов и комплексных тестовых заданий, а также безусловных и условных процедур проверки уровня освоения элементов компетенций с использованием автоматизированных систем контроля, в научно-методической литературе недостаточно освещены и требуют дальнейших исследований.

Вся процедура тестового диагностирования может быть построена через проверку элементов каждого уровня иерархии учебного процесса с выделением и анализом промежуточных результатов проверки элементов нижележащих уровней. Это позволит сделать тест системным. При этом подробная детализация оценок для всех элементов, охваченных тестовым заданием, даст возможность выявить наиболее «слабые» звенья учебного процесса с точки зрения освоения, что позволит сформировать список необходимых корректирующих мероприятий (методических материалов, консультаций, пересдач, дополнительной отработки и т.д.).

Каждый элемент части компетенции представляет собой линейную свертку результатов проверки его составляющих, распределенных по способам формирования и средствам контроля. Например, знания могут быть проверены и оценены по результатам реализации теста знаний (ТЗ), умения – по выполненным домашним заданиям (ТУ), владения – по демонстрации навыков, полученных в результате выполнения лабораторных работ или курсового проектирования (ТВ). Для этого в каждом элементе должны быть выделены объекты контроля (проверки) и оценки: структуры, протоколы, алгоритмы, методы, инструментарий и т.п. Порядок оценивания должен быть специально определен, например, в рамках отдельного доку-

мента с названием типа «Методические указания по применению средств контроля и оценивания дисциплинарных компетенций и их элементов» в составе учебно-методического комплекса дисциплины. Этот документ подготавливается разработчиком рабочей программы дисциплины с учетом ее содержания, места в учебном процессе, форм аудиторной и самостоятельной работы студентов и т.д. и предназначен как для преподавателя (например, для разработки базы тестовых заданий), так и для студента (основные объекты изучения в данной дисциплине).

Пример структуры соответствия элементов компонентной структуры одной дисциплинарной компетенции и соответствующих средств контроля представлен в таблице 2.3.5, которая построена для рассматриваемой в качестве примера учебной дисциплины в предположении, что знания контролируются тестами (например, по темам лекций, количеством N_T), умения – проверкой индивидуальных заданий количеством $N_{ИЗ}$, владения – защитой лабораторных работ количеством $N_{ЛР}$ и курсовым проектированием.

Таблица 2.3.5 – Таблица соответствия элементов ДК и средств контроля

СК ЗУВ		Средства контроля (СК)												
		ТЗ				ТУ				ТВ				
		T_1	T_2	...	N_T	1	2	...	$N_{ИЗ}$	1	2	...	$N_{ЛР}$	КП
ИК-1.ИД	Z_1	+	+	...			...					...
								
	Z_l		+	...	+			...				...
	Y_1			...		+		...						
								...	+			...		
	Y_m			...				...	+			...
	B_1			...				...		+		...		+
								+	+
B_n			...				...				...	+	+

В простейшем случае, когда каждый элемент одной компоненты дисциплинарной компетенции проверяется только одним контролирующим заданием, количество тестовых заданий равно количеству элементов дисциплинарной компетенции (ЗУВ). В случае если один тест покрывает несколько элементов компетенции, в таблицу могут заноситься оценки для каждого элемента. Они формируются элементарными проверками (ЭП), каждая из которых предназначена для проверки

и оценивания только одного элемента. Для теста, например, это может быть группа тестовых вопросов, контролирующая конкретный элемент, для домашнего задания – фрагменты, в которых решаются частные задачи проверки и оценивания конкретного элемента и т.д. Тогда в интегральную оценку соответствующего элемента (по горизонтали таблицы) будут входить дифференциальные оценки элементарных проверок, что сделает результат более объективным и адекватным. Таким образом, в таблицы 2.3.5 каждая ячейка заполняется как результат элементарной проверки, покрывающей только один элемент компетенции. Это – диагностический тест с максимальной глубиной локализации (до элемента ДК).

Количество, содержание и структура тестов может быть переменной в зависимости от конкретной задачи проверки. Например, при формировании тестов, каждый из которых охватывает несколько элементов, снижается общее количество тестов, но ухудшается глубина локализации неувоенных студентом вопросов (тем, разделов и т.п.). Такой подход эффективно применять при рубежной аттестации (зачет, экзамен по модулю, разделу или дисциплине), где важен только результат. В процессе текущей аттестации (или при самоконтроле) нужно постараться дать студенту информацию для коррекции пробелов с максимальной глубиной локализации.

Для оценки результатов освоения компетенций в рамках конкретного вида работы составляется интегральная оценка по соответствующим элементам компонентов дисциплинарных компетенций (по вертикали таблица 2.3.5). Для некоторых видов работы оценка может быть получена непосредственно из первоначальной таблицы (например, можно сформировать оценку за домашнее задание, лабораторную работу, курсовой проект и т.д.). В противном случае, например, для тестирования знаний, можно в соответствии с приведенной выше методикой разбить тест на элементарные проверки (группы вопросов), проверяющих тематику конкретной лекции (или конкретную тему). Тогда каждый элементарный тест оценит закрепленные за ним элементы. В документе «Методические указания по применению средств контроля и оценивания закрепленных дисциплинарных компетенций и их элементов» должно быть приведено развернутое представление

таблицы 2.3.5, где наряду с элементами компонентов дисциплинарных компетенций для них должны быть указаны объекты контроля и способы их оценивания. Допустимы различные варианты свертки, отличающиеся сложностью вычисления, полнотой покрытия, глубиной (точностью) локализации и т.д.

2.4. Выводы по главе

В главе приведено описание предложенных способов управления качеством на этапе проектирования программ подготовки.

1. Предложена модель управления и контроля качества подготовки специалистов на разных стадиях реализации программы. В рамках общей модели построены частные модели формирования компетенций как основных результатов реализации теоретического обучения по программе; соответствия способов и средств формирования и контроля частей компетенций (дисциплинарных компетенций) и их составляющих; оценивания результатов подготовки с учетом стадий реализации программы; агрегирования компетенций на этапе итоговой аттестации; представления показателей результативности обучения. Применение модели позволит решать соответствующий круг задач определения результатов обучения и освоения программы с учетом особенностей стадии ее реализации.

2. Разработана и проанализирована классификация диагностических тестов (средств контроля), что позволило определить области целесообразного применения тестов разной структуры и назначения.

3. Разработана и проанализирована классификация способов определения интегральных показателей качества подготовки, рассмотрены особенности каждого критерия, определена область целесообразного применения, даны практические рекомендации по использованию на разных этапах оценивания результативности подготовки.

4. Разработана методика совместного проектирования компетентностной модели и учебного плана подготовки, позволяющая учесть заданные требования и ограничения. Предложенный алгоритм апробирован в разработанном программ-

ном инструментарии, который активно использован при создании учебно-методической документации в ПНИПУ и вузах-партнерах.

5. Предложены способы формализации и подбора эффективных сочетаний средств формирования, контроля и оценки уровня освоения компонентов компетенций. Сформулированы определения компонентов компетенций (ЗУВ), что позволило формализовать разработку учебно-методической документации структурных единиц (модулей, разделов, дисциплин) программы подготовки.

6. Предложена итеративная процедура построения матрицы соответствия элементов дисциплинарных компетенций и видов аудиторной и самостоятельной работы, участвующих в их формировании, что дало возможность выработать и применить на практике рекомендации для распределения видов работы по элементам частей компетенций, закрепленных за конкретной учебной дисциплиной.

7. Сформулирован иерархический подход к построению моделей формирования и системных тестовых заданий для проверки уровня освоения элементов и компонентов компетенций, приведены иллюстрирующие примеры. Предложенный подход даст возможность обеспечить взаимосвязь между средствами формирования и контроля элементов компетенций, а также формализовать и оптимизировать итеративную процедуру создания тестовых заданий для заданной глубины локализации, уровня сложности и покрывающей способности тестов.

Основные результаты исследований, рассмотренных в настоящей главе, опубликованы в работах [53, 55, 57, 59, 60, 64, 69, 71, 155, 159, 160, 164, 166, 170, 171, 175, 177, 179, 180].

Глава 3. Математические и информационные модели количественной оценки результативности подготовки

Основной характеристикой эффективности учебного процесса и качества подготовки специалиста является количественная оценка уровня освоения им перечня заявленных компетенций. Поставленная задача количественной оценки уровня освоения компетенций, формируемых различными видами занятий на всех этапах обучения студентов, является многокритериальной, слабо формализуемой задачей большой размерности. Далее будут предложены подходы к решению поставленных задач.

3.1. Анализ проблемы количественной оценки результативности на разных стадиях реализации программ подготовки

3.1.1. Анализ и обоснование выбора критерия оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих

Каждая компетенция как результат обучения может быть оценена с использованием многоуровневых шкал (например, трехуровневой – высокий (продвинутый), средний, низкий (пороговый)). ФГОС-3 и сопутствующие руководящие и методические документы Министерства образования и науки Российской Федерации не регламентируют методики оценки качества подготовки, отдавая указанные вопросы в компетенцию образовательным учреждениям. Поэтому каждый вуз сам устанавливает требования к результатам подготовки. Главным отличием ФГОС-3 от стандартов предыдущего поколения является то, что на основании государственной итоговой аттестации (ГИА) необходимо сформировать результирующий показатель уровня подготовки выпускника (а не просто оценку за междисциплинарный экзамен и защиту выпускной квалификационной работы). Таким образом, дисциплины и разделы призваны сформировать закрепленные за ними компетенции с заданным уровнем освоения, а промежуточные и ГИА – контролировать соответствие заданного уровня реальному результату [95].

Контроль представляется многоуровневой многоэтапной процедурой, одной из целей которой является формирование *интегральной* (комплексной, итоговой) оценки уровня подготовки как студента, так и выпускника. Однако не всегда интегральная оценка полностью обеспечивает все потребности в контроле. Так, например, для промежуточного контроля и управления корректирующими мероприятиями важно получить *дифференциальные* оценки (например, по конкретному занятию, по видам занятий, по модулю, по дисциплине, по циклу и т.д.). Это отвечает главному принципу образования – не просто проконтролировать, а научить, в т.ч. устранить выявленные пробелы в образовании, что актуально при значительном объеме самостоятельной работы. Для реализации указанного принципа следует организовать итеративную процедуру контролируемого учебного процесса. Таким образом, промежуточный контроль дает детализированную информацию для проведения корректирующих мероприятий (дополнительных занятий, консультаций, заданий и т.п.), что в результате приводит (или должно приводить) к улучшению результата освоения [17].

Очевидно, что применение и интегральных, и дифференциальных оценок сводится к необходимости введения *интегро-дифференциального* способа оценивания всех элементов структуры компетенций. Также ниже будут определены требования к формированию шкал для оценки дифференциальных показателей, которые позволят использовать их в интегральной оценке более высокого уровня.

Выбираемый критерий оценки должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- возможность реализации суперпозиции (склейки) оценок на разных уровнях иерархии;
- низкая вычислительная сложность алгоритма реализации.

Для решения указанного выше класса задач в научно-практических публикациях обсуждаются различные критерии, в частности, *линейный (аддитивный)*, *нелинейный (мультипликативный)* и *комплексный нелинейный (смешанный)* критерии. Последний критерий может быть представлен как сумма произведений либо как произведение сумм дифференциальных оценок. Нелинейный критерий

требует обязательного выполнения условия необходимости положительных результатов по всем составляющим, что не всегда бывает приемлемо, особенно для контроля на промежуточных этапах обучения. Смешанный критерий требует выполнения указанного условия по части оценок, что тоже усложняет и затрудняет его реализацию. Поэтому приведенным выше требованиям удовлетворяет линейный критерий. Дополнительным аргументом в пользу такого выбора является существенный недостаток научно-методических работ, посвященных сравнительному анализу линейных и нелинейных критериев, в которых для каждого из них определялась бы области и рекомендации их целесообразного применения. Поэтому далее исследуется линейный (аддитивный) интегро-дифференциальный критерий оценивания всех элементов структуры компетенций.

Промежуточная интегральная (составная) линейная оценка i -го уровня формируется из дифференциальных оценок i -го уровня и может быть представлена в линейной форме (например, вычисление «среднего балла»). Итоговая интегральная оценка студента (выпускника) складывается из дифференциальных оценок (уровней освоения) каждой из заявленных для формирования компетенций с использованием следующей линейной свертки:

$$O_{\text{и}} = \alpha_1 \cdot O_{\text{К1}} + \alpha_2 \cdot O_{\text{К2}} + \dots + \alpha_i \cdot O_{\text{Ки}} + \dots + \alpha_n \cdot O_{\text{Кн}},$$

где $O_{\text{и}}$ – итоговая оценка уровня подготовки студента, $O_{\text{Ки}}$ – оценка освоения i -ой из перечня заявленных компетенций, n – количество компетенций, заявленных для формирования в компетентностой модели выпускника (КМВ) данного направления и профиля (бакалаврской или магистерской программ) подготовки; α_i – весовой коэффициент (показатель важности) i -ой компетенции.

Для разработки системы контроля результатов обучения структуру образовательного процесса можно стратифицировать следующим образом (рисунок 2.3.1):

- компетенции;
- части компетенции, закрепленные за дисциплинами (модулями дисциплин, темами и т.п.) или разделами (практики, научно-исследовательская работа) основной образовательной программы;

– *элементы частей компетенций*: знания, умения, владения;

– *типы занятий*, структурированные по видам работы: аудиторная (лекции, практические занятия, лабораторные работы и т.п.) и самостоятельная (курсовое проектирование, комплексные индивидуальные задания, рефераты и т.п.).

Определим требования к формированию шкал для оценки дифференциальных показателей, которые позволят их использовать в интегральной оценке более высокого уровня. Выделим две основные задачи, решаемые при формировании и применении интегро-дифференциальных оценок:

1. Расчет интегральных оценок соответствующего уровня для проведения промежуточной, рубежной или итоговой аттестации (перевод на следующий курс, назначение на стипендию, присвоение квалификации и т.п.).

2. Управление качеством образовательного процесса в рамках текущего временного интервала (модуля, дисциплины, семестра, цикла дисциплин и т.д.).

Для решения первой задачи шкалы выбираются в соответствии с требованиями законодательных органов, рекомендациями учебно-методических объединений вузов, традициями самого учебного заведения и т.д. На текущий момент, кроме традиционной четырехбалльной шкалы, существует достаточно много вариантов, принятых в Северной Америке, Европе и перешедших в некоторые учебные заведения России (с количеством уровней 6, 7, 11, 20 и т.д. [26, 109]). При выборе числа уровней шкалы необходимо решить следующие частные задачи:

а) сформулировать правила соответствия каждого уровня шкалы объему выполненного задания с учетом зависимости показателей важности и значений уровней шкалы;

б) сопоставить этот уровень с соответствующей оценкой, т.е. разработать дескриптор ЗУВ как указатель действий, которые необходимо предпринять педагогу или студенту по известной оценке.

Для решения второй задачи важны не только сами оценки, но и сформированные на их основании рекомендации по коррекции объектов проверки, т.е. определенных пробелов в оцениваемых элементах компетенций (знаний, умений или владений). На данном этапе разработчиком конкретного компонента образо-

вательной программы (например, учебной дисциплины), могут быть назначены свои собственные шкалы, требования к уровням и весовые коэффициенты важности. Он самостоятельно задает пороговые значения, например, процент выполнения домашних заданий, выполнения лабораторных работ, посещаемости лекций и т.п., чтобы впоследствии по анализу результатов контроля построить график и сформировать содержание корректирующих мероприятий. При этом для выполнения таких задач требуется инструментарий, реализованный с применением современных информационных технологий. На сегодняшний день отсутствует методология разработки подобной среды.

Для формирования интегро-дифференциального критерия оценки необходимо сформулировать определенные требования к шкале:

- размерность шкалы (минимальное и максимальное значения оценок);
- допустимость несовпадения количества уровней шкал для разных дифференциальных оценок в составе одной интегральной;
- минимальное и максимальное количество уровней в шкалах.

Для выбранного линейного критерия потребуем одинаковой размерности шкалы для всех оценок. Это требование легко реализуемо за счет выполнения операций масштабирования. Логичным и удобным представляется применение нормализованной шкалы $[0, 1]$. Оценка по данной шкале может быть обусловлена, например, процентом решенных заданий в контролирующем тесте, долей выполненных домашних заданий, частью защищенных отчетов по лабораторным работам и т.п., что представляется естественным и привычным для учебного процесса.

Применение нормализованных разноуровневых шкал для решения задач управления качеством образовательного процесса допустимо. При этом необходимо четко сформулировать критерии принадлежности результата контроля к тому или иному уровню шкалы. Это важно, поскольку на основании принятого решения будут предприняты последующие действия либо по аттестации, либо по формированию корректирующих воздействий. Формально нормализованная интегральная оценка всегда может быть вычислена с использованием выбранного линейного критерия [66].

Для интегральной оценки, в зависимости от конечной цели, возможно применение шкалы с числом уровней равным наименьшему либо наибольшему числу уровней, используемых в шкалах обобщаемых дифференциальных оценок, т.е. входящих в интегральный критерий данного уровня. Например, если дифференциальные оценки имеют 2, 3 и 4 уровней соответственно, то интегральная оценка, используемая для точного оценивания, должна иметь количество уровней не меньше 4, иначе теряется смысл дифференциальной оценки с 4-уровневой шкалой. Следовательно, если задана шкала интегральной оценки, с наибольшим числом уровней, то целесообразно ее применение и для точного дифференцированного оценивания. Но вполне допустимо раздельное использование более грубой интегральной оценки (внешняя шкала с малым числом уровней), а детальный анализ результатов проверки, например элементов и частей компетенций, выполнять по дифференциальным оценкам (внутренние шкалы с большим числом уровней). Вопросы совместного применения разноуровневых шкал, доказательства корректности их применения, а также зависимости количества уровней от важности (веса) самой оценки, требует дополнительного исследования.

Очевидно, минимальное количество уровней шкалы равно 2, и такая оценка традиционно используется в системе «зачет» / «незачет». Однако низкая иллюстративность данной оценки приводит к тому, что учебные заведения постепенно отказываются от нее в пользу шкал с количеством уровней больше 2. При этом значения шкал, кроме качественных показателей (например, «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно»), могут иметь и количественные показатели (например, процент решенных тестовых заданий). Тогда разбиение на шкалы производится для решения задач аттестации и эффективного управления, как было показано выше.

Для оценивания результатов контроля эффективности формирования составляющих компетенций различными видами занятий нашли практическое применение два подхода. Суть первого (упрощенного) подхода состоит в построении линейной свертки оценок, поэтому при нормированных оценках основная проблема состоит в выборе весовых коэффициентов [58]. Она обычно решается мето-

дом экспертной оценки и, при привлечении широкого круга квалифицированных экспертов и правильно построенной процедуре обработки результатов, может обеспечить достаточно высокую точность. Распространяя указанный подход на составляющие компетенций (части, формируемые учебными дисциплинами или разделами), и далее на элементы в составе части (ЗУВ), можно сформулировать единые подходы к оцениванию уровня подготовки на разных этапах обучения (в процессе промежуточного, рубежного или итогового контроля).

Основная идея второго подхода, использующего результаты исследований теории важности критериев (ТВК) [101], заключается в выявлении взаимосвязи не только между весовыми коэффициентами, но и между весовыми коэффициентами и самими критериями (оценками). ТВК обосновывает необходимость учитывать то, как изменяется корректность оценки при переходе от одного уровня шкалы к другому. В результате для получения более точных оценок необходим детальный учет всех зависимостей, что приводит к усложнению процедуры оценивания. Поэтому для снижения вычислительной сложности алгоритма и сохранения точности оценивания необходимо учесть дополнительные ограничения, обусловленные характерными особенностями технических направлений подготовки, на примере которых и проводится исследование.

Примем за основу первый подход и покажем корректность сделанного выбора. Для оценки уровней освоения элементов закрепленной за конкретным модулем части компетенции предлагается использовать интегрально-дифференциальный критерий. В качестве дифференциальных оценок выступают оценки по соответствующим видам занятий или заданий, участвующих в формировании данного элемента (например, лекции – знаний, практические занятия, индивидуальные задания – умений, лабораторные занятия, практики – владений и т.д.). Весовые коэффициенты подбираются по значимости (важности) соответствующего вида занятий или заданий с соблюдением условия нормирования:

$$O_z^{(\mu, \nu)} = \alpha_{z1} \cdot O_{z1} + \alpha_{z2} \cdot O_{z2} + \dots + \alpha_{zi} \cdot O_{zi} + \dots + \alpha_{zk} \cdot O_{zk},$$

$$O_y^{(\mu, \nu)} = \alpha_{y1} \cdot O_{y1} + \alpha_{y2} \cdot O_{y2} + \dots + \alpha_{yi} \cdot O_{yi} \dots + \alpha_{ym} \cdot O_{ym},$$

$$O_B^{(\mu, \nu)} = \alpha_{B1} \cdot O_{B1} + \alpha_{B2} \cdot O_{B2} + \dots + \alpha_{Bi} \cdot O_{Bi} + \dots + \alpha_{Bn} \cdot O_{Bn},$$

где $O_3^{(\mu, \nu)}$ ($O_Y^{(\mu, \nu)}$, $O_B^{(\mu, \nu)}$) – оценки элементов (З, У, В) μ -ой части ν -ой компетенции, O_{3i} (O_{Yi} , O_{Bi}) – оценки элемента по видам занятий, участвующих в его формировании, α_{3i} (α_{Yi} , α_{Bi}) – весовые коэффициенты. Тогда

$$O^{(\mu, \nu)} = \alpha_{3\mu} \cdot O_3^{(\mu, \nu)} + \alpha_{Y\mu} \cdot O_Y^{(\mu, \nu)} + \alpha_{B\mu} \cdot O_B^{(\mu, \nu)},$$

где $O^{(\mu, \nu)}$ – оценка μ -ой части ν -ой компетенции, $\alpha_{3\mu}$ ($\alpha_{Y\mu}$, $\alpha_{B\mu}$) – весовые коэффициенты и далее

$$O^{(\nu)} = \alpha_1 \cdot O^{(1, \nu)} + \alpha_2 \cdot O^{(2, \nu)} + \dots + \alpha_i \cdot O^{(i, \nu)} + \dots + \alpha_r \cdot O^{(r, \nu)},$$

где $O^{(\nu)}$ – оценка ν -ой компетенции, α_i – весовые коэффициенты, r – количество частей ν -ой компетенции. Оценка компетенций производится по шкале, количество и дескрипторы уровней которой определены компетентностной моделью выпускника и приведены в паспорте соответствующей компетенции. Далее производится оценка результата и формирование выводов.

Заметим, что дифференциальные оценки i -го уровня, входящие в структуру интегральной оценки i -го уровня иерархии, являются, в свою очередь, интегральными оценками для $(i+1)$ -го уровня (младшего с точки зрения иерархической структуры).

3.1.2. Анализ подходов к оцениванию элементов компетенций по участвующим в их формировании видам работы обучаемых

Рассмотрим подход к вычислению оценок уровня освоения элементов частей компетенций по соответствующим им видам работы. В общем случае работа студента состоит из аудиторной и самостоятельной составляющих, заданных в часах в рабочем учебном плане. Оба вида работы подразделяются на соответствующие виды:

- аудиторная работа – лекции, практики, лабораторные и т.п.;
- самостоятельная – рефераты, расчетно-графические работы, домашние задания, курсовые проекты (работы) и т.п.

Очевидно, что освоение (выполнение) различных видов работы тоже должно проводиться по-разному. Рассмотрим далее подходы к определению интегро-дифференциальных оценок на примере фрагмента учебного процесса – модуля дисциплины.

Эффективность аудиторной работы может быть наиболее просто оценена по посещаемости или, в более усложненной форме, с учетом активности во время занятий. Рассмотрим пока простейший способ оценки аудиторной работы.

Введем количественную оценку и потребуем принадлежности ее значений диапазону $[0, 1]$. Тогда оценка какого-либо из видов аудиторной работы будет представлять собой отношение реально отработанных часов к общему количеству часов аудиторной нагрузки заданного вида. Например, для случая трех видов аудиторных занятий, характерных для технических ВУЗов (лекционные занятия, практические занятия и лабораторные работы) оценки рассчитываются как $O_{ЛК} = N_{ЛКф} / N_{ЛКп}$, где $N_{ЛКф}$ – количество отработанных часов, $N_{ЛКп}$ – количество часов, предусмотренное учебным планом для данного вида занятий. Для других видов аудиторных занятий оценка, очевидно, выводится аналогично.

Для формирования общей оценки аудиторных занятий O_A можно использовать следующую зависимость [70]:

$$O_A = \alpha_{ЛК} \cdot O_{ЛК} + \alpha_{ПР} \cdot O_{ПР} + \alpha_{ЛР} \cdot O_{ЛР},$$

где $\alpha_{ЛК}$, $\alpha_{ПР}$, $\alpha_{ЛР}$ – весовые коэффициенты, учитывающие вклад (важность) каждого из указанных видов занятий. Очевидно, что обязательно должно выполняться условие нормирования: $\alpha_{ЛК} + \alpha_{ПР} + \alpha_{ЛР} = 1$. В простейшем случае при одинаковой важности всех видов занятий весовые коэффициенты одинаковы и равны $1/n$, где n – количество оцениваемых видов занятий (в нашем примере 3).

При оценке аудиторной работы по посещаемости необходимо понимать, что это упрощенная модель оценивания, которая показывает лишь дисциплинированность и аккуратность студента. Это может быть учтено низким значением соответствующего весового коэффициента. Однако при правильно организованных видах аудиторной работы, что должно быть обусловлено методически грамотной организацией, педагогическими способностями преподавателя, дополнительной мотивацией студентов и т.п., значение посещаемости и соответствующий весовой коэффициент могут быть повышены.

По аналогичной логике можно вывести соотношения для оценки самостоятельной работы. Примем, что самостоятельная работа оценивается по m заданиям,

которые студент должен выполнить. Оценка за задание также должна находиться в диапазоне 0 до 1, что может быть также интерпретировано как доля выполнения (от 0 до 100 %).

Для формирования общей оценки самостоятельной работы O_C можно использовать следующую зависимость:

$$O_C = \alpha_{31} \cdot O_{31} + \alpha_{32} \cdot O_{32} + \dots + \alpha_{3m} \cdot O_{3m},$$

где α_{3i} – весовые коэффициенты, учитывающие вклад (важность) i -го задания. Очевидно, что обязательно должно выполняться условие нормирования: $\alpha_{31} + \alpha_{32} + \dots + \alpha_{3m} = 1$. В простейшем случае при одинаковой важности всех заданий весовые коэффициенты одинаковы и равны $1/m$, где m – количество заданий на самостоятельную работу.

Оценив аудиторную и самостоятельную работу, можно вывести общую оценку за элемент (тема, раздел, модуль, дисциплина и т.п., в нашем примере модуль):

$$O_M = \alpha_A \cdot O_A + \alpha_{CPC} \cdot O_C,$$

где α_A , α_C – весовые коэффициенты, учитывающие вклад (важность) соответствующего вида занятий. Очевидно, что обязательно должно выполняться условие нормирования: $\alpha_A + \alpha_C = 1$. В простейшем случае при одинаковой важности всех видов занятий весовые коэффициенты одинаковы и равны 0,5. Для современного (компетентностного) подхода к образованию логичным является выполнение условия: $\alpha_A < \alpha_C$.

Оценки соответствующих видов работы могут быть интерпретированы и вычислены как оценки элементов частей компетенций, в формировании которых участвует данный компонент учебного процесса. Например, если лабораторная работа участвует в формировании трех элементов «Уметь» и одного элемента «Владеть», то в процессе ее выполнения и защиты все элементы будут оценены и учтены в оценке всего занятия. Правила формирования оценок элементов частей компетенций по соответствующим им компонентам работы студентов раскрываются в специальных документах «Контрольно-измерительные материалы по дисциплине» и «Методические рекомендации преподавателю по организации и оце-

ниванию результатов реализации дисциплины» в составе учебно-методического комплекса дисциплины [180].

Из вышеизложенного следует, что основная задача – это разработка подходов и рекомендаций по правильному выбору весовых коэффициентов и соблюдению условий нормализации размерности шкал. Ниже приводятся некоторые соображения по решению указанной задачи.

1. Для принятия решения должны быть сформулированы шкалы оценки. В простейшем случае диапазонов может быть два: удовлетворяет результат обучения или не удовлетворяет (требуется коррекция). Следующим вариантом может быть третичная система оценки: результат удовлетворяет, требует уточнения (повторного тестирования) или настолько плох, что требует принятия организационных мер, и т.д. Как уже говорилось выше, разработка и исследование шкал оценки – отдельный вопрос, который зависит от многих факторов (профиль образования, наличие образовательных ресурсов, традиции и т.п.).

2. С учетом рекомендаций теории принятия решений (теории важности критериев) по корректной оценке результатов тестирования, представляется целесообразным исследование зависимостей весовых коэффициентов и шкал оценки критериев, что позволит сформировать конкретные рекомендации по оперативному контролю и оцениванию результатов обучения.

3. Наличие линейной системы формирования оценки позволит проводить «склеивку» результатов для вычисления оценки более высокого уровня. С другой стороны, она дает преподавателю инструмент для управления образовательным процессом в рамках своей дисциплины. Действительно, задав эмпирические (экспертные или определенные на основании статистики) значения весовых коэффициентов, а также шкалу оценивания, он может построить несколько моделей (траекторий) обучения, оперативно контролировать учебный процесс и, используя прогнозирование, вовремя корректировать траектории обучаемых.

Рассмотрим некоторые ситуации при двоичной системе принятия решений:
 $O_{гр} = 0,8, O \geq O_{гр}$.

1. $O_A = O_C = 1 \Rightarrow O = 1$ – модель «идеального студента».

2. $O_A = 1, O_C = 0 \Rightarrow O = \alpha_A$ – на занятиях присутствовал, но ничего не сделал и не сдал, в результате $O < O_{гр}$ («старательный двоечник»).

3. $O_A = 0, O_C = 1 \Rightarrow O = \alpha_C$ – на занятиях не присутствовал, но все сдал, в результате все равно $O < O_{гр}$ (если $\alpha_C < O_{гр}$) («работающий студент»).

4. $O_A = 0,5, O_C = 0,5 \Rightarrow O = 0,5$ – на занятиях частично присутствовал, сдал половину, в результате все равно $O < O_{гр}$ («среднестатистический студент, троечник»).

Можно подобрать значения оценок для заданных весовых коэффициентов α_A, α_C и граничной оценке $O_{гр}$.

Пусть $\alpha_A = 0,25, \alpha_C = 0,75, O_{гр} = 0,8$, тогда $0,8 = 0,25 \cdot O_A + 0,75 \cdot O_C$, следовательно, возможны такие варианты (приведем некоторые):

а) $O_A = 1, O_C = 0,7(3) \Rightarrow$ при идеальном посещении аудиторных занятий также необходим достаточно высокий уровень выполнения заданий на самостоятельную работу;

б) $O_C = 1, O_A = 0,2 \Rightarrow$ при идеальном выполнении заданий на самостоятельную работу можно позволить посещение небольшого количества занятий (например, только лабораторных работ или практик, т.к. студент показал отличные способности к самостоятельному обучению);

в) $O_A = 0,5, O_C = 0,9 \Rightarrow$ при посещении половины занятий студент должен показать высокий уровень выполнения заданий на самостоятельную работу;

г) $O_C = 0,5, O_A = 0,9 \Rightarrow$ при посещении большинства аудиторных занятий необходимо выполнить не менее половины заданий на самостоятельную работу и т.п.

3.1.3. Разработка рекомендаций по формированию заданий для оценивания

Укажем на некоторые подходы к решению задач из первой группы – разработка тестовых заданий для формирования оценок. Очевидно, что от качества, уровня проработки, ширины охвата и других показателей зависит и адекватность оценки результатов контроля [57]. Поэтому нужно определиться со спецификацией, содержанием и видами проверок для каждого элемента компетенции (знаний, умений и владений).

В качестве количественной оценки уровня освоения компетенции предлагается использовать результаты тестирования последней, сопоставленные соответствующему уровню многоуровневой шкалы. При указанном подходе проблемой является построение тестов проверки элементов части компетенции (ЗУВ), формируемых соответствующими видами занятий. Процедура проверки компетенций и их составных частей может быть реализована для разных целей: уровень заданных компетенций (квалификационные требования стандарта или работодателей), аттестация, самопроверка и т.п.

Для проверки знаний наиболее подходит тестирование. Для качественной оценки «знаниевая» составляющая дисциплины (разделы, темы, параграфы и т.д.) должны быть структурированы на атомарные (неделимые) понятия (аналогичные дидактическим единицам согласно ГОС-2). Это могут быть термины, законы, правила, теоремы, структуры, алгоритмы и т.п. Далее для каждого выделенного понятия формируется база тестовых заданий разных уровней сложности (например, двух или трех). Это позволяет на тестовых заданиях более высокого уровня сложности частично проверить и умения. Однако не стоит забывать о психологической сложности тестирования, связанного с условиями проведения, ограниченности времени и т.п. Поэтому тестирование в нашем представлении должно быть ориентировано на проверку знаний, хотя при более сложной структуре и содержании тестового задания в нем могут быть проверены и умения, и в какой-то степени владения.

Например, тестовое задание для дисциплины «Общая теория связи», формирующего компонент «Знание» в следующей формулировке: «Знает способы задания избыточных циклических кодов», может выглядеть так: «Привести (выбрать правильные) формулировки конструктивных теорем ...», и далее варианты ответов [57].

Для проверки умений более подходит оценка полноты и правильности выполнения заданий на самостоятельную работу: домашние задания по тематике практических занятий или лабораторных работ, расчетно-графические работы и т.д. Особенностью данного вида контроля является подробное методическое

обеспечение (например, в виде методических указаний по выполнению самостоятельной работы), которое позволит студенту самостоятельно выполнить задание.

Например, тестовое задание для дисциплины «Общая теория связи», формирующего компонент «Умение» в следующей формулировке: «Умеет рассчитать вероятностные характеристики системы передачи данных (СПД) с использованием избыточных циклических кодов и технические характеристики аппаратных или аппаратно-программных кодеков», может выглядеть так: «Рассчитать вероятностные и технические характеристики СПД, использующей БЧХ-код с информационной частью длины $m = 5$ и кратностью исправляемых ошибок $s = 2$ », далее даны варианты ответов или необходимо дать свой вариант. При решении тестовых заданий в виде задач указанного типа студенту предоставляется инструментально-методическая среда, содержащая таблицы, программы сложных расчетов и другие вспомогательные материалы [57].

Самым значимым (с точки зрения компетентностного подхода) и сложным для формализации и реализации элементом контроля является оценка владений, поскольку именно они ориентированы на формирование компетенций как способности к успешной профессиональной деятельности. Контроль владений проводится в результате оценки уровня выполнения научно-исследовательской работы, заданий на практики, курсового проектирования или комплексных междисциплинарных индивидуальных заданий, защиты лабораторных работ и других видов работ. Желательно, чтобы оценка владений выносилась с учетом мнения потенциальных работодателей. Таким образом, проконтролировать владения можно там, где студент самостоятельно применил полученные знания и умения при решении индивидуального, сложного, нетипового (нестандартного), междисциплинарного задания. Естественно, что самостоятельная работа студента тоже сопровождается инструментально-методическим обеспечением, однако оно имеет скорее направляющий характер вследствие индивидуальности заданий, покрытия заданием нескольких профессиональных дисциплин, ожиданием от студента самостоятельности в поиске решения поставленной задачи и т.п. [57].

Например, тестовое задание для дисциплины «Общая теория связи», формирующего компонент «Владение» в следующей формулировке: «Владеет методиками выбора и реализации эффективного способа обеспечения заданной достоверности передачи», может выглядеть так: «Для исходных данных (вероятность правильной передачи $P_{\text{пр}} \geq 0,99999$, вероятность появления независимых ошибок на символ $P_{\text{ош}} = 10^{-5}$, длина информационной части $m = 24$) выбрать способ обеспечения достоверности передачи информации в канале связи, предложить реализацию кодирующих и декодирующих устройств в заданном аппаратно-программном базисе», далее привести варианты расчетов и обосновать выбор .

Следует отметить отсутствие публикаций по общей конструктивной концепции построения корректных тестовых заданий и доказательств полноты проверки элементов и частей компетенций. В то же время во многих вузах имеются частные тесты и тестовые задания для проверки некоторых элементов компетенций (в основном знаний и умений) по отдельным дисциплинам и рекомендации по коррекции знаний по результатам проверки.

Изложенный выше подход к оценке результатов обучения в рамках компетентностного подхода использован при реализации образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлению 11.03.02 и 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» и 27.03.04 и 27.04.04 «Управление в технических системах». Предложенные принципы были применены для подготовки тестовых заданий и разработки методики оценивания компонентов компетенций, закрепленных за дисциплинами профессионального цикла соответствующих учебных планов.

3.2. Разработка и реализация процедур контроля и оценивания уровня компетентности специалистов

После выделения объектов контроля и проверяемых параметров необходимо разработать методику оценки результатов тестового диагностирования. Далее рассматриваются предлагаемые подходы к решению данной частной задачи.

Как было сказано выше, для формирования оценки предлагается применить интегро-дифференциальный критерий. При этом подходе оценка элемента дисциплинарной компетенции складывается из оценок совокупности соответствующих ему элементарных проверок:

$$O(\mathcal{ЭЛ}_k) = \sum_{i=1}^r \tilde{O}(\Phi K_i^{\mathcal{ЭЛ}_k}),$$

где $O(\mathcal{ЭЛ}_k)$ – интегральная оценка результатов тестирования уровня освоения проверяемого элемента компетенции; $\mathcal{ЭЛ}_k$ – оцениваемый элемент компонента дисциплинарной компетенции (З, У или В); $\Phi K_i^{\mathcal{ЭЛ}_k}$ – i -ая форма контроля проверяемого элемента $\mathcal{ЭЛ}_k$; $\tilde{O}(\Phi K_i^{\mathcal{ЭЛ}_k})$ – взвешенная дифференциальная оценка результатов контроля проверяемого элемента $\mathcal{ЭЛ}_k$ с использованием i -ой формы контроля $\Phi K_i^{\mathcal{ЭЛ}_k}$, т.е. оценка, нормализованная в выбранном диапазоне $[0, 1]$, умноженная на весовой коэффициент (показатель важности); r – количество форм контроля (элементарных проверок) для проверяемого элемента $\mathcal{ЭЛ}_k$.

Для всех весовых коэффициентов (показателей важности) выполняется условие нормирования: сумма всех коэффициентов при дифференциальных оценках форм контроля равна 1. Весовые коэффициенты определяются экспертами. Для оценок используются шкалы одинаковой размерности, принятой в диапазоне $[0 \div 1]$.

Полученное множество интегральных оценок элементов можно использовать в качестве дифференциальных для следующего уровня иерархии. Далее можно рассчитать оценки сформированных в рамках данной дисциплины или раздела частей компетенций (дисциплинарных компетенций). Затем можно оценить уровень освоения каждой компетенции с учетом оценок частей, сформированных в разных дисциплинах (например, в конце теоретического обучения). При необходимости в конце обучения на основании оценок всех компетенций и с учетом результатов итоговой государственной аттестации можно оценить уровень освоения студентом всей основной образовательной программы.

При решении задачи повышения качества образования важным представляется проверить и оценить не только элементы компетенций, но и эффективность формирующих компонентов (видов работы), а также адекватность средств контроля. Применение методики такой оценки позволит:

- детализировать слабые места в осваиваемых элементах компетенций;
- выявить слабо методически организованные виды аудиторной или самостоятельной работы;
- определить эффективность и недостатки (корректность контролирующих заданий, соответствие сложности задания отводимым для его решения временным рамкам, полноту охвата материала и т.п.) алгоритмического, информационного и программного обеспечения диагностических средств контроля в составе автоматизированной системы тестового диагностирования компетенций (АСТДК);
- повысить полноту и локализирующую способность диагностических тестов и другие составляющие учебного процесса, формирующие и контролирующие компетенции.

Согласно применяемому интегро-дифференциальному критерию, интегральная оценка дисциплинарной компетенции $O(ДК)$, а впоследствии и всей компетенции, формируется как линейная свертка дифференциальных оценок входящих в ее состав элементов $O(Z_i)$, $O(Y_i)$, $O(B_i)$:

$$\begin{aligned}
 O(ДК) &= \alpha \cdot \sum_{i=1}^l \alpha_i \cdot O(Z_i) + \beta \cdot \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot O(Y_i) + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot O(B_i) = \\
 &= \alpha \cdot \sum_{i=1}^l \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^{r_i} \alpha_{ij} \cdot O(\Phi K_j^{Z_i}) + \beta \cdot \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot \sum_{j=1}^{s_i} \beta_{ij} \cdot O(\Phi K_j^{Y_i}) + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \sum_{j=1}^{t_i} \gamma_{ij} \cdot O(\Phi K_j^{B_i}),
 \end{aligned}$$

где α , β , γ – экспертные весовые коэффициенты соответствующих компонентов компетенций; α_i , β_i , γ_i – экспертные весовые коэффициенты соответствующих элементов компетенций; α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} – экспертные весовые коэффициенты определяющих дифференциальные оценки форм контроля ДК; r_i , s_i , t_i – количество форм контроля, участвующих в формировании дифференциальной оценки i -ого элемента компетенции. Весовые коэффициенты и шкалы оценок удовлетворяют предъявленным выше требованиям.

Интегро-дифференциальный критерий можно применять и для решения других задач, например, для оценки формы контроля с целью проверки адекватности уровня сложности и способов формирования соответствующих элементов компетенций. Это можно сделать, например, путем расчета усредненной оценки по группе студентов для конкретного средства контроля (теста, домашнего задания, лабораторной работы, курсового проекта и т.п.).

С использованием предложенного подхода к выбору адекватных (с точки зрения сложности реализации и корректности) средств контроля и оценке элементов дисциплинарных компетенций можно определить уровень освоения компетенций, что является одной из основных задач при переходе системы Высшего профессионального образования на Федеральные образовательные стандарты третьего поколения. Предложенные виды контроля можно использовать при организации обратной связи на различных этапах образовательного процесса. Студенту предоставляется возможность выявить и скорректировать показатели уровня освоения элементов ДК в рамках предлагаемых ему дополнительных образовательных возможностей с учетом ограниченности временных, педагогических и материально-технических ресурсов.

3.3. Обработка и дешифрация результатов контроля составляющих компонентной структуры компетенций

Оценка результатов обучения выполняет контролируемую роль для преподавателя, кафедры и вуза как ответственных за обучение и вспомогательную роль для студента, поскольку помогает ему самостоятельно оценить уровень освоения элемента, определить необходимость его коррекции, выбрать виды аудиторной и самостоятельной работы для дополнительной подготовки. Однако если вопросы формирования компетенций и их составляющих достаточно эффективно решаются традиционными, современными и перспективными образовательными технологиями, то проблема контроля результатов обучения, представленных в

компетентностном формате, является достаточно новой, малоизученной и поэтому актуальной.

Средства контроля решают важную задачу определения адекватной оценки уровня освоения проблематики конкретной дисциплины (дисциплинарных компетенций и их составляющих), которая будет складываться с другими оценками при вынесении общего решения о результатах обучения студента. Для формирования оценки каждого уровня (элементов, компонентов, дисциплинарных компетенций, компетенций) в работе [69] предлагается использование аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки (АИДКО). При этом важной является проблема дешифрации результатов проверки, поскольку от точности определения и адекватности их применения зависит правильность (валидность) оценок всех уровней.

3.3.1. Классификация способов дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования

Классификация способов дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих проводится по следующим критериям [64]: способы декомпозиции (теста либо результатов тестирования), размерность шкалы оценивания результатов тестирования, а также вид шкалы оценивания (рисунок 3.3.1).

По способу декомпозиции можно выделить варианты предварительной декомпозиции сложного теста и результатов тестирования; логической декомпозиции результатов тестирования и дешифрации без декомпозиции теста и результатов тестирования [65].

Предварительная физическая декомпозиция сложного теста T_j , контролирующего несколько ЭДК, проводится его разделение на *простые* тесты T_j^i , контролирующие только один ЭДК (i – индекс ЭДК, контролируемого данным простым тестом). После декомпозиции проводится их реализация и получении совокупности непосредственных результатов проверки всех контролируемых тестом T_j элементов, в частности элемента \mathcal{E}_i ($r_{ij} = R_j^i$).

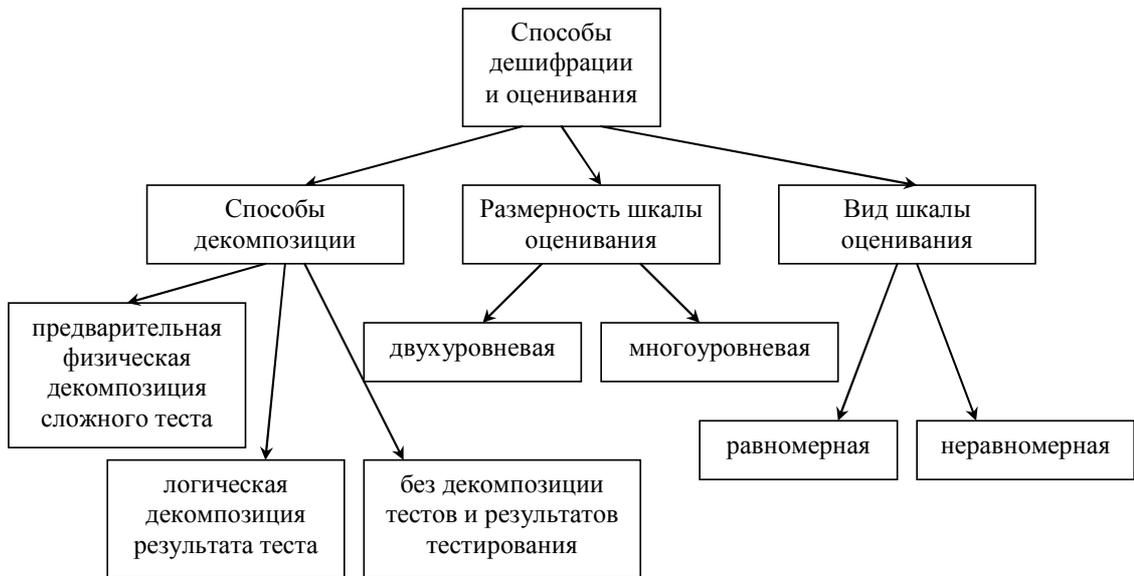


Рисунок 3.3.1 – Классификация способов дешифрации и оценивания результатов теста

Данный способ упрощает процедуру дешифрации за счет непосредственного определения r_{ij} , но увеличивает размерность средств контроля (тестовых заданий). Он наиболее эффективно применим для проверки знаний, которые контролируются, как правило, «классическими» тестами в виде перечня тестовых вопросов или тестовых заданий (задач). При этом можно использовать два варианта разбиения множества вопросов полного (сложного) теста на простые: разбиение на непересекающиеся подмножества и разбиение на пересекающиеся подмножества. Первый вариант позволяет получить более точный результат, но второй может быть более адекватен ситуации, когда один вопрос затрагивает более одного ЭДК. С точки зрения алгоритма определения индивидуальных реакций каждого из контролируемых конкретным тестом ЭДК выбор способа разбиения принципиального значения не имеет.

Логическая декомпозиция результата теста R_j на элементарные результаты r_{ij} по каждому из контролируемых тестом элементов. После реализации проверки анализируется результат R_j теста T_j . Далее проводится логическая декомпозиция результата теста R_j на элементарные результаты r_{ij} по каждому из контролируемых тестом элементов, в том числе и для \mathcal{E}_i (например, полное множество тестовых заданий разбивается на подмножества, относящиеся к проверке каждого контролируемого элемента, причем подмножества могут пересекаться).

Затем проводится отдельный расчет результата r_{ij} и, при необходимости, нормализация его в интервале $[0, 1]$.

Данный подход не увеличивает размерность средств контроля (тестовых заданий), но усложняет процедуру дешифрации результатов, так как требует реализации дополнительной процедуры декомпозиции результатов для некоторых видов тестов (например, защита лабораторной работы, курсового проекта и т.д.).

Указанный подход эффективно использовать, если реализуются функциональные (видовые) тесты, применяемые, как правило, для контроля умений и владений (например, защита лабораторной работы, отчетов по практике и т.д.), когда сложно или невозможно разбить сложный тест на элементарные составляющие (тесты). В этом случае для определения уровня результата проверки тестом каждого контролируемого ЭДК может быть сформирована только экспертная оценка преподавателя, которая имеет достаточно большую субъективную погрешность. Для упрощения и формализации указанной процедуры реакция каждого ЭДК на сложный тест может быть связана с определенным этапом или результатом проверки (например, для теста в виде защиты лабораторной работы – теория, умение работать с лабораторной установкой, владение инструментарием (средой моделирования), адекватность представленных результатов, качество оформления и т.д.).

При применении способа дешифрации *без декомпозиции* считается, что результат теста отождествляется с уровнем освоения всех контролируемых ЭДК. Очевидно, что это – самый простой, но в то же время наименее точный способ дешифрации.

По размерности шкалы оценивания результатов диагностирования можно выделить двухуровневые и многоуровневые шкалы.

Двухуровневая шкала предоставляет информацию в бинарном формате на уровне «сдал»/«не сдал» и может быть использована для допуска к определенным видам занятий, промежуточной аттестации, этапам самоконтроля студентами своих знаний и т.п. *Многоуровневые шкалы* позволяют с большей точностью детализировать результат оценивания, а также использовать его для определения оценки более высокого уровня.

Приведем примеры применяемых шкал [26, 119]:

- 2 уровня (зачет, незачет);
- 3 уровня (низкий (пороговый), средний, высокий (продвинутый));
- 4 уровня (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично);
- 7 уровней (ECTS, Европейская система перевода кредитов);
- 10 уровней (некоторые вузы России и постсоветского пространства);
- 13 уровней (США) и т.д.

По виду шкалы оценивания выделим равномерные и неравномерные шкалы.

В *равномерной* шкале оценивания весь диапазон возможных значений результатов теста разбивается на одинаковые интервалы, например, для четырехбальной шкалы и диапазона значений результата теста $[0; 1]$: $\{[0; 0,25) - \text{«неудовлетворительно»}; [0,25; 0,5) - \text{«удовлетворительно»}; [0,5; 0,75) - \text{«хорошо»}; [0,75; 1] - \text{«отлично»}\}$. Ширина каждого интервала равна константе 0,25.

Для *неравномерной* шкалы оценивания интервалы разных оценок могут иметь разные значения, например, $\{[0; 0,4) - \text{«неудовлетворительно»}; [0,4; 0,65) - \text{«удовлетворительно»}; [0,65; 0,85) - \text{«хорошо»}; [0,85; 1] - \text{«отлично»}\}$. Выбор вида шкалы оценивания может осуществляться по различным критериям, например, предпочтения педагога, рекомендации и традиции вуза, специфика учебной дисциплины, требования работодателя и т.п.

3.3.2. Формализованное представление результатов тестового диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих

Одной из нерешенных задач оценки качества и результативности подготовки является количественная оценка результата диагностирования уровня освоения элемента дисциплинарной компетенции. Для ее решения было предложено применение аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки (АИДКО), линейный формат которого требует анализа влияния каждой дифференциальной оценки (результата реализации конкретного теста) на интегральную оценку (уровень освоения ЭДК) [69]. При этом возникает задача получения, обработки и дешифрации (интерпретации) результатов тестового диагностирования при реализации различных видов контроля в рамках учебного процесса. Подходы к реше-

нию поставленных задач в указанной формулировке предлагаются в настоящем разделе.

Формирование компетенции как результата обучения в соответствии с положениями ФГОС ВПО осуществляется в процессе изучения нескольких дисциплин (или разделов – практик, научно-исследовательской работы и т.д.) образовательной программы. Часть компетенции, которую формирует отдельная дисциплина (дисциплинарная компетенция) имеет компонентную структуру, состоящую из некоторого количества элементов «знать», «уметь», «владеть» (ЗУВ). Элементы дисциплинарной компетенции (ЭДК) являются атомарными объектами формирования и контроля в рамках дисциплины [57, 59].

Для освоения части компетенции преподавателем, отвечающим за реализацию дисциплины, разрабатывается комплект документов – учебно-методический комплекс дисциплины (УМКД). В его состав входят необходимые для эффективной организации учебного процесса методические документы, ориентированные и на преподавателя, и на студентов. Основным документом УМКД является рабочая программа дисциплины (РПД), которая задает основные свойства и характеристики дисциплины, в том числе:

- результаты освоения дисциплины, заданные в компетентностном формате (карты формируемых дисциплинарных компетенций с перечнем элементов ЗУВ);
- распределение трудоемкости дисциплины по видам аудиторной (АРС) и самостоятельной (СРС) работы студентов;
- закрепление способов формирования (видов АРС и СРС) за элементами ЗУВ;
- выбор средств контроля (тестов) для проверки уровня освоения ЗУВ.

Для применения АИДКО уровня освоения компетенций через их составляющие (элементы дисциплинарных компетенций) необходимо реализовать безусловные или условные процедуры тестового диагностирования. Полученные результаты реализации тестов необходимо сохранить, обработать, дешифровать и разместить в структуру, удобную для выполнения дальнейших вычислений. Фор-

мальное описание закрепления средств контроля за проверяемыми ЭДК предлагается в табличной (матричной) форме представления.

Результаты проверки совокупности элементов $\{\mathcal{E}_i\}$ ($i \in [1, h]$, где h – общее количество ЭДК) совокупностью тестов $\{T_j\}$ ($j \in [1, H]$, где H – общее количество тестов), обозначаемый как r_{ij} (реакция i -го объекта контроля \mathcal{E}_i на j -ый тест T_j), заносятся в *таблицу (матрицу) диагностирования*. Таблица диагностирования содержит: подмножество проверяемых ЭДК (\mathcal{E}_i), подмножество тестов элементов (T_j), оценки покрытия элемента тестами V_i (ПЭ) и покрытие тестом элементов W_j (ПТ), отражающими их вес (количество непустых ячеек), результат каждого теста элемента R_j (РТ), результаты $O(\mathcal{E}_i)$ и оценки уровня освоения $\check{O}(\mathcal{E}_i)$ каждого ЭДК. С учетом введенных обозначений ниже приведен общий вид таблицы диагностирования ЭДК (таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.1 – Таблица диагностирования ЭДК

	T_1	T_2	...	T_j	...	T_H	O	ПЭ
\mathcal{E}_1	r_{11}/\check{r}_{11}	r_{12}/\check{r}_{12}$	...	...	...		O(\mathcal{E}_1)/\check{O}(\mathcal{E}_1)$	V_1
\mathcal{E}_2			...		...	r_{2H}/\check{r}_{2H}	$O(\mathcal{E}_2)/\check{O}(\mathcal{E}_2)$	V_2
...
\mathcal{E}_i		r_{i2}/\check{r}_{i2}	...	r_{ij}/\check{r}_{ij}	...		$O(\mathcal{E}_i)/\check{O}(\mathcal{E}_i)$	V_i
...
\mathcal{E}_h			...		...	r_{hH}/\check{r}_{hH}	$O(\mathcal{E}_h)/\check{O}(\mathcal{E}_h)$	V_h
РТ	R_1	R_2	...	R_j	...	R_H		
ПТ	W_1	W_2	...	W_j	...	W_H		

Примечание. Незаполненная ячейка r_{ij} показывает, что тест T_j не участвует в контроле элемента \mathcal{E}_i (или его участие незначительно и потому игнорируется).

Результат тестирования ЭДК r_{ij} предлагается считать величиной, нормализованной (или принудительно нормализуемой) в интервале $[0, 1]$. Это допустимо, поскольку результат тестирования может быть либо *непрерывной* величиной, нормированной к указанному диапазону, либо *дискретной* величиной (например, процент правильно выполненных заданий, доля «правильности» выполненного задания и т.п.). Единая шкала результатов позволит рассматривать оцен-

ки в одинаковом масштабе, что упростит расчеты и анализ результатов на всех уровнях (элементов и компонентов дисциплинарных компетенций, дисциплинарных компетенций, компетенций и т.д.).

Оценка \check{r}_{ij} является квантованной (дискретизированной по уровню) величиной, полученной путем округления результата проверки элемента \mathcal{E}_i тестом T_j r_{ij} до ближайшего уровня выбранной шкалы по принятому алгоритму округления (квантования).

Результат тестирования и оценка могут использоваться для разных целей. Непрерывный вид представления результата необходим для обеспечения точности последующих вычислений (уровня освоения элементов, компонентов, частей и самих компетенций). Также он уменьшает вероятность и, как следствие, негативные последствия явления компенсации. Дискретная форма оценки, привязанная к шкале, необходима для проведения организационных мероприятий, например, в виде аттестаций (промежуточных, рубежных и итоговых), допуска к некоторым видам аудиторной работы (например, к лабораторным работам), самоконтроля студентами и т.д.

3.3.3. Разработка алгоритма реализации тестового диагностирования уровня освоения ЭДК

Алгоритм реализации тестового диагностирования уровня освоения формируемых дисциплиной ЭДК может быть представлен следующими этапами [65].

1. Ведущим преподавателем задана компонентная структура частей компетенций, формируемых в дисциплине (ЗУВ – ЭДК).
2. Выбраны (с учетом опыта преподавателя, специфики дисциплины и т.п.) эффективные способы формирования (виды АРС и СРС) и средства контроля (тесты) уровня освоения заявленных ЭДК.
3. Выполнено закрепление ЭДК и средств контроля, т.е. сформирован общий (исходный) вид таблицы диагностирования [60].
4. Выбраны и реализованы безусловные и/или условные алгоритмы диагностирования [74]; получены, нормализованы и занесены в таблицу диагностирования результаты тестов T_j (R_j).

5. Проведена дешифрация результатов тестов R_j для определения реакции каждого ЭДК на совокупность контролирующих их тестов (r_{ij}/\check{r}_{ij}), которые занесены в таблицу диагностирования [65].

6. Для каждого ЭДК \mathcal{E}_i (если он проверяется несколькими тестами) с учетом дешифрованных результатов тестов r_{ij}/\check{r}_{ij} ($j \in [1, H]$), а также соответствующих весовых коэффициентов, сформирован и определен АИДКО уровня его освоения. Если ЭДК \mathcal{E}_i контролируется одним тестом T_j , то дешифрованный (если тест контролирует несколько ЭДК) результат теста r_{ij}/\check{r}_{ij} и есть результат уровня освоения ЭДК.

7. Для каждой из формируемых дисциплиной ДК построен и определен АИДКО уровня ее освоения [69].

8. При недостаточном уровне освоения ЭДК или ДК анализируются причины, выбираются фрагменты учебного материала, который необходимо дополнительно (повторно) изучить, формируется список корректирующих мероприятий и повторных проверок. Затем повторяются этапы 4-7 предлагаемого общего подхода.

В итоге реализации тестов определяются (и при необходимости нормализуются в заданном диапазоне) их результаты. После чего необходимо провести дешифрацию результатов реализации R_j каждого теста T_j для определения значений реакций r_{ij} контролируемых им ЭДК \mathcal{E}_i ($i \in [1, h_j]$, где h_j – количество ЭДК, контролируемых тестом T_j).

3.3.4. Разработка и анализ способов дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения ЭДК

Ниже предлагаются способы решения задачи дешифрации (этап 5 общего подхода) [65].

Способ 1. *Физическая декомпозиция сложного теста T_j , контролирующего несколько ЭДК, на простые тесты T_j^i , контролирующие только один ЭДК (i – индекс ЭДК, контролируемого данным простым тестом).* После декомпозиции проводится их реализация и получении совокупности результатов проверки всех контролируемых тестом T_j элементов, в частности элемента \mathcal{E}_i ($r_{ij} = R_j^i$).

Данный способ упрощает процедуру дешифрации за счет непосредственного определения r_{ij} , но увеличивает размерность средств контроля (тестовых заданий). Он наиболее эффективно применим для проверки знаний, которые контролируются, как правило, «классическими» тестами в виде перечня тестовых вопросов или тестовых заданий (задач). При этом можно использовать два варианта разбиения множества вопросов полного (сложного) теста на простые: разбиение на непересекающиеся подмножества и разбиение на пересекающиеся подмножества. Первый вариант позволяет получить более точный результат, но второй может быть более адекватен ситуации, когда один вопрос затрагивает более одного ЭДК. С точки зрения алгоритма определения индивидуальных реакций каждого из контролируемых конкретным тестом ЭДК выбор способа разбиения принципиального значения не имеет.

Пример 1. Предположим, что тест T_1 контролирует три элемента Z_1, Z_2, Z_3 типа «знать» и состоит из $M_1 = 30$ вопросов. Путем анализа полное множество вопросов может быть разбито на три непересекающихся подмножества: $M_1^1 = 14$, $M_1^2 = 10$, $M_1^3 = 6$. Это процедура эквивалентна декомпозиции сложного теста T_1 на простые тесты T_1^1, T_1^2, T_1^3 , каждый из которых контролирует соответствующий элемент $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$.

После реализации всех тестов проводится вычисление результата тестирования соответствующего элемента r_{ij} , например, как отношение правильных ответов к общему числу вопросов в подмножестве. Таким образом, для элементов Z_1, Z_2, Z_3 , контролируемых тестами T_1^1, T_1^2, T_1^3 , формируются значения r_{11}, r_{21}, r_{31} . В результате их сравнения с уровнями выбранной шкалы формируются оценки $\check{r}_{11}, \check{r}_{21}, \check{r}_{31}$, по анализу которых делается вывод, освоен или не освоен данный элемент на тесте T_1 .

Способ 2. Логическая декомпозиция результата теста R_j на элементарные результаты r_{ij} по каждому из контролируемых тестом элементов. После реализации проверки анализируется результат R_j теста T_j . Далее проводится логическая декомпозиция результата теста R_j на элементарные результаты r_{ij} по каждому из контролируемых тестом элементов, в том числе и для \mathcal{E}_i (например, полное мно-

жество тестовых заданий разбивается на подмножества, относящиеся к проверке каждого контролируемого элемента, причем подмножества могут пересекаться). Затем проводится отдельный расчет результата r_{ij} и, при необходимости, нормализация его в интервале $[0, 1]$.

Данный подход не увеличивает размерность средств контроля (тестовых заданий), но усложняет процедуру дешифрации результатов, так как требует реализации дополнительной процедуры декомпозиции результатов для некоторых видов тестов (например, защита лабораторной работы, курсового проекта и т.д.).

Указанный подход эффективно использовать, если реализуются функциональные (видовые) тесты, применяемые, как правило, для контроля умений и владений (например, защита лабораторной работы, отчетов по практике и т.д.), когда сложно или невозможно разбить сложный тест на элементарные составляющие (тесты). В этом случае для определения уровня результата проверки тестом каждого контролируемого ЭДК может быть сформирована только экспертная оценка преподавателя, которая имеет достаточно большую субъективную погрешность. Для упрощения и формализации указанной процедуры реакция каждого ЭДК на сложный тест может быть связана с определенным этапом или результатом проверки (например, для теста в виде защиты лабораторной работы – теория, умение работать с лабораторной установкой, владение инструментарием (средой моделирования), адекватность представленных результатов, качество оформления и т.д.).

Пример 2. Предположим, что тест T_2 контролирует три элемента Y_1, Y_2, Y_3 типа «уметь» и представляет собой защиту лабораторной работы. Для представленного вида теста по высказанным выше соображениям удобна его декомпозиция на следующие составляющие, которые соотносятся с соответствующим ЭДК:

- умение работать с лабораторной установкой (инструментарием проектирования, средой моделирования) (Y_1);
- умение применить методику выполнения и получить результаты эксперимента (Y_2);
- умение выполнить обработку и представление результатов работы (Y_3).

Каждый простой тест (результат декомпозиции) характеризуется результатом r_{ij} , который рассчитывается или определяется экспертом (например, преподаватель, в соответствии с заданными критериями – дескрипторами), а затем оценивается по выбранной шкале. Таким образом формируются значения r_{11} , r_{21} , r_{31} . В результате их сравнения с уровнями выбранной шкалы формируются оценки \check{r}_{11} , \check{r}_{21} , \check{r}_{31} , по анализу которых делается промежуточный вывод, освоен или не освоен данный элемент на данном тесте. После реализации всех тестов и заполнения таблицы 3.3.1 в соответствии с интегро-дифференциальным критерием производится расчет оценок уровней освоения всех представленных ЭДК и делается либо положительный вывод, либо отрицательный вывод с детализацией неосвоенных элементов, перечнем корректирующих мероприятий и тестов, необходимых для повторной сдачи.

Предлагаемые подходы и алгоритмы позволяют формализовать процедуру корректной оценки результатов текущего, промежуточного и рубежного контроля уровня освоения ЭДК и являются необходимым компонентом при разработке методического, информационного и алгоритмического обеспечения автоматизированной информационной системы управления и контроля качества подготовки.

3.4. Анализ рисков ошибочного принятия решения при оценке результативности подготовки

В современных условиях становятся все более актуальными вопросы обеспечения качества образования. Строго говоря, указанные задачи всегда были важны, но часто оставались на уровне деклараций и формальностей, подразумевались как присутствующие «по умолчанию». Потребности экономики и производства, которые строятся на передовых достижениях науки, техники и технологий, обуславливают необходимость реальных конкретных действий по управлению и контролю качества обучения, как по всей образовательной программе, так и по отдельной дисциплине или разделу учебного плана. Одним из основных инструментов становится достаточное и валидное оценивание текущих, промежуточных и

итоговых результатов обучения с заданной точностью. Это позволяет решать собственные задачи всем участникам образовательного процесса:

– *студентам*: построить индивидуальную образовательную траекторию; выбрать недостаточно освоенные фрагменты тематического плана дисциплины; определить темы для углубленного изучения, ориентируясь на квалификационные требования конкретного потенциального работодателя; эффективно организовать самоконтроль; определить пути достижения заданных результатов и т.п.;

– *преподавателю*: управлять учебным процессом, не допуская серьезных сбоев в виде большого количества неуспевающих; выявлять фрагменты тематического плана, сложные для понимания, и усиливать их методическую проработку; вводить новые виды занятий и модернизировать существующие с целью повышения качества освоения заданных компонентов закрепленных за дисциплиной компетенций; оказывать адресную консультативную помощь студентам; проводить аттестационные и контрольные мероприятия и т.п.;

– *кафедре*: разработать и использовать методику представления результатов освоения образовательных программ в компетентностном формате, как предписано в федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования; модернизировать и актуализировать образовательные программы с учетом квалификационных требований работодателей и вектора развития соответствующего направления науки, техники и технологий; контролировать качество работы педагогов и т.п.;

– *вузу*: получать агрегированную и/или детализированную информацию по освоению образовательной программы; проводить корректирующие воздействия на учебный процесс (изменение учебных планов, расписания занятий, ведущих преподавателей и т.д.); организовывать партнерства с объединениями работодателей и т.п.;

– *работодателям*: полноценно участвовать в построении образовательных программ; формулировать состав требований к результатам образования (компонентную структуру компетенций); применять собственные площадки для организации практик, выполнения выпускной квалификационной работы, а также спе-

циалистов в качестве руководителей для оценивания работы студентов; быть уверенным, что результаты обучения в значительной мере совпадают с их квалификационным требованиям, что является гарантией максимально быстрой адаптации выпускника к выполнению профессиональных обязанностей на рабочем месте и т.п.

Технологии контроля и оценивания результатов обучения как определение уровня освоения заданного перечня *компетенций* не регламентируются федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования (ФГОС) и методической литературой, утвержденной или рекомендуемой Министерством образования и науки РФ, и отдаются для реализации в вузы. Поэтому разработка методов управления и контроля качества реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ, является актуальной, важной и нерешенной научной, методической и практической задачей.

После реализации в рамках учебной дисциплины (раздела) контролируемых мероприятий, получения, дешифрации и обработки итоговых данных проверки (диагностирования, тестирования) формируются оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате, в виде уровня освоения соответствующих ЗУВ. По завершении теоретического обучения, т.е. реализации учебного плана в виде дисциплин и разделов и проведении всех предусмотренных контролируемых и оценочных мероприятий получена полная совокупность детализированных оценок атомарных объектов контроля – ЗУВ по каждой дисциплине. Далее возникает актуальная задача определения оценок уровня освоения составляющих компетенций в соответствии с принятой уровневой моделью, например, в следующей последовательности: элементы компонентов дисциплинарных компетенций → компоненты дисциплинарных компетенций → дисциплинарные компетенции → компетенции. Отметим, что приведенная последовательность может быть сокращена путем уменьшения количества уровней и увеличения составляющих каждого уровня.

Наиболее простым и апробированным инструментом решения подобного типа задач является *метод сверток*, который предлагается представить в формате

аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания (АИДКО). Однако существенным недостатком указанного метода является возможность *компенсации* (парирования) одних оценок другими (например, высоких низкими и наоборот). При этом полученный итоговый результат (интегральная оценка), например, усредненная или средневзвешенная, не отражает действительное распределение составляющих (дифференциальных оценок), наличие «выбросов», и т.п.

Целью раздела является исследование проблемы анализа *рисков* неправильного принятия решения об оценке результатов обучения, представленных в компетентностном формате, которая возникает вследствие линейного формата аддитивного интегро-дифференциального критерия.

3.4.1. Применение некоторых положений математической статистики для определения условий компенсации

Из-за линейного формата АИДКО имеет место риск неправильного принятия решения – влияние неопределенности в ожидаемом результате [7]. Риск можно выразить в терминах комбинации «последствий» и связанных с ними вероятностей [7]. В данном случае последствием является возникновение явления *компенсации* значения (или для двоичной шкалы – знака) дифференциальной оценки значением (знаком) интегральной оценки. Это явление требует отдельного изучения, поскольку и при равнозначных, и при неравнозначных весовых коэффициентах в АИДКО (а на практике обычно встречаются оба варианта) оно приводит к необходимости анализа всех дифференциальных оценок и принятию решения о дополнительном диагностировании.

Для анализа явления компенсации результатов тестирования воспользуемся аппаратом *математической статистики*, адаптированным к рассматриваемой предметной области. В математической статистике одной из основных задач является проверка статистических гипотез. Наибольшее применение указанная задача получила в областях, где используется «бинарное» («двоичное») принятие решения (две гипотезы – H_0 и H_1) на основании выбранного критерия сравнения. При этом важным является оценить возможность (условия, вероятность) ошибочного принятия решения (неправильного выбора гипотезы). В зависимости от вы-

бора гипотез ошибки классифицируются как «ошибки первого рода» и «ошибки второго рода» [18]. Очевидно, что ошибки являются взаимно-симметричными, т.е. при смене нумерации гипотез меняются местами ошибки (таблица 3.4.1).

Таблица 3.4.1 – Иллюстрация принятия решения

		Верная гипотеза	
		H_0	H_1
Результат применения критерия	H_0	H_0 верно принята	H_0 неверно принята H_1 неверно отвергнута (ошибка второго рода)
	H_1	H_0 неверно отвергнута H_1 неверно принята (ошибка первого рода)	H_1 верно принята

На практике нулевой гипотезой H_0 считается «нормальное» («по умолчанию») состояние объекта, а H_1 – альтернативное состояние. В этом случае ошибка первого рода, называемая в технике «ложной тревогой», «ложным срабатыванием», «ложной браковкой» и т.п., возникает в случае принятия решения в пользу гипотезы H_1 при верной гипотезе H_0 . Ошибка второго рода, называемая в технике «пропуском события» и т.п., возникает в случае принятия решения в пользу гипотезы H_0 при верной гипотезе H_1 . Очевидно, что ошибки коррелированы между собой – уменьшение вероятности одной приводит к увеличению вероятности другой. В каждом конкретном случае определяется, какое событие (ошибка) важнее, и принимается компромиссное решение. Так, например, ошибка второго рода в большом количестве случаев более критична, поэтому ей уделяется повышенное внимание.

В рассматриваемой предметной области – определение уровня освоения элемента дисциплинарной компетенции, рассчитываемого с использованием интегро-дифференциального критерия, сформулируем гипотезы следующим образом. Пусть H_0 – ЭДК освоен, H_1 – ЭДК не освоен. При этом будем считать, что ошибки возникают в случаях, когда результаты конкретных тестов (дифференциальные оценки, представленные также в двоичной шкале «положитель-

ный/отрицательный») отличаются от принятого решения об освоении или не освоении ЭДК.

Будем считать, что ошибка первого рода возникает в случае, когда принимается решение о том, что ЭДК не освоен, а при этом один или несколько результатов тестов – положительные. Аналогично, будем считать, что ошибка второго рода возникает в случае, когда принимается решение о том, что ЭДК освоен, а при этом один или несколько результатов тестов – отрицательные. Указанные проблемы могут возникать на всех уровнях принятия решения – по компоненту ДК (при неосвоенных некоторых ЭДК), по ДК (при неосвоенных КДК и/или ЭДК), по компетенции – при неосвоенных ДК. При переходе от двухуровневой шкалы к многоуровневой последствия ошибок при принятии решения усиливаются.

3.4.2. Анализ возможности компенсации дифференциальных оценок интегральным результатом

Сформулируем условия, по которым принимается решение о возможности расчета уровня освоения элемента в зависимости от результатов проверяющих его тестов. При этом примем, что результаты тестирования оцениваются по двоичной шкале – результат теста «отрицательный» или «положительный». Пороговые значения для оценки результатов тестирования определяются, например, процентом правильно решенных тестовых заданий, либо суммой результатов выполнения тестовых заданий (с соблюдением условий нормирования – сумма результатов всех решенных заданий равна 1, а также равнозначности весов (показателей важности, значимости) тестов).

Примем, что уровень освоения ЭДК по результатам контролирующих его тестов также определяется по двоичной шкале – «ЭДК освоен» или «ЭДК не освоен». Пороговые значения для построения АИДКО и определения уровня освоения ЭДК могут быть сформулированы в соответствие с разными критериями, например:

– процент положительных (N^+) результатов из поданных N тестов ($N = N^+ + N^-$) превышает $N_{\text{порог}}$;

– значение уровня освоения ЭДК, построенное с использованием АИДКО (с учетом нормализованных в интервале $[0; 1]$ результатов тестов и значений их весовых коэффициентов), превышает заданное $O_{\text{порог}}$.

Можно расширить шкалу вводом дополнительных условий о возможности или невозможности расчета уровня освоения ЭДК по интегро-дифференциальному критерию. Например, можно ввести условие, что количество отрицательных N^- результатов тестирования из N тестов не превышает заданное пороговое значение $N_{\text{порог}}^-$; или количество положительных N^+ результатов тестирования из N тестов превышает заданное пороговое значение $N_{\text{порог}}^+$.

При этом возможны следующие способы принятия решения о возможности расчета уровня освоения ЭДК по результатам тестирования:

а) расчет уровня освоения ЭДК производится только в том случае, когда количество отрицательных результатов тестов не превышает заданное пороговое значение ($N^- < N_{\text{порог}}^-$, где $N_{\text{порог}}^- = 1/3, 1/4$ и т.п.; в предельном случае $N_{\text{порог}}^- = 0$, т.е. все N тестов должны дать положительные результаты: $N^- = 0; N^+ = N$);

б) расчет уровня освоения ЭДК производится в любом случае, даже при наличии произвольного количества отрицательных результатов тестов.

В дальнейшем ограничимся введенной выше двухуровневой шкалой и общим подходом к принятию решения о возможности расчета АИДКО (вариант б).

С учетом введенных подходов к оценке результатов тестирования и уровня освоения ЭДК сформулируем условия для определения компенсации:

– «жесткое»: компенсация имеет место при несовпадении значения хотя бы одной дифференциальной оценки со значением интегральной оценкой при выбранной шкале оценивания;

– «мягкое»: компенсация имеет место при превышении количества значений дифференциальных оценок, несовпадающих со значением интегральной оценки при выбранной шкале оценивания, заданного порогового значения.

Далее будем рассматривать условия возникновения компенсации при обоих вариантах ошибок (первого и второго рода).

Пример 1. Рассмотрим пример определения условий компенсации при расчете уровня освоения ЭДК $\mathcal{E}_1 (O_1)$, контролируемого пятью тестами с результатами $O_{11} \dots O_{15}$. Уровень освоения O_1 будем рассчитывать с использованием количественного критерия АИДКО с заданным пороговым значением $N_{\text{порог.}} = 3$: $N^+ \geq N_{\text{порог.}}$ – ЭДК освоен, $N^+ < N_{\text{порог.}}$ – ЭДК не освоен. Определим условия компенсации для «жесткого» условия принятия решения (количество несовпадающих со значением уровня освоения ЭДК результатов тестов $N_{\neq} = 0$ – компенсации нет, $N_{\neq} > 0$ – компенсация есть) при двоичной шкале оценивания и равнозначных весовых коэффициентах и сведем результаты расчетов в таблицу 3.4.2.

Таблица 3.4.2 – Иллюстрация к примеру 1

№	O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_{15}	N^+	O_1	N_{\neq}	Вывод
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Компенсации нет
2	0	0	<u>1</u>	0	0	1	<u>0</u>	1	Компенсация оценкой O_1 (0) результата O_{13} (1)
3	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	0	2	<u>0</u>	2	Компенсация оценкой O_1 (0) результатов O_{13} (1) и O_{14} (1)
4	<u>0</u>	1	1	1	<u>0</u>	3	<u>1</u>	2	Компенсация оценкой O_1 (1) результатов O_{11} (0) и O_{15} (0)
5	1	1	1	1	<u>0</u>	4	<u>1</u>	1	Компенсация оценкой O_1 (1) результата O_{15} (0)
6	1	1	1	1	1	5	1	0	Компенсации нет

Пример 2. Для начальных условий примера 1 определим условие компенсации для «мягкого» условия принятия решения (пороговое значение принятия решения о компенсации $N_{\text{порог.}}^* = 1$, т.е. если количество несовпадающих со значением уровня освоения ЭДК результатов тестов $N_{\neq} \leq 1$ – компенсации нет, $N_{\neq} > 1$ – компенсация есть) при двоичной шкале оценивания и равнозначных весовых коэффициентах и сведем результаты расчетов в таблицу 3.4.3.

Таблица 3.4.3 – Иллюстрация к примеру 2

№	O_1^1	O_1^2	O_1^3	O_1^4	O_1^5	N^+	O_1	N_{\neq}	Вывод
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Компенсации нет
2	0	0	1	0	0	1	0	1	Компенсации нет
3	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	0	2	<u>0</u>	2	Компенсация оценкой O_1 (0) результатов O_{13} (1) и O_{14} (1)
4	<u>0</u>	1	1	1	<u>0</u>	3	1	2	Компенсация оценкой O_1 (1) результатов O_{11} (0) и O_{15} (0)
5	1	1	1	1	0	4	1	1	Компенсации нет
6	1	1	1	1	1	5	1	0	Компенсации нет

В условие определения возникновения компенсации может быть включена разная значимость ошибок первого и второго рода. Например, если принято считать, что значимость ошибки второго рода (пропуск) значительно выше, чем первого рода («ложная тревога»), то не учитывать соответствующие варианты как компенсацию (например, варианты № 2 и № 3 таблицы 3.4.2 и вариант № 3 таблицы 3.4.3).

Условия возникновения компенсации определяются с учетом соответствующей нормативно-методической документации, а также спецификой дисциплины, опытом ее реализации и т.д. После формулирования условий по результатам всех тестов определяются их бинарные (двоичные) оценки, и далее строится интегро-дифференциальный критерий либо по всем результатам, либо только по положительным (в этом случае при двоичной шкале оценивания компенсации не будет). После этого определяется факт (например, по выполнению условия $O \geq O_{\text{порог.}}$) и уровень освоения элемента (по многоуровневой шкале). Сборка (свертка) каждого последующего уровня структуры компетенции (ее части, компоненты и элементы) реализуется только при условии освоения всех составляющих предшествующего уровня.

Для задания количественных параметров условия компенсации, например, порогового значения $N_{\text{порог.}}^k$, можно путем расчета или полного перебора опреде-

лить вероятностные показатели компенсации (процент несовпадающих критериев, вероятность возникновения компенсации и т.п.). Сравнив полученные значения с допустимыми, при необходимости можно скорректировать количественные параметры условий возникновения компенсации.

3.4.3. Формализованное определение рисков возникновения компенсации

Далее рассмотрим условия возникновения компенсации при «жестком» принятии решения. Назовем возникновение ошибки первого рода «отрицательной компенсацией», а ошибки второго рода – «положительной компенсацией». Физический смысл отрицательной компенсации – принято отрицательное решение (ЭДК не освоен) при некотором количестве положительных результатов тестов. Соответственно, физический смысл положительной компенсации – принято положительное решение (ЭДК освоен) при некотором количестве отрицательных результатов тестов.

Явление компенсации объясняется линейным форматом интегро-дифференциального критерия [56], поскольку для мультипликативного формата критерия при бинарной системе принятия решения указанная проблема не актуальна. Действительно, в мультипликативном критерии при положительных дифференциальных оценках и интегральная оценка положительная, а если имеет место хотя бы одна отрицательная дифференциальная оценка, то и интегральная будет отрицательной. Но поскольку построение мультипликативного критерия более сложное (например, с точки зрения единства размерности шкал для интегральных и дифференциальных оценок, алгоритмов вычисления весовых коэффициентов, соответствия уровневой модели структуры компетенции и т.д.), на практике чаще применяются линейные критерии. При этом возникают частные задачи:

1. Дать определение компенсации для данного конкретного случая.
2. Проанализировать негативные последствия компенсации.
3. Сформулировать условия возникновения компенсации.
4. Разработать алгоритмы парирования компенсации.

Рассмотрим подходы к решению указанных частных задач для двоичной шкалы принятия решения (результат положительный/отрицательный) и без учета возможной различной значимости ошибок первого второго рода.

1. Как было сказано выше, компенсация может быть представлена как аналог проявления статистических ошибок первого и второго рода. Компенсация возникает при несовпадении знака (при двоичном критерии) анализируемой дифференциальной и интегральной оценок, т.е. интегральная оценка «маскирует», «компенсирует» дифференциальную.

Для двоичной шкалы вводится пороговое значение ($O_{\text{порог.}}$) и условия принятия решения относительно оценки O через разность $\Delta O = O - O_{\text{порог.}}$:

$$O < O_{\text{порог.}}; O - O_{\text{порог.}} < 0; \Delta O < 0 - \text{отрицательный результат,} \quad (3.4.1)$$

$$O \geq O_{\text{порог.}}; O - O_{\text{порог.}} \geq 0; \Delta O \geq 0 - \text{положительный результат.} \quad (3.4.2)$$

Рассмотрим определение компенсации через АИДКО ЭДК \mathcal{E}_i (оценка уровня освоения O_i) и оценки контролирующих его тестов O_{ij} , где j – индекс контролирующего \mathcal{E}_i теста T_j , $j \in [1; H]$, где H – количество тестов, которые контролируют \mathcal{E}_i .

Определение 1. Назовем «отрицательной компенсацией» (ошибка первого рода) событие, описываемое следующим условием: $\Delta O_i < 0$, и $\exists \Delta O_{ij} \geq 0$, $j \in [1; H]$, $\Delta O_i = O_i - O_{\text{порог.}}$; $\Delta O_{ij} = O_{ij} - O_{\text{порог.}}$.

Определение 2. Назовем «положительной компенсацией» (ошибка второго рода) событие, описываемое следующим условием: $\Delta O_i \geq 0$, и $\exists \Delta O_{ij} < 0$, $j \in [1; H]$, $\Delta O_i = O_i - O_{\text{порог.}}$; $\Delta O_{ij} = O_{ij} - O_{\text{порог.}}$.

Из определения 1 можно сделать вывод, что отрицательная компенсация имеет место в случае принятия решения о том, что ЭДК не освоен, при наличии как минимум одного положительного результата среди контролирующих его тестов.

Из определения 2 можно сделать вывод, что положительная компенсация имеет место в случае принятия решения о том, что ЭДК освоен, при наличии как минимум одного отрицательного результата среди контролирующих его тестов.

2. Негативное следствие компенсации заключается в том, что знаки интегральной оценке и одной или нескольких дифференциальных оценок не совпадают. Это приводит к необходимости анализа всех дифференциальных оценок и реализации условных алгоритмов тестового диагностирования для повышения точности оценки. Очевидно, что при переходе от двоичной шкалы к более сложным шкалам (троичным, четверичным и т.д.) определение, следствие и условия возникновения компенсации значительно усложняются, поэтому указанные вопросы – тема отдельного исследования.

3. Дадим общие формулировки условий компенсации интегральной оценки дифференциальных в составе аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки:

$$O_i = \lambda_{i1} \cdot O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot O_{iH}. \quad (3.4.3)$$

Вычтем из левой и правой частей выражения $O_{\text{порог}}$:

$$O_i - O_{\text{порог.}} = \lambda_{i1} \cdot O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot O_{iH} - O_{\text{порог.}}$$

С учетом выполнения условий нормирования весовых коэффициентов (их сумма равна 1) можно записать:

$$\begin{aligned} O_i - O_{\text{порог.}} &= \lambda_{i1} \cdot O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot O_{iH} - 1 \cdot O_{\text{порог.}} = \\ &= \lambda_{i1} \cdot O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot O_{iH} - (\lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \dots + \lambda_{ij} + \dots + \lambda_{iH}) \cdot O_{\text{порог.}} \end{aligned}$$

Представим полученное выражение в следующем виде:

$$\begin{aligned} O_i - O_{\text{порог.}} &= \lambda_{i1} \cdot (O_{i1} - O_{\text{порог.}}) + \lambda_{i2} \cdot (O_{i2} - O_{\text{порог.}}) + \dots + \lambda_{ij} \cdot (O_{ij} - O_{\text{порог.}}) + \dots + \\ &+ \lambda_{iH} \cdot (O_{iH} - O_{\text{порог.}}). \end{aligned}$$

Запишем разностное уравнение:

$$\Delta O_i = \lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH}. \quad (3.4.4)$$

Определим условие единичной отрицательной компенсации интегральной оценкой (оценкой уровня освоения элемента дисциплинарной компетенции) O_i дифференциальной оценки O_{ij} (оценки за тест T_j):

$$\Delta O_{ij} \geq 0, \Delta O_i < 0;$$

$$\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH} < 0;$$

$$\lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} < - [\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH}];$$

$$\Delta O_{ij} < - [\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH}] / \lambda_{ij}.$$

Определим условие единичной положительной компенсации интегральной оценкой (оценкой уровня освоения элемента дисциплинарной компетенции) O_i дифференциальной оценки O_{ij} (оценки за тест T_j):

$$\Delta O_{ij} < 0, \Delta O_i \geq 0;$$

$$\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH} \geq 0;$$

$$\lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} \geq - [\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH}];$$

$$\Delta O_{ij} \geq - [\lambda_{i1} \cdot \Delta O_{i1} + \lambda_{i2} \cdot \Delta O_{i2} + \dots + \lambda_{iH} \cdot \Delta O_{iH}] / \lambda_{ij}.$$

Условия компенсации могут быть конкретизированы в зависимости от необходимости и принятых правил (требований). Например, если весовой коэффициент результата достаточно мал (например, меньше 0,05 и т.п.), то можно считать данный критерий несущественным для дальнейшего анализа условий возникновения компенсации. Или можно анализировать на выполнение условий компенсации только результат с максимальным весовым коэффициентом (или несколько с наибольшими), т.д. Эти ограничения уменьшат сложность реализации и увеличат сходимость алгоритма анализа, снижая точность вычислений не более заданного показателя.

4. Проверка компенсации производится после реализации всех проверяющих тестов, дешифрации результатов проверок и заполнения таблицы диагностирования. Каждая дифференциальная оценка проверяется на соответствие знака с интегральной на предмет выполнения условий компенсации: $\text{sign}(\Delta O_{ij}) \neq \text{sign}(\Delta O_i)$. Далее в зависимости от соотношения знаков принимается решение о присутствии отрицательной или положительной компенсации. После этого в соответствии с принятым алгоритмом определяется необходимость коррекции результата (передача данного теста – при положительной компенсации, или передача других тестов – при отрицательной компенсации). В рамках данного алгоритма могут быть введены ограничения анализа компенсации (из соображений, приведенных выше):

а) При определенных соотношениях значений весовых коэффициентов (например, рассматривать условия компенсации только для оценки с максимальным

весовым коэффициентом, или для оценок, весовые коэффициенты которых превышают заданное пороговое значение, и т.п.).

б) При значимых отличиях абсолютных значений $|\Delta O_{ij}|$ и $|\Delta O_i|$, например, более чем на 10 % и т.п.

в) При определенном количестве несовпадающих с интегральной оценкой дифференциальных оценок (в случае равнозначных или мало различающихся критериев), например, более чем 30 % и т.п.

Анализ условий компенсации является основанием для реализации условных процедур диагностирования, позволяющий детализировать недостаточно освоенный элемент дисциплинарной компетенции.

3.4.4. Определение и анализ рисков возникновения компенсации для недвоичных шкал оценивания

Для дискретной оценки результатов тестирования вводится M -уровневая шкала: $\{L_0, L_1, \dots, L_k, \dots, L_{M-1}\}$. Очевидно, что названия уровней могут быть произвольными (например, «хорошо», «4», «высокий уровень» и т.д.).

Для каждого уровня шкалы L_k вводятся условия попадания в заданный интервал $\{R_{\min}^k \dots R_{\max}^k\}$, $k \in [0, M-1]$ (крайние значения могут включаться или исключаться из интервала, в зависимости от установленных правил). В связи с заданным нормализованным диапазоном возможных значений результатов тестирования $R_{\min}^0 = 0$, $R_{\max}^{M-1} = 1$.

Оценка результата проверки элемента \mathcal{E}_i тестом T_j \check{O}_{ij} осуществляется путем сравнения соответствующего результата O_{ij} с интервалами $\{R_{\min}^k \dots R_{\max}^k\}$ и выбора подходящего L_k (процедура дискретизации по уровню – квантование). Аналогично может быть оценен результат освоения O_i элемента дисциплинарной компетенции \mathcal{E}_i , рассчитанный в формате интегро-дифференциального критерия, как оценка \check{O}_i .

В соответствии с данными выше определениями, явление компенсации возникает при несовпадении дифференциальных (одной или нескольких) и интегральной оценок:

– отрицательная компенсация: $\check{O}_{ij} = L_\mu$; $\check{O}_i = L_\nu$; $\mu > \nu$; $\mu, \nu \in [0, M-1]$;

– положительная компенсация: $\check{O}_{ij} = L_{\mu}$; $\check{O}_i = L_{\nu}$; $\mu < \nu$; $\mu, \nu \in [0, M-1]$.

Введем понятие различимости оценок: $\Delta\check{O}_{ij} = (\nu - \mu)$. Тогда условия компенсации можно представить в виде:

– отрицательная компенсация: $\Delta\check{O}_{ij} < 0$;

– положительная компенсация: $\Delta\check{O}_{ij} > 0$.

Абсолютное значение различимости показывает степень (глубину, размер) компенсации. Диапазон возможных значений: $0 \leq |\Delta\check{O}_{ij}| \leq (M - 1)$. Явление компенсации отсутствует, если $|\Delta\check{O}_{ij}| = 0$ (оценки равны). Компенсация максимальна, когда $|\Delta\check{O}_{ij}| = (M - 1)$ (оценки соответствуют крайним уровням шкалы). Степень компенсации может быть выражена в процентах: $|\Delta\check{O}_{ij}|_{\%} = |\Delta\check{O}_{ij}| / (M - 1) \cdot 100 \%$.

Условия для возникновения компенсации возникают тогда, когда результаты O_{ij} и O_i попадают в разные интервалы $\{R_{\min}^k \dots R_{\max}^k\}$. Если ввести в рассмотрение величину «размер интервала» $\Delta R^k = R_{\max}^k - R_{\min}^k$, то условие компенсации можно записать так:

$$|O_i - O_{ij}| > \min\{\Delta R^k\}, k \in [0, M-1]. \quad (3.4.5)$$

Примечание. \min – минимальное значение, поскольку интервалы ΔR^k могут отличаться друг от друга.

Предлагается следующий алгоритм расчета.

1. Определение результатов тестирования O_{ij} для каждого элемента дисциплинарной компетенции \check{E}_i .

2. Формирование и расчет согласно ИДК интегрального результата освоения элемента дисциплинарной компетенции O_i .

3. Приведение всех результатов к оценкам \check{O}_{ij} (\check{O}_i) путем сравнения их с интервалами шкалы $\{R_{\min}^k \dots R_{\max}^k\}$, $k \in [0, M-1]$ (квантование).

4. Проверка условий компенсации.

5. Выбор из списка компенсированных оценок тех, которые нуждаются в коррекции, с учетом ограничений, приведенных выше:

- проверка оценки (оценок), которая наиболее отличается от интегральной;
- проверка оценки (оценок) с максимальным весовым коэффициентом;
- проверка оценки (оценок) с наихудшим результатом;

– проверка оценки (оценок) с наименее ресурсоемкой реализацией корректирующих мероприятий и повторного контроля и т.п.

Явление компенсации гарантировано отсутствует, когда все результаты одинаковые (или близки, т.е. находятся в одном диапазоне ΔR^k) при равных весовых коэффициентах. Во всех остальных случаях (при различающихся оценках и весовых коэффициентах) необходимо проверять наличие выполнения условий компенсации аналитическим моделированием (расчетом).

Важным также является то, что при выборе компенсируемой оценки и ее коррекции возможно изменение интегральной оценки. Это приводит к повторному пересмотру условий компенсации для всех оценок. Поэтому нужно выбирать такие оценки, которые не приведут к изменению интегральной оценки.

Пусть интегральный результат принадлежит диапазону $\{R_{\min}^v \dots R_{\max}^v\}$: $\check{O}_i = L_v$. Тогда определим условие перехода к следующему $(v+1)$ уровню шкалы, приводящее к повторному пересмотру условий компенсации для всех оценок:

$$\Delta O_{i \min} = R_{\min}^{v+1} - O_i. \quad (3.4.6)$$

Зная влияние изменения дифференциального результата на интегральный результат: $\Delta O_i = \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij}$, можно определить минимальное значение изменения дифференциального результата, чтобы интегральный результат перешел в следующий диапазон:

$$\Delta O_{ij \min} = \Delta O_{i \min} / \lambda_{ij}. \quad (3.4.7)$$

Вычислив $\Delta O_{ij \min}$, можно определить, отразится ли коррекция дифференциального результата O_{ij} на изменение интегрального результата O_i .

Пример 3. Пусть элемент \mathcal{E}_1 контролируется четырьмя равнозначными ($\lambda_{1j} = \text{const} = 1/4 = 0,25, j \in [1,4]$) тестами, и результат его освоения определяется через ИДК так:

$$O_1 = 0,25 \cdot O_{11} + 0,25 \cdot O_{12} + 0,25 \cdot O_{13} + 0,25 \cdot O_{14}.$$

Имеем четырехуровневую ($M = 4$) шкалу $\{L_0, L_1, L_2, L_3\}$ и следующее распределение интервалов (примем, что R_{\max}^k для всех k , кроме $k = M - 1 = 3$, исключаются из диапазона L_k и включаются в диапазон L_{k+1}) с шагом квантования 0,25:

L_k	R^k_{\min}	R^k_{\max}
L_0	0	0,25
L_1	0,25	0,5
L_2	0,5	0,75
L_3	0,75	1

Предположим, что проведено тестирование, дешифрация и обработка результатов, при этом дифференциальные и интегральный результаты и соответствующие им оценки следующие:

O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_1
0,2	0,4	0,6	0,8	0,5
L_0	L_1	L_2	L_3	L_2

Для оценок O_{11} ($L_0 < L_2$) и O_{12} ($L_1 < L_2$) выполняются условия положительной компенсации, а для оценки O_{14} ($L_3 > L_2$) – условие отрицательной компенсации.

Определим условия, при которых интегральный результат перейдет в следующий больший диапазон (от уровня L_2 к уровню L_3) согласно (3.4.6): $\Delta O_1_{\min} = 0,75 - 0,5 = 0,25$. Тогда согласно (3.4.7) определим требования к изменению дифференциальных оценок при переходе каждой из них к следующему большему уровню (улучшение оценки):

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^1_{\min} - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,25 - 0,2) = 0,0125 < 0,25 (\Delta O_1_{\min});$$

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^1_{\max} - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,5 - 0,2) = 0,075 < 0,25 (\Delta O_1_{\min}) \Rightarrow$$

\Rightarrow при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_1 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^2_{\min} - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,5 - 0,2) = 0,075 < 0,25 (\Delta O_1_{\min});$$

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^2_{\max} - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,75 - 0,2) = 0,1375 < 0,25 (\Delta O_1_{\min}) \Rightarrow$$

\Rightarrow при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_2 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^3_{\min} - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,75 - 0,2) = 0,1375 < 0,25 (\Delta O_1_{\min});$$

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R^3_{\max} - O_{11}) = 0,25 \cdot (1 - 0,2) = 0,2 < 0,25 (\Delta O_1_{\min}) \Rightarrow$$

\Rightarrow при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_3 условия компенсации для остальных оценок не изменятся.

Вывод: любая коррекция результата O_{11} не приведет к изменению интегральной оценки и, соответственно, к изменению условий компенсации для дифференциальных оценок. Аналогично проверяются другие оценки, например, O_{12} .

Пример 4. Пусть для условий примера 3 получены следующие результаты:

O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_1
0,2	0,45	0,7	0,9	0,5625
L_0	L_1	L_2	L_3	L_2

Определим условия, при которых интегральный результат перейдет в следующий диапазон (от уровня L_2 к уровню L_3) согласно (4.2): $\Delta O_{1 \min} = 0,75 - 0,5625 = 0,1875$. Тогда согласно (4.3) определим требования к изменению дифференциальных оценок при переходе к следующему уровню (используя результаты предыдущего примера, сразу последний вариант):

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R_{\min}^3 - O_{11}) = 0,25 \cdot (0,75 - 0,2) = 0,1375 < 0,1875 (\Delta O_{1 \min});$$

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = \lambda_{11} \cdot (R_{\max}^3 - O_{11}) = 0,25 \cdot (1 - 0,2) = 0,2 > 0,1875 (\Delta O_{1 \min}) \Rightarrow$$

\Rightarrow при переходе оценки O_{11} от уровня L_0 к уровню L_3 условия компенсации остальных оценок могут измениться. Определим значение оценки O_{11}^* после коррекции:

$$\lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} \geq \Delta O_{1 \min} \Rightarrow \Delta O_{11} \geq \Delta O_{1 \min} / \lambda_{11}; \Delta O_{11} \geq 0,1875 / 0,25; \Delta O_{11} \geq 0,75.$$

$$\Delta O_{11} = O_{11}^* - O_{11}; O_{11}^* - O_{11} \geq 0,75 \Rightarrow O_{11}^* \geq 0,75 + 0,2; O_{11}^* \geq 0,95.$$

Вывод: если после коррекции результат O_{11} будет больше или равен 0,95, то интегральная оценка изменится (увеличится к следующему уровню), и придется пересматривать повторно условия компенсации для всех дифференциальных оценок. Процедура анализа условий возникновения положительной и отрицательной компенсации аналогичны.

3.4.5. Оценка вероятности рисков возникновения компенсации

Для оценки возможности возникновения компенсации введем понятие *вероятности компенсации* как отношение количества вариантов несовпадения значе-

ния интегральной и дифференциальной оценок (M_K) к общему количеству вариантов оценок (M):

$$P_K = M_K / M. \quad (3.4.8)$$

Общее количество вариантов M для шкалы оценивания с количеством уровней L и количеством дифференциальных оценок в составе ИДК N определяется как $M = N^L$. Количество вариантов компенсации определяется аналитическим моделированием методом полного перебора.

На рисунке 3.4.1 приведен график, характеризующий зависимость вероятности компенсации P_K от количества дифференциальных оценок N при условии $L = \text{const}$ и равных весовых коэффициентах ИДК. По графику можно сделать вывод о монотонно возрастающем значении вероятности компенсации и ее незначительной зависимости от количества уровней квантования.

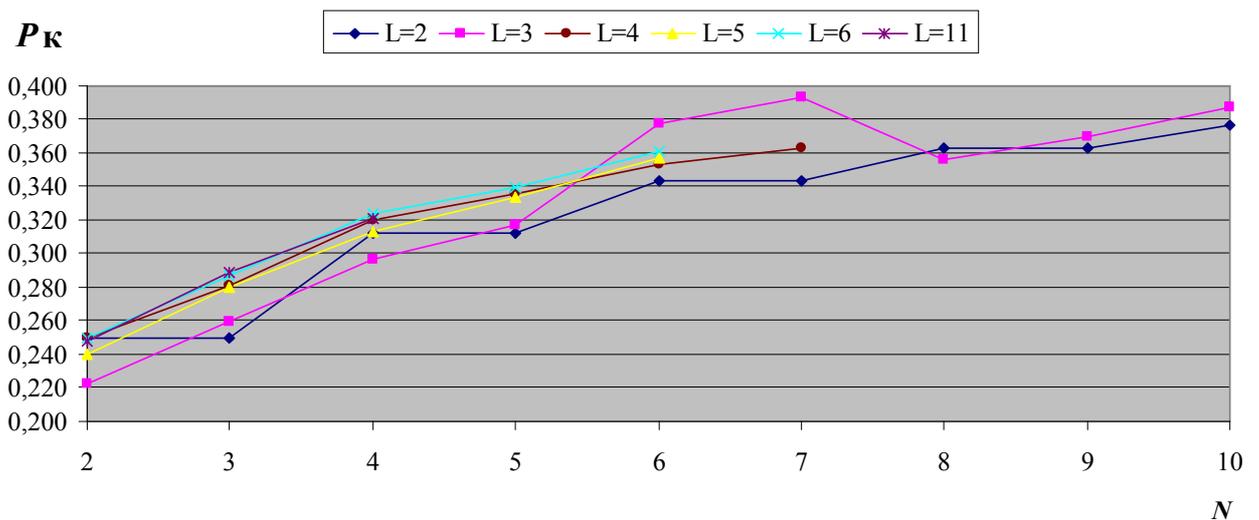


Рисунок 3.4.1 – Зависимость вероятности компенсации от количества дифференциальных оценок

На рисунке 3.4.2 приведен график, характеризующий зависимость вероятности компенсации P_K от количества уровней шкалы оценивания L при условии $N = \text{const}$ и равных весовых коэффициентах ИДК. Из анализа графика можно сделать вывод о незначительной зависимости вероятности компенсации от количества уровней шкалы квантования и линейной зависимости от количества составляющих дифференциальных оценок.

Также путем моделирования можно определить и проанализировать зависимости вероятности компенсации от выбора пороговых значений уровней шкал, распределения весовых коэффициентов дифференциальных оценок и т.д. Эффективная реализация моделирования эффективна только в рамках автоматизированной системы сопровождения, управления и контроля учебного процесса. Разработка такой системы – ближайшая перспектива работы в данном направлении.

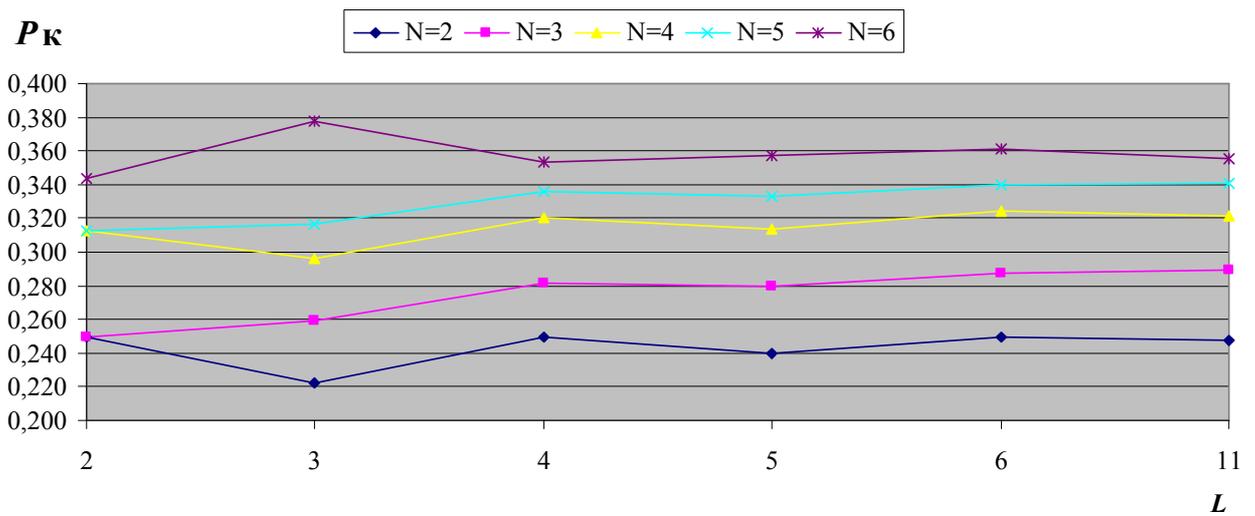


Рисунок 3.4.2 – Зависимость вероятности компенсации от количества уровней шкалы оценивания

Явление компенсации, присутствующее всегда при использовании линейного формата критерия, в большинстве случаев не учитывается. Например, часто применяемое усреднение результатов нескольких экспертов используется при оценивании результатов экзамена (по нескольким вопросам в билете), защиты выпускной квалификационной работы (мнение нескольких экспертов) и т.п. При этом максимум, на что обращается внимание для повышения достоверности итогового результата, это введение мультипликативности (например, принятие решения об отрицательном интегральном результате при наличии хотя бы одного отрицательного дифференциального результата («двойки» по одному из вопросов) или повышенной значимости одного из критериев (например, задачи на экзамене).

Часто полученная оценка корректируется на основании субъективного фактора, что еще больше снижает ее объективность и достоверность.

Кроме того, проблема повышения достоверности оценки результатов обучения важна не только для образовательных учреждений, но и в рамках дополнительного профессионального образования, особенно для допуска к работе с особо важными объектами (медицина, макроэкономика, критическая инфраструктура и т.п.). Поэтому важно разработать, апробировать и предложить инструментарий для решения указанных задач, в методическое обеспечение которого включены предлагаемые наработки.

Рассмотрим определения, условия, оценки, пороги, рекомендации по исключению (или парированию) компенсации.

Для *двоичной* шкалы оценивания:

– определяются дифференциальные оценки (результаты тестов, уровни освоения элементов одной дисциплинарной компетенции и т.п.) $D_j, j \in [1, N]$, N – количество дифференциальных оценок;

– вычисляется интегральная оценка I (количественно, таблично или математически (интегро-дифференциальный критерий, с последующим квантованием (округлением));

– вводится понятие «отрицательное значение оценки» ($I < O_{\text{пор.}}$, Γ или $D_j < O_{\text{пор.}}$, D_j^-) и «положительное значение оценки» ($I \geq O_{\text{пор.}}$, Γ^+ или $D_j \geq O_{\text{пор.}}$, D_j^+);

– вводится понятие и условия «положительной компенсации» (ПК): Γ^+ и $\exists D_j^-, j \in [1, N]$ (количество отрицательных оценок $N^- > 0$); «физический смысл» ПК – итоговый результат положительный, но результаты некоторых тестов отрицательные; или в дисциплинарной компетенции имеются неосвоенные элементы, и т.п.;

– вводится понятие и условия «отрицательной компенсации» (ОК): Γ и $\exists D_j^+, j \in [1, N]$ (количество положительных оценок $N^+ > 0$); «физический смысл» ОК – итоговый результат отрицательный, но результаты некоторых тестов положительные; или в дисциплинарной компетенции имеются освоенные элементы,

которые можно, например для экономии ресурсов, исключить из дополнительного изучения, повторного контроля и т.п.;

– вводятся условия принятия решения о наличии компенсации:

– если $N \geq N_{\text{пор.}}^-$, то имеет место ПК;

– если $N^+ \geq N_{\text{пор.}}^+$, то имеет место ОК;

– вводятся варианты принятия решения:

– «жесткое»: $N_{\text{пор.}}^- = 1, N_{\text{пор.}}^+ = 1$;

– «мягкое»: $N_{\text{пор.}}^- > 1, N_{\text{пор.}}^+ > 1$;

– «комбинированное»: $N_{\text{пор.}}^- = 1, N_{\text{пор.}}^+ > 1$ и т.д.;

– при необходимости вводятся весовые коэффициенты (показатели важности) дифференциальных оценок, чтобы повысить значимость отдельных составляющих и их определяющее влияние на итоговый результат (проверяется аналитическим моделированием);

– оцениваются и сравниваются последствия ПК и ОК (как правило, последствия ПК намного серьезнее, поэтому ОК для расчета оценок более верхнего уровня в некоторых случаях можно пренебречь), задаются пороговые значения $N_{\text{пор.}}^-, N_{\text{пор.}}^+$.

Для *недвоичной* (k -ичной) шкалы оценивания:

– при наличии порогового значения (например, при четырехбальной шкале «2» – отрицательная оценка, «3», «4», «5» – положительные оценки) определение условий компенсации сводится к двоичной шкале с соответствующими пороговыми значениями;

– при необходимости детализированной (точной) оценки:

– после получения дифференциальных оценок и расчета интегральной оценки проводится квантование (с использованием выбранного алгоритма округления) до уровня выбранной k -ичной шкалы оценивания (L_1, L_2, \dots, L_k);

– вводится понятие и условия «положительной компенсации» (ПК): среди дифференциальных оценок имеют место оценки меньше интегральной (относящиеся к уровням шкалы, меньшим итоговой оценки);

результаты некоторых тестов меньше («ниже», «хуже») итогового результата, имеются элементы с уровнем освоения ниже итоговой оценки и т.п.;

– вводится понятие и условия «отрицательной компенсации» (ОК): среди дифференциальных оценок имеют место оценки больше интегральной (относящиеся к уровням шкалы, большим итоговой оценки); результаты некоторых тестов больше («выше», «лучше») итогового результата, имеются элементы с уровнем освоения выше итоговой оценки и т.п.;

– «физический смысл» компенсации – итоговый результат не полностью тождествен распределению дифференциальных составляющих;

– вводятся характеристики компенсации:

– O_{\max} – максимальная дифференциальная оценка, большая интегральной оценки O ($O_{\max} = L_i, O = L_j, i > j; i, j \in [1, k]$);

– $\Delta_{\max} = (O_{\max} - O)$ – максимальное отклонение, может быть определено в процентах от интегральной оценки;

– O_{\min} – минимальная дифференциальная оценка, меньшая интегральной оценки O ($O_{\min} = L_i, O = L_j, i < j; i, j \in [1, k]$);

– $\Delta_{\min} = (O - O_{\min})$ – минимальное отклонение, может быть определено в процентах от интегральной оценки;

– спектр распределения количества дифференциальных оценок $D_j, j \in [1, N]$;

– $N_{\text{ОК}} = (N_{>}/N) \cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, больших интегральной (отрицательная компенсация);

– $N_{\text{ПК}} = (N_{<}/N) \cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, меньших интегральной (положительная компенсация);

– $N_{=} = (N_{=} / N) \cdot 100$ %: доля (процент) дифференциальных оценок, совпадающих с интегральной оценкой;

– условия возникновения компенсации, например, если $N < 10$ %, то компенсацией пренебречь, и т.п.

Для учета компенсации введем *показатель уверенного принятия решения* (адекватности, достоверности и т.п.), который определяется как относительное количество дифференциальных оценок (в долях или процентах), совпадающих (или несовпадающих) с интегральной оценкой и принадлежит диапазону от 0 до 100 %.

Пример 1. Ряд оценок {4, 5, 5, 5}; интегральная оценка 5; количество совпадающих 75 %; вывод – интегральная оценка с высокой степенью соответствует совокупности дифференциальных оценок.

Пример 2. Ряд оценок {3, 3, 5, 5}; интегральная оценка 4; количество совпадающих 0 %; вывод – интегральная оценка не соответствует совокупности дифференциальных оценок и представляет собой только их усреднение, что не всегда достаточно и показательно.

Для использования на практике можно ввести порог принятия решения о компенсации, например, 25 % (значение порога подобрать по результатам моделирования – он м.б. для разного количества дифференциальных оценок разным; или задать количество – не менее 1/3, 1/4 и т.п.).

3.5. Применение многоуровневых шкал оценивания результативности подготовки

3.5.1. Анализ достоинств, недостатков и области целесообразного применения многоуровневых шкал оценивания

Проведем краткий анализ способов построения многоуровневых шкал оценивания, их достоинств, недостатков и области целесообразного применения.

1. **Двоичная шкала** ({«зачет», «незачет»}; {«сдал», «не сдал»}; {«отрицательный», «положительный»} и т.п.).

Достоинства:

+ простота расчета дескрипторов уровней шкалы (описание того, что нужно освоить, сдать, продемонстрировать и т.п., чтобы получить «зачет»; пороговое значение для результатов тестирования и т.п.);

+ эффективность и однозначность применения в алгоритмах условной процедуры диагностирования, поскольку результат является явным индикатором перехода к следующему этапу или возврата к предыдущему;

+ не требуются специальных итоговых аттестационных мероприятий, так как «зачет» может быть выставлен по накопленному результату (сданы все отчеты; решены все контрольные работы и т.п.);

+ использование в случаях, где нет возможности (или необходимости) определять количественные оценки (по посещению, по представлению документов отчетности и т.д.).

Недостатки:

– минимальная детализация итогового результата;

– вероятность компенсации при аддитивном критерии определения итогового результата (наличие неосвоенных элементов при общей положительной оценке и наоборот);

– значительно снижает точность определения оценок более высокого уровня (элементов дисциплинарных компетенций; компонентов дисциплинарных компетенций; дисциплинарных компетенций; компетенций; групп компетенций и т.д.).

Область целесообразного применения:

- мероприятия контроля общего характера, не требующие детализации результатов и их использования в дальнейших расчетах;
- допуск к различным видам работ, занятий и т.п.;
- оценка некритичных (малозначимых) составляющих образовательного процесса и т.д.

2. Троичная ({«низкий», «средний», «высокий»}; {«пороговый», «продвинутый», «высокий»}; {«низкий», «неопределенный», «высокий»} и т.п.).

Достоинства и недостатки в целом аналогичны выделенным для двухуровневой шкалы оценивания.

Область целесообразного применения:

- задание уровней освоения, которые характеризуют требования к объему, содержанию, трудоемкости;

- оценивание результатов с тремя видами вывода;
- оценивание результатов с необходимостью уточнения при попадании в «неопределенную» зону (зону «неуверенного принятия решения») с целью привлечения дополнительных средств диагностирования, позволяющих «сузить» зону неопределенности, тем самым увеличив глубину (точность) диагностирования, и т.д.

3. **Пятиуровневая (пятибалльная) шкала** ({«1», «2», «3», «4», «5»}). На практике часто сводится к **четырёхуровневой (четырёхбалльной) шкале**, когда не используется оценка «1».

Достоинства:

- + при необходимости может быть сведена к двухуровневой («1», «2» – отрицательный; «3», «4», «5» – положительный результаты);
- + бóльшая степень детализация результатов;
- + возможность четкого (количественно или через дескрипторы) и нечеткого (количественно, через интервалы) задания соответствия результатов уровням шкалы;
- + возможность использования формализованных подходов к уменьшению вероятности компенсации;
- + большой опыт применения в системе образования.

Недостатки:

- вероятность компенсации при аддитивном критерии определения итогового результата (наличие неосвоенных элементов при общей положительной оценке и наоборот);
- существенная погрешность округления при попадании результата в середину интервала между уровнями (например, 4,5 – «4» или «5»);
- необходимость вербального (качественного) или количественного задания формулировки дескрипторов (выделить и описать существенные отличия «3» от «4», «4» от «5»).

3а. **Расширенная (10-балльная)** относительно традиционной 5(4)балльной за счет введения градаций «+» и «-» (например, только для положительных оце-

нок) шкала оценивания. На практике шкала применяется достаточно часто, но законодательно не введена.

Достоинства:

- + возможность количественного задания и использования в выбранных критериях оценивания (аддитивном, мультипликативном и т.д.);
- + возможность дискретного задания через систему «штрафов» и «бонусов», что облегчает разработку дескрипторов описания уровней шкалы;
- + возможность интервального (нечеткого, через функции принадлежности) задания, с последующим четким выводом, повышающая адекватность и качество оценивания;
- + бóльшая степень детализации результатов;
- + возможность задания количественного значения дополнительным уровням (например, «4+» → 4,33).

Недостатки:

- увеличение размерности шкалы, что может привести к усложнению процедур подготовки и оценивания (при ручном использовании);
- не всегда достаточная степень детализации результатов.

Область целесообразного применения:

- оценивание результатов реализации диагностических тестов (средств) контроля уровня освоения элементов и компонентов компетенций;
- оценивание результатов освоения образовательной программы, заданных в компетентностном формате: элементы дисциплинарных компетенций; компоненты дисциплинарных компетенций; дисциплинарные компетенции; компетенции; группы компетенций и т.д.

В системах образования стран ближнего и дальнего зарубежья приняты шкалы с различным количеством уровней (5, 6, 7, 10, 12 и т.д.), каждая имеет свою историю применения и обоснования. Результаты оценивания могут быть портированы из одной шкалы в другую.

На наш взгляд, для оценки результатов освоения компетентностно-ориентированных образовательных программ подходит расширенная 9-балльная

шкала (при оценивании результатов диагностирования и уровня освоения составляющих компетенций). Она достаточно удобно и адекватно преобразуется в традиционную 5(4)-балльную шкалу при формировании итоговых оценок уровня освоения компетенций (групп компетенций, например, по видам профессиональной деятельности) как результатов обучения по компетентностно-ориентированным образовательным программам.

3.5.2. Выбор шкалы для оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате

Проблема точности (глубины локализации – определение уровня освоения каждой из контролируемых величин) оценивания результатов измерений тесно связана с правильным (обоснованным, адекватным) выбором шкалы оценивания. Можно выделить *область применения шкал оценивания* в области контроля результатов в процессе обучения при реализации дисциплины (раздела) учебного плана образовательной программы:

- результат реализации средства контроля (диагностического теста – Т);
- уровень освоения элемента дисциплинарной компетенции (ЭДК);
- уровень освоения компонента дисциплинарной компетенции (КДК);
- уровень освоения дисциплинарной компетенции (ДК);
- уровень освоения компетенции (К).

Проверка и оценка результатов реализации образовательной программы проводится в виде государственной итоговой аттестации (ГИА), в рамках которой требуется оценить:

- результат государственного экзамена (ГЭ) (если он предусмотрен структурой образовательной программы);
- результат защиты выпускной квалификационной работы (ВКР);
- уровень освоения компетенций, контролируемых ГИА.

При выборе шкалы оценивания возникают проблемы, связанные с определением:

- необходимого количества уровней шкалы;
- интервала между соседними уровнями;

- алгоритма установления принадлежности определенному уровню при падении значения границам интервала;
- алгоритма установления принадлежности определенному уровню при падении значения в середину интервала и т.д.

Традиционной шкалой оценивания для российской системы образования является пятиуровневая шкала («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «...»), имеющая, как правило, цифровой эквивалент {5, 4, 3, 2, 1}. Оценки {5, 4, 3} считаются «положительными» и свидетельствуют о том, что испытуемый успешно справился с поставленной задачей (заданием, проблемой). Оценки {2, 1} считаются «отрицательными», причем часто оценка {2} ставится при количестве ошибок, превышающих пороговое значение (для минимальной положительной оценки {3}), а оценка {1} ставится при отсутствии результата («не сдал», «не выполнил», «не явился» и т.п.). В вузах сохранилась двухуровневая система «зачет»/«незачет», которая по сути упрощает многоуровневую шкалу, сведя ее к «положительной» или «отрицательной» оценке. Некоторые вузы России переходят на многоуровневые шкалы, которые позволяют более точно детализировать оценку, при этом усложняется алгоритм (правила) оценивания.

Выделим основные этапы принятия решения по определению итогов (интегральной) оценки по нескольким частным (дифференциальным) оценкам. Также рассмотрим основные проблемы, которые возникают при этом, и укажем возможные пути их решения.

Этап определения частной (дифференциальной) оценки. Данная оценка формируется одним экспертом (преподавателем) (либо автоматизированной системой – при реализации соответствующего вида тестов) по результатам реализации одного из средств контроля (диагностического теста), например, защита отчета по лабораторной работе; ответ на один из вопросов на экзамене; демонстрация полученных результатов по итогам прохождения практики и т.п. Здесь важным является выделение: *объекта(ов) контроля* (в компетентностном формате: «знание», «умение», «владение»); *индикатора(ов) объекта(ов) контроля* (что конкретно проверяется: метод, инструмент и т.п.); *дескриптора(ов) объекта(ов) кон-*

троля, определяющих соответствие результатов и уровней шкалы оценивания. Эта задача достаточно сложная, поскольку относится к слабоформализуемым, и решается ведущим педагогом при разработке учебно-методической документации в составе фонда оценочных средств (ФОС) дисциплины, раздела или государственной итоговой аттестации.

Для иллюстрации в самых общих чертах приведем пример дескрипторов, по которым может выставляться частная оценка на экзамене:

{1} – задание не выполнено (не сдано; испытуемый не явился и т.п.);

{2} – задание выполнено неправильно (например, путь решения неверный; выполнено менее 25 % и т.п.);

{3} – задание выполнено правильно, не полностью, присутствуют не критические (не принципиальные) ошибки (например, выполнено более 25 %, но менее 60 %, и т.п.);

{4} – задание выполнено правильно, не полностью, присутствуют замечания (например, выполнено более 60 %, но менее 85 %, и т.п.);

{5} – задание выполнено правильно и полностью (например, выполнено более 85 % и т.п.).

Этап определения итоговой (интегральной) оценки. В простейшем случае указанная процедура может быть выполнена усреднением частных экспертных оценок (нахождением среднего арифметического). В более сложном случае можно использовать расчет среднего взвешенного арифметического (например, в формате аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания – АИДКО), а также других способов нахождения интегральных оценок. При этом могут возникать различные нюансы, связанные с необходимостью учета качественного, а не количественного критерия оценивания.

Например, в результате усреднения либо расчета АИДКО получилось значение, совпадающее с серединой интервала между уровнями (например, 4.5). Это характерно для четного количества дифференциальных оценок, что на практике вполне может встретиться. По математическим правилам округление производится в большую сторону (до 5). Однако с точки зрения качественной оценки не

все так однозначно, поскольку в результате присутствует явная неопределенность (равновероятные исходы 4 или 5). Особенно актуальна указанная проблема, если одной из границ интервала является «отрицательная» оценка, а другой «положительная» (например, 2 и 3), так как округление имеет не только количественный, но и важный качественный смысл.

Можно предложить подходы к решению указанной проблемы:

- выбрать самую часто встречающуюся оценку («моду»); если их несколько, то усреднить результат;
- рассчитать «медиану» (середина ряда значений, упорядоченного в порядке уменьшения или возрастания);
- перейти к ближайшему большему (нечетному) количеству дифференциальных оценок, дублировав, например, оценку самого важного эксперта (председателя ГЭК) или моду ряда оценок.

Каждый из предложенных способов имеет свою область применения, достоинства и недостатки, и может быть выбран на основании результатов имитационного моделирования или волюнтаристским решением.

При построении интегральной оценки важно учесть следующие явления (свойства, характеристики), характеризующие последствия рисков неправильного принятия решения:

1. *Компенсация* (для дифференциальной оценки) – отличие дифференциальной оценки от интегральной оценки; характеризует неравномерность (неодинаковость) распределения частных оценок. При «отрицательной компенсации» имеет место наличие дифференциальных оценок, больших («лучше») интегральной оценки, а при «положительной компенсации» – наличие дифференциальных оценок, меньших («хуже») интегральной оценки.

2. *Адекватность (робастность, устойчивость, толерантность)* (для интегральной оценки) – степень соответствия ряду дифференциальных оценок; характеризует количество дифференциальных оценок, совпадающих с интегральной оценкой.

3. *Неопределенность* (принятия решения) (для интегральной оценки) – вероятность нахождения значения интегральной оценки в середине интервала между соседними уровнями шкалы оценивания.

3.5.3. Определение вероятностных характеристик свойств многоуровневых шкал

Для решения задачи определения интегральной оценки по заданной совокупности дифференциальных оценок можно проанализировать возможность использования различных шкал оценивания. Для каждого варианта путем аналитического или имитационного моделирования можно рассчитать вероятностные показатели указанных выше свойств, которые позволят сравнить и определить области целесообразного применения разных шкал. *Параметрами* для построения модели являются:

- число уровней шкалы оценивания (L);
- количественные значения каждого уровня шкалы оценивания ($L_i, i \in [1; L]$; например, $\{0; 1\}$; $\{1; 2; 3; 4; 5\}$; $\{0,25; 0,5; 0,75; 1\}$);
- число дифференциальных оценок (N);
- правила (критерии) вычисления интегральной оценки.

Имитационное моделирование проводится способом полного перебора вариантов дифференциальных оценок, далее проводится определение интегральной оценки, а затем рассчитываются требуемые вероятностные характеристики. Для этого реализована программа в среде Visual Basic for Applications в составе пакета Microsoft Excel.

Выберем для исследования аддитивный интегро-дифференциальный критерий оценивания (АИДКО), наиболее часто применяющийся для решения задач определения интегральной оценки. Примем равнозначность (одинаковую значимость) дифференциальных оценок. Определим следующие вероятностные характеристики:

- Вероятность компенсации: $P_{\text{комп.}} = f(N)$ при $L = \text{const}$; $P_{\text{комп.}} = f(L)$ при $N = \text{const}$ (рисунок 3.5.1).

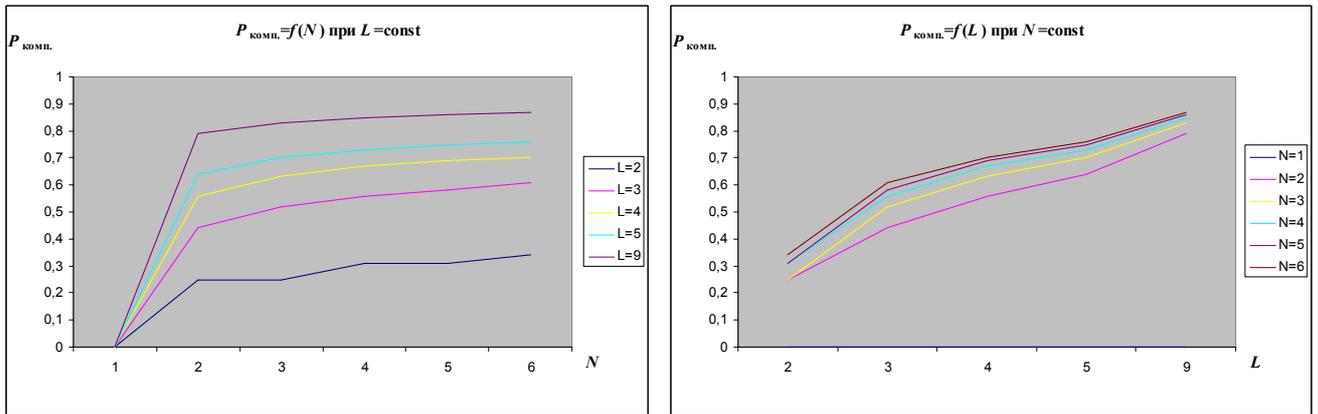


Рисунок 3.5.1 – Зависимость вероятности компенсации от свойств шкалы и формата АИДКО

Вывод 1: для заданной размерности шкалы вероятность компенсации дифференциальной оценки интегральной растет несущественно, т.е. размерность шкалы практически не влияет на характеристики компенсации.

Вывод 2: при заданном количестве дифференциальных оценок в АИДКО вероятность компенсации находится в прямой зависимости от размерности шкалы. Это объясняется тем, что при увеличении количества уровней шкалы увеличивается число вариантов возможных распределений значений дифференциальных оценок. Значит, необходимо обдуманно и мотивированно расширять размерность шкалы либо переходить к «мягкому» определению условий компенсации (считать компенсацией несовпадение интегральной и более одной (устанавливая заданный процент) дифференциальной оценки).

– Вероятностный показатель адекватности (робастности, устойчивости, толерантности): $P_{\text{ад.}} = f(N)$ при $L = \text{const}$; $P_{\text{ад.}} = f(L)$ при $N = \text{const}$ (рисунок 3.5.2).

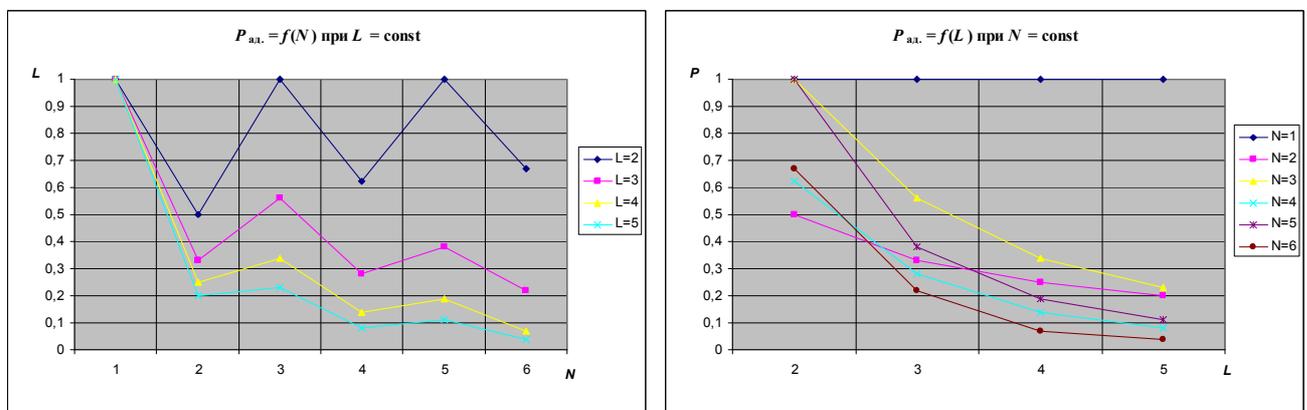


Рисунок 3.5.2 – Зависимость вероятностного показателя адекватности (робастности) от свойств шкалы и формата АИДКО

Вывод 1: для заданной размерности шкалы показатель адекватности (робастности) уменьшается с увеличением количества дифференциальных оценок в АИДКО, причем характер зависимости для четных значений N «хуже», чем для нечетных (кривая убывает быстрее). Это объясняется тем, что при выбранном способе определения интегральной оценки (АИДКО) и равнозначности дифференциальных оценок при четном значении N возникает необходимость округления при попадании значения в середину интервала между соседними уровнями (например, $3,5 \rightarrow 4$).

Вывод 2: для заданного количества дифференциальных оценок в АИДКО показатель адекватности (робастности) уменьшается с увеличением размерности шкалы. Неравномерный характер зависимости связан с алгоритмом округления.

– Вероятность неопределенности в принятии решения: $P_{\text{неопр.}} = f(N)$ при $L = \text{const}$; $P_{\text{неопр.}} = f(L)$ при $N = \text{const}$ (рисунок 3.5.3).

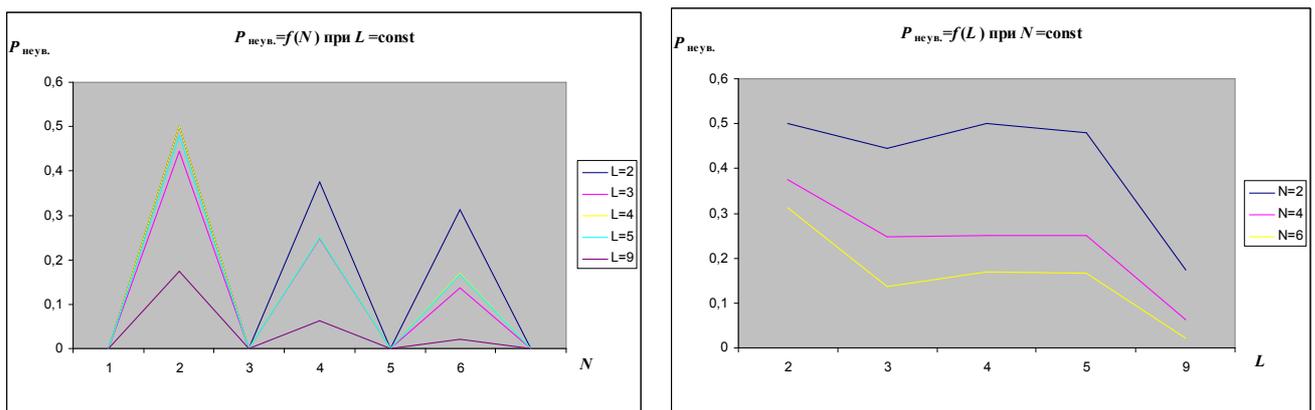


Рисунок 3.5.3 – Вероятность неопределенности в принятии решения от свойств шкалы и формата АИДКО

Вывод 1: при нечетном количестве дифференциальных оценок в АИДКО проблема неопределенности принятия решения отсутствует (для равнозначных дифференциальных оценок).

Вывод 2: для заданной размерности шкалы вероятность неуверенного принятия решения уменьшается при увеличении количества дифференциальных оценок в АИДКО.

Вывод 3: для заданного количества дифференциальных оценок в АИДКО вероятность неуверенного принятия решения уменьшается при увеличении размерности шкалы.

3.6. Применение нечеткой логики для определения интегральных оценок результативности подготовки

Задача определения интегральной оценки результатов обучения на основе дифференциальных (частных) оценок может иметь значительную размерность (при большом количестве дифференциальных оценок и многоуровневой шкале) и сложность (из-за необходимости сформулировать и формализовать большое количество правил). Поэтому эффективным решением является автоматизация определения количественной оценки интегрального показателя. В основе формализации решения указанной задачи лежит выбор аппарат формальной логики. Автором было исследовано применение двух аппаратов: *детерминированной* и *нечеткой* логики.

Каждый аппарат имеет свои достоинства, ограничения и область целесообразного применения. Достоинство детерминированной логики – в возможности сформулировать и строго рассчитать результаты применения продуктивных правил (логических условий) с использованием, например, булевой или недвоичной алгебры для дешифрации диагностических таблиц. При этом возможно использование многоуровневых шкал с равномерным или неравномерным распределением интервалов между соседними уровнями. Достоинство нечеткой логики – возможность применения многоуровневых шкал, важность уровней в которых задается функциями принадлежности, выбираемыми по согласованию с заказчиком. Также за счет введения дополнительных градаций (например, в виде «+» и «-») и последующей дефаззификации (преобразования нечеткого множества в четкое число) появляется возможность перехода от векторной оценке к скалярной.

Далее рассмотрим применение только нечеткой логики для решения поставленной задачи – определение интегральной оценки результатов государственного экзамена (использование детерминированной логики – параллельное направление исследований, проводимых автором). Отметим, что предлагаемый подход является инвариантным к виду и форме аттестационных испытаний и может быть использован для принятия решения в многокритериальных задачах.

3.6.1. Аналитическая модель решения задачи при использовании методов нечеткой логики

Входными лингвистическими переменными являются дифференциальные оценки, для рассматриваемого примера ГЭ – оценки за решение задачи (Z) и ответы на вопросы (Q_1, Q_2, Q_3); выходной лингвистической переменной будем считать интегральную (итоговую) оценку (I). Терм-множество для каждой лингвистической переменной содержит описание уровней выбранной шкалы оценивания размерности $N (\{L_i, i \in [1; N]\})$. Например, для $N = 4, \{L_i, i \in [1; 4]\} = \{\text{«отлично»}; \text{«хорошо»}; \text{«удовлетворительно»}; \text{«неудовлетворительно»}\}$ или $\{\text{«2»}, \text{«3»}, \text{«4»}, \text{«5»}\}$.

Термам могут быть заданы различные функции принадлежности относительно количественных значений оценки, например, в виде синглтона или треугольной (рисунок 3.6.1).

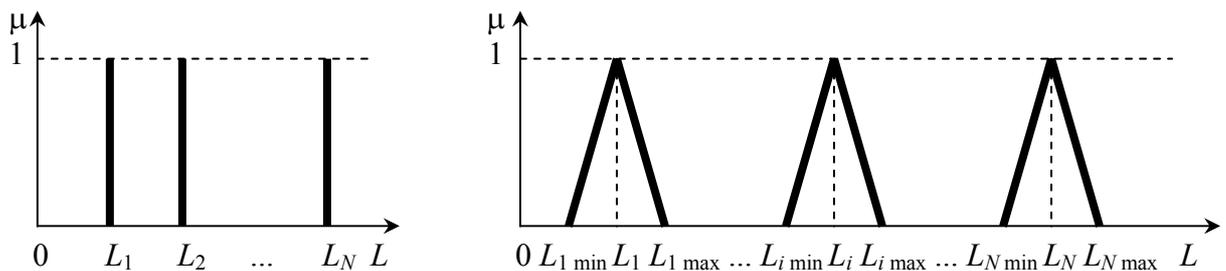


Рисунок 3.6.1 – Пример функций принадлежности

Универсальное множество (универсум) в данном случае представляет собой количественное значение (точечное или интервальное – в зависимости от выбранной функции принадлежности) оценки за решение задачи или ответ на вопрос. Например, описание функции принадлежности вида синглетон и треугольной формы $\mu(T_j)$, где T_j – терм, имеет следующий вид:

$$\mu(T_j) = L_i; i, j \in [1; N]; \mu(T_j) = \begin{cases} \frac{L - L_{i \min}}{L_i - L_{i \min}}, L \in [L_{i \min}; L_i]; \\ \frac{L_{i \max} - L}{L_{i \max} - L_i}, L \in [L_i; L_{i \max}]. \end{cases}$$

Параметры шкалы (количество термов входных/выходных переменных):
– размерность N (количество уровней);

- шаг квантования (интервал между уровнями):
 - постоянный;
 - переменный;
- взаимное расположение функций принадлежности соседних термов (для функций принадлежности треугольного вида):
 - $L_{i \max} < L_{(i+1) \max}$: функции принадлежности соседних термов не соприкасаются (без неопределенности вывода);
 - $L_{i \max} = L_{(i+1) \max}$: функции принадлежности соседних термов соприкасаются (с неопределенностью вывода в точке соприкосновения, поскольку одно значение универсума может соответствовать функциям принадлежности двух соседних термов);
 - $L_{i \max} > L_{(i+1) \max}$: функции принадлежности соседних термов перекрываются (с неопределенностью вывода для интервала значений, поскольку одно значение универсума может соответствовать функциям принадлежности двух соседних термов).

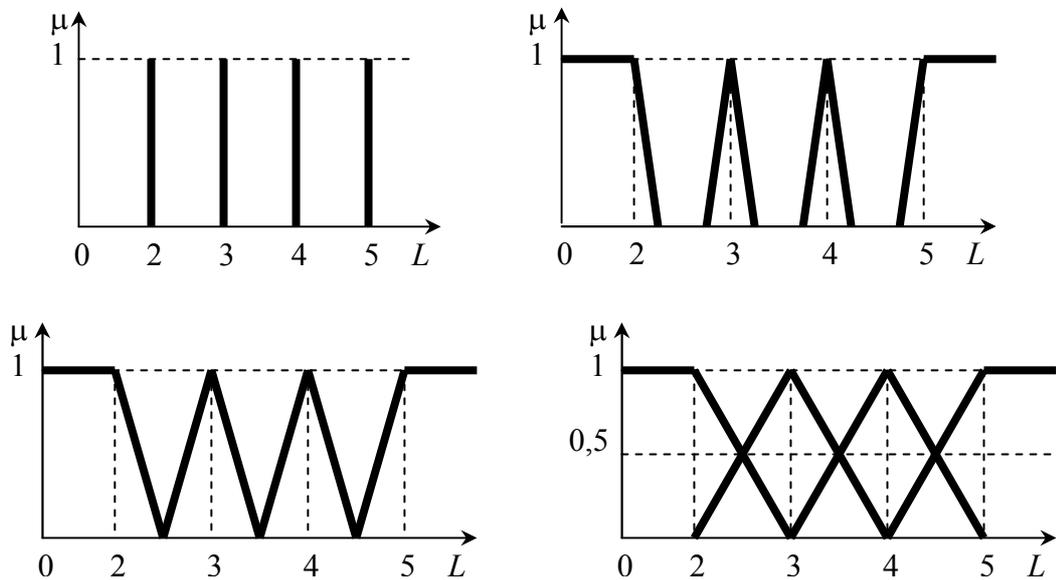


Рисунок 3.6.2 – Варианты функции принадлежности входных и выходных лингвистических переменных

Продуктивные правила формируются для определения значения выходной переменной на основании конкретных входных данных.

3.6.2. Моделирование принятия решения для разных шкалах оценивания

Задачи моделирования:

1. Определить вероятность неточного принятия решения – значение посередине интервала (4,5).
2. Определить вероятность компенсации.
3. Определить показатель адекватности (робастности) – процент дифференциальных оценок, не совпадающих с интегральной.
4. Определить правила перехода между шкалами.

После определения дифференциальных оценок (для рассматриваемого примера с государственным экзаменом – оценок за решение задачи и ответы на вопросы экзаменационного задания) для каждой из них рассчитывается значения функций принадлежности соответствующих термов. Для оценок, квантованных по уровням выбранной четырехуровневой шкалы, неопределенности в определении интегральной оценки не возникает. Поэтому интегральная оценка определяется в результате дефаззификации с использованием заданных продуктивных правил; при этом не используются преимущества нечеткой логики.

Достоинства нечеткой логики начинают проявляться при расширении размерности шкалы за счет использования более сложных, чем синглетон, функций принадлежности выходных переменных (например, треугольной, трапециевидной, экспоненциальной и т.п.). Это позволяет произвести не дискретное, а интервальное задание универсума входных переменных, расширяя диапазон нечетких выводов. Простота алгоритмов вычисления (фаззификации и дефаззификации), а также хорошая управляемость модели (возможность задания разных функций принадлежности, «под заказчика») обеспечивают меньшую вычислительную сложность и лучшую автоматизируемость, чем методы детерминированной логики.

Для расширения шкалы с использованием детерминированной логики необходимо задать дискретные значения дополнительным уровням. Рассмотрим дальнейшие вычисления на примере девятиуровневой шкалы, которая за счет расширения относительно четырехуровневой шкалы $\{L_1 = \langle\langle 5 \rangle\rangle = 5; L_2 = \langle\langle 4 \rangle\rangle = 4; L_3 = \langle\langle 3 \rangle\rangle$

$= 3; L_4 = \langle 2 \rangle = 2\}$ позволяет ввести дополнительные градации оценки: $\{\langle 5 \rangle; \langle 5- \rangle; \langle 4+ \rangle; \langle 4 \rangle; \langle 4- \rangle; \langle 3+ \rangle; \langle 3 \rangle; \langle 3- \rangle; \langle 2 \rangle\}$. Основные и дополнительные уровни могут быть количественно оценены путем присвоения им определенных числовых значений, например, $\langle 5 \rangle = 5; \langle 5- \rangle = 4,67; \langle 4+ \rangle = 4,33; \langle 4 \rangle = 4; \langle 4- \rangle = 3,67; \langle 3+ \rangle = 3,33; \langle 3 \rangle = 3; \langle 3- \rangle = 2,67; \langle 2 \rangle = 2$.

При использовании нечеткой логики дополнительные градации оценки вводятся не как дополнительные термы, чтобы не увеличивать размерность модели и сложность формирования продуктивных правил, а как точки (или интервалы) на функциях принадлежности соответствующих термов. Дополнительные градации задаются введением соответствующих интервалов универсума для сложной (например, треугольной) функции принадлежности. При этом ФП соседних термов должны пересекаться, чтобы соответствовать логике решаемой задачи, в противном случае преимуществ нечеткого вывода не будет.

На рисунке 3.6.3,а показан пример использования расширенной шкалы, в которой значение универсума $L = 4,25$, которое можно интерпретировать как дополнительный уровень шкалы $\langle 4+ \rangle$, со степенью принадлежности μ_1 соответствует терму $\langle 4 \rangle$ и со степенью принадлежности μ_2 соответствует терму $\langle 5 \rangle$ ($\mu_1 > \mu_2$). Это означает возможность нечеткого вывода, который в совокупности, например, с оценками других экспертов или оценок за остальные вопросы, может в результате дефаззификации дать более точный результат, чем усреднение, взвешивание и последующее округление.

На рисунке 3.6.3,б показан пример использования расширенной шкалы, в которой значение универсума $L = 4,25$, которое можно интерпретировать как дополнительный уровень шкалы $\langle 4+ \rangle$, со степенью принадлежности $\mu = 0,5$ соответствует терму $\langle 4 \rangle$. Это означает, что нечеткости вывода нет, и вычисления соответствуют детерминированной логике принятия решения.

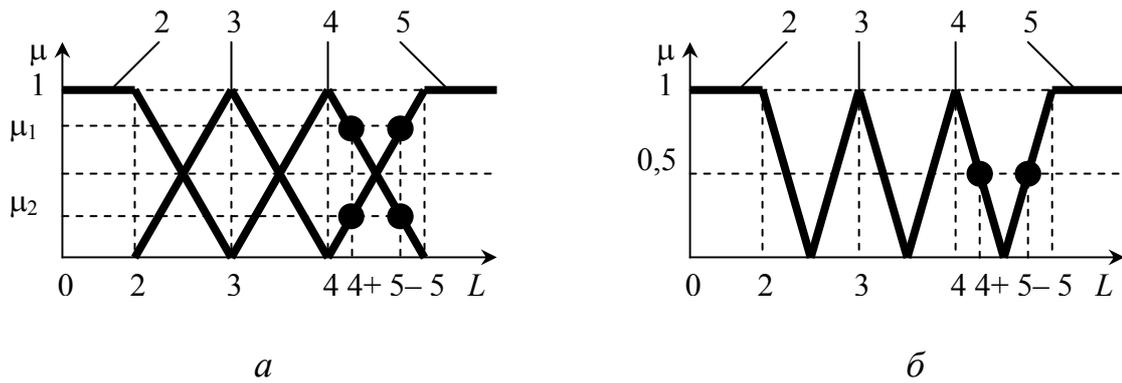


Рисунок 3.6.3 – Примеры использования расширенной шкалы

Числовые значения могут задаваться в виде дискретных (квантованных) величин в соответствии с заданными числовыми значениями, тогда нечеткости в логике формирования и вычисления интегральной оценки нет. Также они могут быть заданы непрерывной оценкой и пересчитаны из шкалы с большим количеством уровней, например, 100-бальной.

3.6.3. Преимущества применения нечеткой логики

1. Расширение числа уровней шкалы (дискретное – «5–», «4+» и т.п. и непрерывное - задание сложных функций принадлежности (треугольных, экспоненциальных и т.п.)).
2. Возможность задания и использования совокупности продуктивных правил принятия решения.
3. Отсутствие явления неконтролируемой компенсации, поскольку принимается осмысленное качественное решение по заданным правилам, а не количественное (арифметическое).
4. Возможность изменять значимость универсума или терма, задавая разные функции принадлежности, что представляется более эффективным, чем определение весовых коэффициентов при свертке.

На рисунке 3.6.4 показаны две функции принадлежности, названные условно «более строгой» и «менее строгой». Для «более строгой» ФП характерно более жесткое принятие решения, чем для «менее строгой». Например, для $L = 4,8$: $\mu_{bc} = 0.2$ («уже не 5, почти 4»), а $\mu_{mc} = 0.8$ («почти 5, уже не 4»).

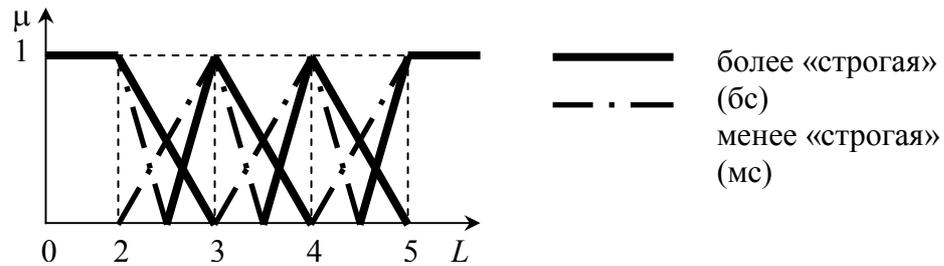


Рисунок 3.6.4 – Две функции принадлежности

Таким образом можно задать ФП для оценки, например, представителем работодателя, продвинутому специалисту, председателю комиссии и т.д., а также повысить значимость определенной оценки, например, более строго оценивать задачу или один из наиболее важных теоретических вопросов и т.п.

5. Возможность ввода дополнительных условий для принятия решения без расширения размерности шкалы за счет сложного (не синглетон) характера ФП. Например, ставится дискретная оценка, совпадающая с одним из уровней шкалы (L_i). Затем проводится дополнительное оценивание на предмет наличия условий, повышающих («бонус») либо понижающих («штраф») оценку. Математически это осуществляется за счет увеличения (или уменьшения) значения L_i на величину ΔL_i , но не более $L_{i \max}$ (не менее $L_{i \min}$) соответственно. Здесь уже появляются условия для нечеткого вывода, поскольку при увеличении L_i «задевается» функция принадлежности уровня L_{i+1} , а при уменьшении L_i – функция принадлежности уровня L_{i-1} (при условии, что ФП пересекаются, что на практике обычно имеет место). Например, однократное применение дополнительных условий сводится к появлению значений «4–» и «4+» относительно базовой квантованной оценки «4». При этом количественное значение ΔL_i может быть взято, например, 0,33 при $L_{i \min} = 3$ и $L_{i \max} = 5$ (ФП соседних термов пересекаются).

Пример 1. Рассчитаем результаты экзамена тремя способами.

Z	Q1	Q2	Q3	Среднее	АИДКО	Fuzzy
4,3	4,7	4,7	4,3	4,5	4,46	4,3
4+	5-	5-	4+	?	?	4+
4,3	4,7	4,7	4	4,425	4,4	4,3
4+	5-	5-	4	?	?	4+

4,3 4+	4,7 5-	4,7 5-	3,7 4-	4,35 4+	4,34 4+	4,3 4+
3,7 4-	4,7 5-	4,7 5-	3,7 4-	4,2 4+	4,1 4	3,7 4-
3,7 4-	4 4	4 4	3,7 4-	3,85 4-	3,82 4-	3,7 4-
3,7 4-	4 4	4 4	4 4	3,925 4	3,88 4	4 4
3 3	4 4	4 4	3 3	3,5 ?	3,4 3-	3 3
3 3	5 4	4 4	3 3	3,75 4-	3,6 ?	3 3
3,3 3+	5 4	4 4	3 3	3,825 4-	3,72 4-	3,3 3+

На основании анализа данных примера можно показать, что вывод, полученный путем дефаззификации по продуктивным правилам нечеткой логики (Fuzzy), обладает большей точностью (совпадает с одним из уровней выбранной шкалы оценивания), чем значения среднего и взвешенного среднего (АИДКО), которые при округлении дают погрешность, искажающую интегральную оценку.

3.7. Выводы по главе

В настоящей главе приведены результаты построения и исследования математических и информационных моделей определения количественной оценки результативности подготовки.

1. Предложена методика определения количественных оценок результативности подготовки на основе применения линейного интегро-дифференциального критерия оценки элементов и частей компетенций для различных уровней их формирования, что позволило учесть особенности вычисления интегральных и

дифференциальных оценок для различных уровней и видов занятий, участвующих в формировании компетенций.

2. Предложены способы дешифрации результатов тестового диагностирования, которые позволяют учесть различия процедур синтеза тестов и обработки результатов проверки для разных компонентов компетенций, приведены иллюстрирующие примеры.

3. В рамках уровневой модели компонентной структуры компетенции предложена методика расчета весовых коэффициентов интегро-дифференциальной оценки уровня освоения ЭДК. Приведен числовой пример использования предложенной методики для расчета весовых коэффициентов оценки уровня освоения ЭДК в составе ИДК. Это позволило сформулировать практические рекомендации для использования предложенной методики для оценки результативности обучения на разных стадиях подготовки.

4. Выполнен анализ формата интегро-дифференциального критерия, который позволил определить условия влияния дифференциальных оценок на интегральный результат. Это дало возможность решить задачу определения фрагментов учебного материала дисциплины (видов APC и CPC) и соответствующих им дифференциальных оценок, необходимых для улучшения интегральной оценки уровня освоения ЭДК. Для этого были проанализированы условия и ограничения применения, а также приведены иллюстрирующие практические примеры.

5. Исследована проблема планирования и анализа рисков неправильного принятия решения, что позволило обеспечить точность оценки уровня компетентности (в математической статистике – ошибки 1 и 2 рода). Введено понятие компенсации дифференциальных оценок интегральным результатом, определены и проанализированы условия условий возникновения компенсации при использовании двоичных и недвоичных шкал оценивания. Это позволило определить вероятностные показатели указанного явления, что дает возможность обеспечить заданную точность процедурам оценивания результативности подготовки на разных стадиях обучения.

6. Выполнено обоснование актуальности проблемы использования многоуровневых шкал оценивания результатов обучения, а также анализ достоинств, недостатков и области целесообразного применения многоуровневых шкал оценивания, применяемых в системе образования РФ. Предложен подход к выбору шкалы оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате; определены особенности этапов оценивания; выделены характерные особенности, которые нужно учитывать при формировании интегральных оценок.

7. Определены вероятностные характеристики введенных показателей шкал оценивания (компенсации, робастности, неопределенности) с использованием имитационного моделирования, сделаны выводы, поясняющие характер поведения выявленных зависимостей.

8. Показано, что для повышения адекватности и точности принятия решения по интегральной оценке результатов подготовки эффективно использовать аппарат и методы нечеткой логики. Это позволяет задавать и настраивать количественные значения уровней шкалы оценивания, что дает возможность более «тонко», чем, например, использование весовых коэффициентов, управлять процедурой принятия решения в многопараметрической задаче формирования интегрального показателя по множеству дифференциальных оценок. Предложенный подход и рекомендации могут быть использованы на любом уровне оценивания (модуль, дисциплина, блок дисциплин, обобщенный показатель результативности и т.п.)

Основные результаты исследований приведены в работах [56, 57, 58, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 156, 157, 160, 164, 170].

Глава 4. Разработка методики определения количественной оценки результативности на разных стадиях подготовки

В рамках решения общей задачи количественной оценки результативности подготовки представляется целесообразным разбить ее на ряд частных задач, решение которых позволит сформировать и обосновать адекватные критерии оценки качества подготовки выпускника и предложить методику их определения. В частности, предлагается выделить следующие группы задач:

– разработка методики и конструктивной информационной базы тестовых заданий для проверки компетенций ЗУВ (знаний, умений и владений), формируемых всеми видами занятий;

– разработка методики количественной оценки результатов тестирования компетенций и рекомендаций по коррекции процесса подготовки.

Далее приводятся результаты решения ряда частных задач приведенных групп на примере подготовки бакалавров и магистров направления 11.03.02 и 11.04.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», реализуемого в Пермском национальном исследовательском политехническом университете. Апробация полученных решений проводилась при подготовке тестовых заданий и разработке методики оценивания компонентов профессиональных и профильно-специализированных компетенций, формируемых различными видами занятий, предусмотренных учебными планами подготовки бакалавров и магистров указанного выше направления.

4.1. Разработка методики определения количественной оценки результативности подготовки в рамках модуля программы

4.1.1. Модель формирования и контроля ЭДК

Для эффективного применения средств контроля уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций необходимо сформулировать критерии оценки, а также систему требований и ограничений [69].

Критерии оценки каждого компонента дисциплинарной компетенции и его элементов разрабатываются преподавателем индивидуально, с учетом общего подхода соблюдением рекомендаций:

1. Интегро-дифференциальный критерий формирования оценок.
2. Линейность критерия.
3. Единая нормализованная шкала оценок и весовых коэффициентов (например, $[0÷1]$).
4. Подобранные различными способами в зависимости от имеющейся статистики (расчетом, эмпирически с учетом важности дисциплины, раздела, вида занятий и т.д., опросом экспертов, произвольно, равномерно и т.п.) весовые коэффициенты дифференциальных оценок с выполнением условия нормирования (сумма коэффициентов равна 1).

Для решения задачи выбора эффективных средств формирования и контроля компонентной структуры (элементов) ДК предлагается использовать введенную в главе 1 уровневую модель формирования и оценивания компетенции. Это позволит, в частности, регуляризовать структуру и обеспечить требуемые качественные характеристики тестовых заданий проверки уровня освоения элементов ДК, уменьшить вычислительную сложность и трудоемкость решения поставленной задачи.

Для оценки компетенций и составляющих их дисциплинарных компетенций, их компонентов (знаний, умений, владений), а также элементов указанных компонентов в соответствии с выбранными средствами контроля предложено применить *интегро-дифференциальный критерий* (ИДК). Он позволяет за счет свертки дифференциальных оценок (или линейной функции полезности) получить интегральную оценку измеряемого обобщенного параметра. При этом одной из ключевых задач становится выбор весовых коэффициентов.

Для формализации решения частных задач выбора эффективных средств формирования и контроля элементов дисциплинарных компетенций представим структуру дисциплины в следующем виде. С точки зрения повышения эффективности управления качеством учебного процесса предлагается изучение

дисциплины организовывать по модульному принципу. В Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) в течение семестра средней длительностью 18 недель в рамках тематического плана дисциплины принято организовать 3 модуля одинаковой длительности, каждый из которых заканчивается промежуточной аттестацией и предполагает определенную логическую завершенность. Содержательная часть дисциплины (модуля) структурируются по разделам, в которых, в свою очередь, выделяются темы. В частном случае в одном модуле предполагается изучение одного раздела, хотя допустимо и другое распределение.

Тема дисциплины как основная содержательная единица осваивается разными видами аудиторной (АРС) и самостоятельной (СРС) работы студентов. Так, например, для инженерных направлений подготовки АРС складывается, как правило, из лекций (ЛК), практических занятий (ПЗ), лабораторных работ (ЛР). В той же области СРС может складываться из изучения теоретического материала (ИТМ), подготовки рефератов (РФ), докладов (Д), индивидуальных заданий по темам практических занятий (ИЗ), защиты лабораторных работ (ЗЛР), курсового проектирования (КП). Каждый из указанных видов работы может быть использован для формирования одного или нескольких компонентов компетенции. Для упрощения дальнейшего анализа примем следующие допущения (без потери обобщения полученных результатов):

- каждый вид АРС или СРС участвует в формировании только одного компонента компетенции (З или У или В);
- каждое средство контроля применяется для проверки уровня освоения ЭДК, принадлежащих одному компоненту компетенции.

Введем понятие тест знаний (ТЗ), тест умений (ТУ), тест владений (ТВ) как средств контроля, которые позволяют проверить соответствующий компонент компетенции.

Компонентная структура дисциплинарной компетенции (число элементов каждого компонента) тоже имеет количественные параметры. Рекомендованное соотношение числа элементов компонентов, принятое в ПНИПУ: «Знать» – 3-4,

«Уметь» – 2-3, «Владеть» – 1-2, но может быть изменено как в меньшую, так и в большую стороны. Таким образом, при участии одной дисциплины в формировании 3-х компетенций общее число (для всех ДК) элементов «Знать» может быть, например, 12, «Уметь» – 6, «Владеть» – 3. Формулировка элементов подбирается преподавателем, ведущим дисциплину, в увязке с дескрипторами компетенции (требованиями к результатам ее освоения). Каждый из элементов должен быть обеспечен соответствующими видами формирования и средствами контроля.

Для анализа покрытия средствами формирования и контроля элементов дисциплинарных компетенций строятся таблица (или таблицы) соответствия вида (таблица 4.1.1), в которой приняты следующие условные обозначения:

{ДК} – набор дисциплинарных компетенций, закрепленных за конкретной дисциплиной, и их элементов (ЭДК);

СФ – средства формирования (виды аудиторной и самостоятельной работы);

АРС – виды аудиторной работы студентов (ЛК, ПЗ, ЛР и т.д.);

СРС – виды самостоятельной работы студентов (ИТМ, ДЗ, ЗЛР, КП и т.д.);

СК – средства контроля (проверки) («классические» тесты, «функциональные» («видовые») тесты, увязанные с видом занятий (например, проверка ДЗ, защита ЛР), оценивание докладов, рефератов, защита курсового проекта и т.д.);

l, m, n – количество элементов компонентов «Знать», «Уметь», «Владеть» соответственно, суммарно по всем ДК, задаются при формировании компонентной структуры дисциплинарных компетенций;

$S_{АРС}, S_{СРС}, S_{СК}$ – количество видов АРС, СРС и СК соответственно, определяются структурой дисциплины.

В таблице 4.1.1 символом «+» отмечены СФ и СК, участвующие в формировании (контроле) соответствующего элемента компетенции.

Рассмотрим далее на обобщенном примере, с учетом введенных выше допущений, применение ИДК для оценки результатов контроля компонента «Знать»

с количеством элементов l , который проверяется средствами контроля количеством L .

Таблица 4.1.1 – Таблица соответствия способов и средств формирования и контроля ЭДК

		СФ								СК			
		АРС				СРС							
	ЭДК	АРС ₁	АРС ₂	...	АРС _{S АРС}	СРС ₁	СРС ₂	...	СРС _{S СРС}	СК ₁	СК ₂	...	СК _{S СК}
{ДК ₁ }	З ₁	+		...		+		...		+		...	
	З ₂	+		...		+		...		+		...	

	З _l			...				...				...
{ДК ₂ }	У ₁			...				...				...
	У ₂		+	...			+	...			+	...	

	У _m		+	...			+	...			+	...	
{ДК ₃ }	В ₁			...	+			...	+			...	+
	В ₂			...				...				...

	В _n			...	+			...	+			...	+

Тогда возможны следующие варианты покрытия:

1. $l = L$, когда каждый проверяемый элемент контролируется своим тестом. При реализации подобного подхода считаем, что другие элементы незначительно влияют на результаты тестирования. Данное требование усложняет процедуру построения тестов, но при этом достигается максимальная точность локализации результата проверки. Фрагмент таблицы покрытия представляет собой квадратную диагональную матрицу.

2. $l > L$, когда какое-то количество тестов покрывает (проверяет) более одного элемента, т.е. на результат тестирования влияет более одного элемента. В этом случае имеет место минимальное количество тестов, но более трудно выполнить задачу дешифрации результатов тестирования. Для увеличения глубины локализации необходимо либо усложнить процедуру дешифрации, либо изменить количество и структуру тестов, сведя ситуацию к случаю 1 ($l = L$).

3. $l < L$, когда какое-то количество элементов покрывается (проверяется) более чем одним тестом. При этом количество тестов максимально, а результат тестирования, как и в предыдущем случае, трудно дешифровать, поскольку неяс-

но, какая часть элемента контролируется каждым тестом. Для решения этой проблемы можно разбить элемент на составляющие, доведя неравенство до случая 1.

Для случая 2 и 3 возникает задача подбора значений весовых коэффициентов дифференциальных оценок при применении ИДК для оценки элементов дифференциальной компетенции.

4.1.2. Применение интегро-дифференциального критерия для оценки элементов дифференциальных компетенций

В основу ИДК положен линейный критерий оценивания, который дает достаточно точные результаты и позволяет решить частные задачи контроля («сдал – не сдал»), дифференциального оценивания (согласно выбранной шкале), а также в рамках самопроверки студентом для выявления элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения. Одной из основных проблем является подбор значений весовых коэффициентов дифференциальных оценок в составе интегральной. Это проблема актуальна еще и потому, что ИДК применяется на всех уровнях оценки результатов обучения: виды работы (аудиторная и самостоятельная); элементы дисциплинарных компетенций (то, что студент должен знать, уметь и опытом практического применения каких навыков владеть); дисциплинарные компетенции; компетенции; интегральная оценка уровня освоения компетенций, приобретенных за весь период обучения.

Оценка может быть использована как самостоятельный результат проверки (тестирования) или расчета ИДК, а также может быть привязана к уровню шкалы. В первом случае оценка «О» может представлять собой *непрерывную* (как результат расчета) или *дискретную* (например, как процент правильно выполненных задач) величину. Во втором случае оценка « \tilde{O} » является дискретной величиной, размерность которой определяется выбранной шкалой.

Цифровой эквивалент оценки « \tilde{O} » определяется фактическим значением результата «О» путем соотнесения его с тем или иным уровнем шкалы в соответствии с принятым алгоритмом оценивания (аналогично алгоритму квантования). Выбор шкалы оценивания – отдельная важная и сложная проблема, решаемая по-разному в различных системах образования.

Например, для условий: $O \in [0, 1]$, $\tilde{O} \in \{2, 3, 4, 5\}$, алгоритм оценивания может быть следующий:

$$O = \begin{cases} 0 \dots 0,25 \\ 0,26 \dots 0,5 \\ 0,51 \dots 0,75 \\ 0,76 \dots 1 \end{cases}, \tilde{O} = \begin{cases} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{cases}.$$

Оценка O применяется в расчете ИДК на всех уровнях оценивания. Оценка \tilde{O} применяется для различных видов текущей, промежуточной и итоговой аттестации. Для расчета ИДК ее использование нецелесообразно, поскольку накопленная погрешность округления может существенно повлиять на точность расчетов.

Приведем пример формирования ИДК оценки произвольного элемента дисциплинарной компетенции:

$$O(\mathcal{E}_i) = \lambda_{i1} \cdot O(\text{ТЭ}_1) + \lambda_{i2} \cdot O(\text{ТЭ}_2) + \dots + \lambda_{ij} \cdot O(\text{ТЭ}_j) + \dots + \lambda_{iN} \cdot O(\text{ТЭ}_N), \quad (4.1.1)$$

где $O(\mathcal{E}_i)$ – оценка элемента \mathcal{E}_i ; $O(\text{ТЭ}_j)$ – оценка теста элемента ТЭ_j , который входит в список тестов, проверяющих элемент \mathcal{E}_i ; λ_{ij} – весовой коэффициент теста ТЭ_j оценки элемента \mathcal{E}_i ; N – количество тестов. Оценки элементов и тестов нормализованы в диапазоне $[0 \div 1]$. Независимо от количества уровней шкалы оценок для весовых коэффициентов обязательно соблюдается условие нормирования – их сумма равна 1. Далее рассмотрим предлагаемый подход к расчету весовых коэффициентов ИДК.

4.1.3. Разработка методики расчета весовых коэффициентов интегрально-дифференциальной оценки уровня освоения элементов дисциплинарной компетенции

В качестве нулевой итерации определения весовых коэффициентов можно взять их равномерное распределение. Это означает, что все весовые коэффициенты в составе одной интегральной оценки одинаковы и равны $1/N$, N – количество дифференциальных оценок в составе интегральной оценки. Однако часто равномерное распределение не отражает реальную важность (вклад в итоговый результат) каждого оцениваемого элемента, поэтому их вес может быть пере-

смотрен. Рассмотрим пример определения весовых коэффициентов для оценки элементов дисциплинарной компетенции с учетом их реальной важности.

Для первой итерации вычисления весовых коэффициентов оценок элементов ДК (З, У, В) соответствующих средств контроля предлагается использовать таблицы соответствия тестов и проверяемых ими элементов ДК (таблица 4.1.1). Анализ таблиц соответствия позволяет при вычислении интегральной оценки элемента задать весовые коэффициенты дифференциальных оценок средств контроля в зависимости от их участия в вычислении других интегральных оценок. Этим подчеркивается важность средства контроля – чем в большем количестве проверок он участвует, тем больше должен быть его вес в вычислении каждой из интегральных оценок элементов ДК. Однако указанное является причиной увеличения сложности локализации недостаточно освоенного ЭДК, поэтому такой неравномерный способ покрытия (недиагональный вид таблицы) удобен для решения задач обнаружения ЭДК с недостаточным уровнем освоения.

В таблице диагностирования добавляется столбец «ПЭ», который показывает покрытие элемента Э тестами элементов ТЭ. Значения его ячеек должны быть больше 0 и при корректно построенных тестах иметь примерно равномерное распределение. Также добавляется строка «ПТ», которая показывает покрытие каждым тестом ТЭ определенного количества элементов Э. Значения его ячеек должны быть больше 0 и при корректно построенных тестах иметь примерно равномерное распределение.

Введем обобщенные характеристики предложенного метода вычисления.

1. Количество таблиц соответствия определяется числом компонентов всех формируемых дисциплиной ДК (в общем случае все три – знания, умения, владения).

2. Количество уравнений определяется числом элементов каждого компонента ДК (l – «знать», m – «уметь», n – «владеть»).

3. Количество переменных (весовых коэффициентов) в каждом уравнении находится в диапазоне $[1, S]$, где S – количество тестов, контролирующих данный вид элементов (L – «знать», M – «уметь», N – «владеть»).

4. Обобщенная неизвестная x означает единичное покрытие, т.е. участие одного теста в проверке одного элемента.

5. Значение переменных (весовых коэффициентов) находится в диапазоне:

– для равнозначных тестов (важность результатов теста для каждого контролируемого элемента одинакова): $[0, W_j] \cdot x$, где W_j – количество элементов, контролируемых тестом $TЭ_j$, $W_j \in [1, r]$, r – количество элементов (l, m, n соответственно);

– для неравнозначных тестов (важность результатов теста $TЭ_j$ для каждого контролируемого элемента варьируется от 1 до Z): $[0, Z \cdot W_j] \cdot x$.

6. Уравнения для расчета весовых коэффициентов в обобщенном виде:

$$\sum_{j=1}^L \lambda_{ij} = \sum_{j=1}^L A_{ij} \cdot W_j \cdot x = 1, i \in [1, l], \quad (4.1.2)$$

где λ_{ij} – весовые коэффициенты компонентов ДК (заменяемые в ИДК на α – для «знать», β – для «уметь», γ – для «владеть»); W_j – количество элементов, контролируемых тестом $TЭ_j$; A_{ij} – числовое значение важности (значимости) теста $TЭ_j$ для проверки элемента $Э_i$ (0, если тест $TЭ_j$ не входит в проверку элемента $Э_i$, 1 – для равнозначных тестов, $[1, Z]$ – для неравнозначных тестов).

Ниже приводятся основные этапы методики расчета весовых коэффициентов интегро-дифференциальной оценки уровня освоения ЭДК:

1. Построить таблицы соответствия для всех реализуемых в дисциплине компонентов ДК и выполнить покрытие таблиц (A_{ij}) , т.е. определить участие тестов в контроле каждого элемента, и при необходимости задать важность каждого теста (вместо символа покрытия ввести число от 1 до Z).

2. Рассчитать покрытие каждого теста ПТ (W_j) и покрытие каждого элемента ПЭ (V_i).

3. Построить ИДК оценки элементов $Э_i$ в общем виде (4.1.1).

4. Записать в обобщенном виде систему уравнений вида (4.1.2).

5. Выполнить расчет весовых коэффициентов λ_{ij} (α, β или γ соответственно).

6. Построить ИДК с конкретными значениями весовых коэффициентов.

Рассмотрим пример вычисления весовых коэффициентов дифференциальных оценок средств контроля элементов компонента «Знать».

1. Построим таблицу соответствия (таблица 4.1.2). В ней $l = 4$ элемента компонента «Знать» контролируются $L = 3$ средствами контроля (тестами знаний – ТЗ).

Таблица 4.1.2 – Пример таблицы соответствия

	ТЗ ₁	ТЗ ₂	ТЗ ₃	ПЭ (V)
З ₁	+	+	+	3
З ₂	+		+	2
З ₃		+		1
З ₄		+	+	2
ПТ (W)	2	3	3	8

2. Рассчитаем покрытие каждого теста ПТ (W_j) и покрытие каждого элемента ПЭ (V_i), результаты расчета занесем в соответствующие строки и столбцы таблицы 4.1.2.

3. Согласно интегро-дифференциального критерия (4.1.1), составим формулы определения интегральных оценок элементов $O(Z)_i$ ($i \in [1 \div 4]$) по дифференциальным оценкам тестов $O(TZ)_j$ ($j \in [1 \div 3]$):

$$O(Z)_1 = \alpha_{11} \cdot O(TZ)_1 + \alpha_{12} \cdot O(TZ)_2 + \alpha_{13} \cdot O(TZ)_3;$$

$$O(Z)_2 = \alpha_{21} \cdot O(TZ)_1 + \alpha_{23} \cdot O(TZ)_3;$$

$$O(Z)_3 = \alpha_{32} \cdot O(TZ)_2;$$

$$O(Z)_4 = \alpha_{42} \cdot O(TZ)_2 + \alpha_{43} \cdot O(TZ)_3.$$

4. Для весовых коэффициентов выполняется условие нормирования

$$\sum_{j=1}^L \alpha_{ij} = 1, i \in [1, l], \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} = 1, i \in [1, 4].$$

Из анализа таблицы 4.1.2 для вычисления интегральной оценки $O(Z)_1$ очевидно, что веса оценок тестов ТЗ₂ и ТЗ₃ должны быть больше, чем вес оценки теста ТЗ₁. Это следует из того, что тесты ТЗ₂ и ТЗ₃ входят в контроль трех элементов, а тест ТЗ₁ – только двух.

5. Введем переменную x как значение единичного покрытия – участия теста в проверке одного элемента. Тогда записав условие нормирования (4.1.2) с учетом результатов п. 3а и приняв $\alpha_{11} = 2 \cdot x$, $\alpha_{12} = 3 \cdot x$, $\alpha_{13} = 3 \cdot x$, получим:

$$2 \cdot x + 3 \cdot x + 3 \cdot x = 1, x = 1/8.$$

Выполнив окончательный расчет, получим значения весовых коэффициентов дифференциальных оценок тестов для вычисления интегральной оценки элемента Z_1 : $\alpha_{11} = 1/4 = 0.25$, $\alpha_{12} = \alpha_{13} = 3/8 = 0.375$. Условие нормирования выполняется, а также выполняется условие прямой зависимости весовых коэффициентов дифференциальных оценок от важности (участия) соответствующих тестов в формировании интегральной оценки. Аналогично определяются значений остальных весовых коэффициентов:

$$\text{для } Z_2: 2 \cdot x + 3 \cdot x = 1, x = 1/5, \alpha_{21} = 2/5 = 0.4, \alpha_{23} = 3/5 = 0.6;$$

$$\text{для } Z_3: 3 \cdot x = 1, x = 1/3, \alpha_{32} = 1;$$

$$\text{для } Z_4: 3 \cdot x + 3 \cdot x = 1, x = 1/6, \alpha_{42} = 1/2 = 0.5, \alpha_{43} = 1/2 = 0.5.$$

6. Система оценок для ИДК может быть записана в виде:

$$O(Z)_1 = 1/4 \cdot O(TЗ)_1 + 3/8 \cdot O(TЗ)_2 + 3/8 \cdot O(TЗ)_3;$$

$$O(Z)_2 = 2/5 \cdot O(TЗ)_1 + 3/5 \cdot O(TЗ)_3;$$

$$O(Z)_3 = O(TЗ)_2;$$

$$O(Z)_4 = 1/2 \cdot O(TЗ)_2 + 1/2 \cdot O(TЗ)_3.$$

Таким образом, получается первая итерация для формирования значений весовых коэффициентов дифференциальных оценок всех уровней. На следующем этапе (второй итерации вычислений) весовые коэффициенты могут быть скорректированы, например, экспертами с учетом дополнительного фактора важности дисциплин. При этом условие нормирования должно обязательно выполняться.

Заполнение таблицы покрытия может быть выполнено с учетом различной важности тестов при проверке конкретных элементов. При этом в качестве значений ячеек могут фигурировать, например, цифры, которые показывают важность результатов теста $TЭ_j$ при проверке элемента $Э_i$. Это позволит увеличить вклад оценки того теста, который по каким-либо причинам (экспертом, формой теста, использованием новых технологий тестирования и т.п.) признан более важным.

Например, если значение ячейки (2,1) установить равным 2, подчеркнув повышенную важность результатов теста TZ_1 для расчета оценки Z_2 , то расчет весовых коэффициентов оценок тестов при проверке элемента Z_2 будет выглядеть так:

$$\text{для } Z_2: 2 \cdot 2 \cdot x + 3 \cdot x = 1, x = 1/7, \alpha_{21} = 4/7 = 0.57, \alpha_{23} = 3/7 = 0.43,$$

что означает перераспределение вклада весовых коэффициентов: 0.57 и 0.43 против 0.4 и 0.6 из ранее рассмотренного примера.

Параметр ПЭ может быть использован для анализа матрицы покрытия, например, полноты, равномерности либо обоснования неравномерности распределения элементов и т.д.

Предложенный подход позволит формализовать процедуру оценки уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций, и далее, с использованием интегро-дифференциального критерия, – части компетенции и самой компетенции. Например, оценка уровня освоения дисциплинарной компетенции с учетом ИДК строится следующим образом:

$$\begin{aligned} O(\text{ДК}) &= \alpha \cdot \sum_{i=1}^l \alpha_i \cdot O(Z_i) + \beta \cdot \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot O(Y_i) + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot O(B_i) = \\ &= \alpha \cdot \sum_{i=1}^l \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^{l_i} \alpha_{ij} \cdot O(TZ_j^i) + \beta \cdot \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot \sum_{j=1}^{m_i} \beta_{ij} \cdot O(TY_j^i) + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \sum_{j=1}^{n_i} \gamma_{ij} \cdot O(TB_j^i), \end{aligned} \quad (4.1.3)$$

где α, β, γ – экспертные весовые коэффициенты соответствующих компонентов данной дисциплинарной компетенции; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – экспертные весовые коэффициенты соответствующих элементов данной дисциплинарной компетенции; $\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}$ – экспертные весовые коэффициенты определяющих дифференциальные оценки тестов элементов (средств контроля) ДК; l_i, m_i, n_i – количество тестов (форм контроля), участвующих в формировании дифференциальной оценки i -ого элемента компетенции.

При изменении компонентной структуры дисциплинарной компетенции (добавлении/удалении элемента или объединении/разделении элементов одного уровня или изменении связей между элементами уровневой модели) происходит возврат на первую итерацию. В результате этого перестраиваются таблицы по-

крытия, и далее определяются новые значения весовых коэффициентов, в дальнейшем при необходимости корректируются экспертами и т.д.

Предлагаемые 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.

4.2. Разработка методики анализа количественной оценки результатов подготовки, представленных в компетентностном формате

Проблема выбора эффективных способов формирования и особенно средств и методов контроля уровня освоения результатов обучения является на сегодняшний момент актуальной и нерешенной вследствие большой размерности, взаимовлияния многих факторов и сложности формализованного представления задачи. Решение указанных задач позволит разработать и внедрить в составе соответствующей автоматизированной информационной системы формализованный аппарат описания методов и средств управления и контроля качества обучения. Это не только актуально для реализации текущего, промежуточного и рубежного контроля успеваемости по конкретной дисциплине, но и важно для организации эффективного самоконтроля студентами самостоятельной работы, объем и роль которой в современных образовательных программах значительно увеличились.

Оценка результатов обучения, представленных в компетентностном формате, – сложная задача, поскольку производится на протяжении всех этапов обучения (компетенция в общем случае может формироваться в нескольких дисциплинах и разделах образовательной программы). Поэтому важно получить адекватные (валидные) оценки составляющих частей компетенций по результатам их промежуточного, рубежного и итогового в рамках каждого шага. Для формирования количественной оценки каждого уровня (элементов, компонентов, дисциплинарных компетенций, компетенций) предложено использование аддитивного ин-

тегро-дифференциального критерия оценки (АИДКО), построенного по результатам тестового диагностирования указанных объектов контроля. Линейный формат АИДКО требует анализа влияния каждой дифференциальной оценки (результата реализации конкретного теста) на интегральную оценку (уровень освоения ЭДК). При этом возникает задача анализа путей достижения желаемых (заданных, пороговых, граничных и т. п.) результатов освоения фрагментов учебного материала (и соответствующих проверок) для достижения необходимого (заданного) уровня освоения ЭДК. В настоящем разделе предложены общие подходы (в рамках предложенного ИДК) к количественной оценке результатов тестового диагностирования уровня обучения, заданных в компетентностном формате [58].

4.2.1. Анализ обобщенной структуры АИДКО уровня освоения компетенций и их составляющих

В данном разделе решаются следующие частные задачи количественной оценки результатов тестирования и применения аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки уровня освоения ЭДК:

- оценка влияния дифференциальных составляющих на интегральную оценку;
- определение путей повышения интегральной оценки за счет коррекции дифференциальных оценок после реализации корректирующих мероприятий и повторной сдачи тестов.

В соответствии с аддитивным интегро-дифференциальным критерием оценки компетенций и их составляющих уровень освоения элемента определяется как линейная свертка результатов дешифрации подачи тестов и в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$O(\mathcal{E}_i) = O_i = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot O(T_{ij}) = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot O_{ij}, \quad (4.2.1)$$

где $O(\mathcal{E}_i) = O_i$ – результат освоения элемента \mathcal{E}_i ; λ_{ij} – весовой коэффициент результата теста T_{ij} (показатель важности, который показывает вклад данного результата в общую интегральную оценку; если тест T_j не участвует в контроле элемента \mathcal{E}_i , то весовой коэффициент $\lambda_{ij} = 0$); $O(T_{ij}) = O_{ij}$ – результат проверки

элемента \mathcal{E}_i тестом T_j ; H – количество тестов, контролирующих элемент \mathcal{E}_i . Для весовых коэффициентов АИДКО уровня освоения одного ЭДК выполняется условие нормирования:

$$\sum_{j=1}^H \lambda_{ij} = 1. \quad (4.2.2)$$

Примем, что интегральная функция является функцией H независимых переменных (результатов соответствующих независимых проверок), поэтому по каждой переменной можно определить частную производную:

$$\partial O_i / \partial O_{ij} = \lambda_{ij}, \quad (4.2.3)$$

что соответствует смыслу весового коэффициента – характеристика (скорость) изменения интегральной оценки при изменении одной дифференциальной оценки. Можно также указать, что весовой коэффициент λ_{ij} (с учетом введенного условия нормирования (4.2.2) показывает, какую долю занимает дифференциальная оценка O_{ij} в интегральной оценке O_i на данном множестве тестов $\{T_j\}$.

После проведения тестирования, дешифрации результатов, построения АИДКО и расчета интегральных оценок уровня освоения ЭДК проводится их анализ на соответствие заданным уровням шкалы оценивания. В простейшем случае может быть использована двухуровневая шкала – ЭДК освоен или не освоен. В случае отрицательного итогового результата требуется его улучшение за счет реализации корректирующих мероприятий (дополнительные занятия, самоподготовка и т. д.), после чего проводится повторное тестирование. При этом важно определить подходящее (например, точки зрения количества передаваемых тестов, организационной или технической сложности передачи, временных затрат студента и/или педагога и т.д.) количество и вид тестов. Указанная задача относится к сложным и слабоформализуемым задачам, решаемым при помощи полного перебора. Ниже предлагается способ сокращения полного перебора, позволяющий снизить вычислительную сложность алгоритма поиска решения.

Определение 1. Полное приращение (изменение) ΔO_i есть разность между новым результатом освоения элемента \mathcal{E}_i , полученным после реализации всех

корректирующих мероприятий и повторной сдаче тестов (O_i^*), и результатом освоения элемента \mathcal{E}_i , полученным после первичной реализации всех тестов (O_i):

$$\Delta O_i = O_i^* - O_i, \quad (4.2.4)$$

причем $\Delta O_i > 0$ является улучшением, а $\Delta O_i < 0$ – ухудшением результата.

Определение 2. Частное приращение (изменение) ΔO_{ij} есть разность между новым результатом проверки освоения элемента \mathcal{E}_i тестом T_j , полученным после реализации необходимых корректирующих мероприятий и повторного проведения теста T_j (O_{ij}^*), и текущим результатом проверки элемента \mathcal{E}_i тестом T_j , полученным после первичной реализации и дешифрации результата теста T_j (O_{ij}):

$$\Delta O_{ij} = O_{ij}^* - O_{ij}, \quad (4.2.5)$$

причем $\Delta O_{ij} > 0$ является улучшением, а $\Delta O_{ij} < 0$ – ухудшением результата.

Выразим полное приращение (изменение) результата ΔO_i (и соответственно полный дифференциал dO_i) через частные приращения ΔO_{ij} :

$$\Delta O_i = \sum_{j=1}^H \frac{\partial O_i}{\partial O_{ij}} \cdot \Delta O_{ij} = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij}, \quad (4.2.6)$$

$$dO_i = \sum_{j=1}^H \frac{\partial O_i}{\partial O_{ij}} \cdot dO_{ij} = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot dO_{ij}, \quad (4.2.7)$$

определив таким образом зависимость изменения интегральной оценки от изменения каждой составляющей ее дифференциальной оценки. Значение полного приращения является объектом анализа, на основании которого принимается решение о необходимости улучшения уровня освоения ЭДК, определяются составляющие, качество освоения которых необходимо повысить, и далее проводится выбор соответствующих корректирующих мероприятий. Алгоритм сокращения полного перебора основывается на выборе количества и конкретных дифференциальных составляющих (соответствующих определенным разделам, темам дисциплины, видам занятий и т.д.), уровень освоения которых необходимо улучшить.

Для анализа результата итоговой оценки можно сформулировать три подхода к решению поставленной частной задачи, уменьшающих вычислительную сложность алгоритма полного перебора (с учетом заданных (определенных, на-

значенных) значений весовых коэффициентов и соответствующей системы ограничений).

1. Проводятся все контролирующие мероприятия, анализ текущего итогового результата освоения элемента и, при необходимости, принятие решения о его коррекции. Затем задается желаемое значение полного приращения ΔO_i и путем моделирования (методами подбора, перебора или расчета) определяется, какими ΔO_{ij} можно это обеспечить, какие корректирующие мероприятия должны быть проведены и какие ресурсы для этого должны быть задействованы, какие средства контроля должны быть использованы.

2. Задаются значения ΔO_{ij} (одно или несколько) и путем моделирования (расчета) определяется, как изменения различных дифференциальных оценок повлияет на результат ΔO_i . Если считать, что изменяется только один результат, то справедливо:

$$\Delta O_i = \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} \text{ при } \forall \Delta O_{ik} = 0, k \in [1, h], k \neq j. \quad (4.2.8)$$

Влияние результата ΔO_{ij} задается его весовым коэффициентом λ_{ij} и определяет направленность перебора – очевидно, чем он больше, тем существеннее повлияет изменение данной дифференциальной оценки на интегральную. Это может быть учтено при выборе оценки, которую необходимо скорректировать для максимального эффекта в увеличении итогового результата. При этом учитывается только «математическая эффективность», а ведь возможны дополнительные ограничения – например, время дополнительных занятий, занятость преподавателя, загруженность машинного класса для тестирования и т. д., которые также формализуются или оцениваются экспертно. Эти ограничения могут привести к отказу от выбора коррекции максимально значимой оценки и перехода к анализу других, менее важных, но проще корректируемых с организационно-технической точки зрения оценок.

3. Выбирается наименее ресурсоемкий вид дополнительных занятий (требующий наименьших ресурсных затрат), соответствующие ему средства контроля, рассчитывается (прогнозируется) изменение ΔO_{ij} , затем ΔO_i и, наконец, результат O_i . Это позволяет решить проблему, указанную в п. 2, но может потребо-

вать коррекции не одного, а нескольких менее значимых, с точки зрения важности (весовых коэффициентов), но и менее ресурсоемких, результатов проверки. Причем для преподавателя и студента рассматриваются разные ресурсы.

При реализации указанных подходов необходимо учитывать, что для каждой дифференциальной оценки должно быть задано минимальное пороговое значение, ниже которого результат не может быть принят. Это означает организационное введение *мультипликативности* в аддитивный интегро-дифференциальный критерий, и при подборе учитывается как необходимое условие.

Сложность решения поставленной частной задачи вызывает задание системы ограничений, поскольку учитывается достаточно большое количество слабоформализуемых параметров (технических, кадровых, временных и т.п. ресурсов). Указанные задачи могут быть решены преподавателем вручную, но для полноценного и эффективного решения необходимо учитывать эти факторы (ограничения) экспертными поправками весовых коэффициентов (λ_{ij}^*) в составе информационного обеспечения автоматизированной системы сопровождения учебного процесса.

4.2.2. Формализованная оценка влияния дифференциальной составляющей (результата теста) на интегральный результат, характеризующий уровень освоения ЭДК

Дадим количественную оценку влияния одного результата тестирования O_{ij} на оценку уровня освоения соответствующего элемента O_i . Если $\Delta O_{ij} = O_{ij}^* - O_{ij}$ есть частное приращение (изменение) результата проверки тестом T_j элемента \mathcal{E}_i , тогда полное приращение (изменение) ΔO_i результата определения уровня освоения элемента \mathcal{E}_i при изменении результата проверки тестом T_j и фиксированных значениях результатов других тестов ($\forall l \neq j \Delta O_{il} = 0$) определяется так:

$$\begin{aligned} \Delta O_i &= O_i^* - O_i = \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij} = \lambda_{ij} \cdot (O_{ij}^* - O_{ij}) \Rightarrow \\ O_i^* &= O_i + \lambda_{ij} \cdot (O_{ij}^* - O_{ij}) = O_i + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij}. \end{aligned} \quad (4.2.9)$$

Таким образом, можно моделированием (расчетом) при заданном значении коррекции результата тестирования ΔO_{ij} рассчитать новую оценку O_i^* , или наобо-

рот, определить, насколько нужно изменить (улучшить) результат ΔO_{ij} , чтобы изменить (улучшить) оценку O_i^* на заданную величину.

Определим \min и \max значения результата O_i^* в предположении, что от повторной проверки он не ухудшится ($\Delta O \geq 0$):

$$O_{i \min}^* = O_i + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij \min} = O_i; \quad (4.2.10)$$

($\Delta O_{ij} = 0$, результат не изменился);

$$O_{i \max}^* = O_i + \lambda_{ij} \cdot \Delta O_{ij \max} = O_i + \lambda_{ij} \cdot (1 - O_{ij}); \quad (4.2.11)$$

$$(O_{ij \max}^* = 1).$$

Для решения задач моделирования при прогнозировании результатов применения интегро-дифференциального критерия можно задавать желаемое или оценивать имеющееся изменение результатов дифференциальных составляющих (в разгах – $K > 0$ или в процентах – $K\% > 0$), а затем рассчитать, как это скажется на интегральной функции (с обязательной проверкой выполнения условий нормирования в заданном диапазоне). Например,

$$K = 1 + K\% / 100 = O_{ij}^* / O_{ij} = (O_{ij} + \Delta O_{ij}) / O_{ij} = 1 + \Delta O_{ij} / O_{ij}, \quad (4.2.12)$$

$$\Delta O_{ij} = O_{ij} \cdot (K - 1) = O_{ij} \cdot K\% / 100. \quad (4.2.13)$$

Моделирование и прогнозирование наиболее эффективно только в рамках применения автоматизированной системы сопровождения учебного процесса.

Как было показано выше, результат теста может быть использован при расчете АИДКО уровня освоения ЭДК только при превышении заданного порогового значения θ (условие организационной мультипликативности). В этом случае будем считать результат теста положительным ($O_{ij} \geq \theta$), а в противном случае – отрицательным ($O_{ij} < \theta$). С учетом АИДКО (1) минимальное значение интегрального результата $O_{i \min}$ при минимально допустимых значениях дифференциальных результатов ($O_{ij \min} = \theta; j \in [1; H]$) определяется так:

$$O_{i \min} = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot O_{ij \min} = \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} \cdot \theta = \theta \cdot \sum_{j=1}^H \lambda_{ij} = \theta. \quad (4.2.14)$$

Таким образом, допустимое для анализа значение уровня освоения ЭДК $O_i \in [\theta; 1]$. Оговорим, что указанное пороговое значение θ может отличаться от по-

рогового значения принятия решения о степени освоения ЭДК η , поскольку они могут иметь разный физический смысл. Например, минимально допустимый положительный результат теста $\theta = 0,25$ показывает, что учебный материал, контролируемый данным тестом, должен быть освоен минимум на 25 % (более четверти ответов на тестовые задания должны быть правильными). В свою очередь, решение о том, освоен ЭДК или нет, может приниматься по пороговому значению $\eta = 0,5$. С учетом изложенного для коррекции интегрального результата выбираются те фрагменты учебного материала, которые соответствуют отрицательным результатам тестов, и среди них выполняется направленный перебор.

Пример 1. Предположим, что элемент \mathcal{E}_1 контролируется тестами T_1, T_2, T_3 . Уровень освоения элемента \mathcal{E}_1 определяется в соответствии с (4.2.1) следующим образом:

$$O_1 = \lambda_{11} \cdot O_{11} + \lambda_{12} \cdot O_{12} + \lambda_{13} \cdot O_{13}.$$

Пусть весовые коэффициенты определены, например, способом, предложенным в [2], и равны: $\lambda_{11} = 0,2$; $\lambda_{12} = 0,5$; $\lambda_{13} = 0,3$. Тогда ИДК оценки уровня освоения элемента \mathcal{E}_1 представлен в виде:

$$O_1 = 0,2 \cdot O_{11} + 0,5 \cdot O_{12} + 0,3 \cdot O_{13}.$$

Заданные пороговые значения: $\theta = 0,3$ (тест дает положительный результат, если результат теста превышает 0,3); $\eta = 0,6$ (ЭДК считается освоенным, если ИДК превышает 0,6).

Предположим, в результате проведения тестирования (например, применения безусловных или условных алгоритмов диагностирования [3]) и декомпозиции результатов тестов были получены и зафиксированы в таблице диагностирования следующие результаты проверки, обозначенные как реакция ЭДК \mathcal{E}_i на тест $T_j - r_{ij}$: $O_{11} = 0,1$; $O_{12} = 0,4$; $O_{13} = 0,2$. Тогда ИДК определяется следующим образом:

$$O_1 = 0,2 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,48.$$

Поскольку $O_1 < \eta$ ($0,48 < 0,6$), то делается вывод о недостаточном уровне освоения элемента \mathcal{E}_1 . Очевидно, что указанный вывод сделан из-за отрицательных результатов тестов T_1 и T_3 . Для повышения оценки до положительной необ-

ходимо проведение корректирующих мероприятий, и затем – передача одного или нескольких соответствующих контролирующих тестов.

Для коррекции уровня освоения ЭДК Э₁ до минимального положительного результата нужно, чтобы для нового значения оценки O_1^* выполнялось условие: $O_1^* = \eta$. Следовательно, по (4.2.9) $\Delta O_1 = O_1^* - O_1 = 0,6 - 0,48 = 0,12$. Рассмотрим, как должны быть изменены (скорректированы) результаты каждого теста для заданного минимального значения ΔO_1 , а затем проанализируем возможности применения приведенных выше вариантов алгоритмов коррекции уровня освоения ЭДК. При этом в рамках изложенных в п. 2 общих подходов к решению задачи коррекции интегральной оценки путем изменения дифференциальных оценок возможны следующие варианты организации (с целью сокращения) перебора:

а) из тестов с отрицательными результатами выбирается *тест с самым большим весовым коэффициентом*, поскольку его результат, а также соответствующие и контролируемые им виды АРС и СРС, вносят максимальный вклад в общую оценку уровня освоения контролируемого ЭДК (в нашем примере Т₃):

$$\begin{aligned} \Delta O_1 &= \lambda_{13} \cdot \Delta O_{13} = 0,3 \cdot \Delta O_{13} = 0,12 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta O_{13} = 0,12 / 0,3 = 0,4; \\ O_{13}^* &= O_{13} + \Delta O_{13} \Rightarrow O_{13}^* = 0,2 + 0,4 = 0,6; \\ K &= O_{13}^* / O_{13} = 0,6 / 0,2 = 3; K_{\%} = (K - 1) \cdot 100 = \\ &= (3 - 1) \cdot 100 = 200 \%. \end{aligned}$$

Вывод: для того чтобы считать ЭДК Э₁ освоенным, необходимо провести корректирующие мероприятия по дополнительному изучению фрагмента дисциплины, контролируемого тестом Т₃, а затем провести повторное тестирование с результатом $O_{13}^* \geq 0,6$ (это означает, что уровень освоения соответствующего фрагмента дисциплины нужно поднять в $K = 3$ раза, т.е. на $K_{\%} = 200 \%$ – например, вместо 2 правильных ответа из 10 после повторной сдачи правильных ответов должно быть не менее 6). При этом примем, что результаты остальных тестов сохраняются неизменными.

Примечание. В рассматриваемом примере коррекции одного результата недостаточно, поскольку результат теста Т₁ тоже отрицательный ($O_{11} = 0,1 < \theta =$

0,3). Значит, его тоже нужно улучшать, повторно изучив соответствующий фрагмент учебного материала. В этом случае можно подобрать (вручную или с использованием автоматизированной системы) такие значения ΔO_{11} и ΔO_{13} , что в результате будут выполняться следующие условия: $O_{11}^* \geq \theta$, $O_{13}^* \geq \theta$, $O_1^* \geq \eta$ ($\Delta O_1 \geq 0,12$);

б) из тестов с отрицательными результатами выбирается *самая низкая оценка*, повторно изучается соответствующий фрагмент учебного материала и передается только данный тест (в нашем примере T_1):

$$\Delta O_1 = \lambda_{11} \cdot \Delta O_{11} = 0,2 \cdot \Delta O_{11} = 0,12 \Rightarrow \Delta O_{11} = 0,12 / 0,2 = 0,6;$$

$$O_{11}^* = O_{11} + \Delta O_{11} \Rightarrow O_{11}^* = 0,1 + 0,6 = 0,7;$$

$$K = O_{11}^* / O_{11} = 0,7 / 0,1 = 7; K\% = (K - 1) \cdot 100 = \\ = (7 - 1) \cdot 100 = 600 \%$$

Вывод: для того чтобы считать ЭДК \mathcal{E}_1 освоенным, необходимо провести корректирующие мероприятия по дополнительному изучению фрагмента дисциплины, контролируемого тестом T_1 , а затем провести повторное тестирование с результатом $O_{11}^* \geq 0,7$ это означает, что уровень освоения соответствующего фрагмента дисциплины нужно поднять в $K = 7$ раз, т.е. на $K\% = 600 \%$). При этом примем, что результаты остальных тестов сохраняются неизменными (с учетом примечания к варианту *а*);

в) для повторной передачи выбирается тест, соответствующий наименее ресурсоемкому фрагменту дисциплины (например, с точки зрения количества повторно изучаемого материала, наличия свободного времени для дополнительных занятий у отвечающего за данную часть учебного курса преподавателя, ресурсов лабораторной базы, организации тестирования и т. п.), осуществляется подготовка и передача;

г) в случае если в соответствии с (4.2.10) и (4.2.11) повторного изучения материала и коррекции соответствующего одного теста недостаточно, то выбираются два теста (и контролируемые ими фрагменты дисциплины), три и т. д. по соображениям, приведенным в пп. *а*, *б*, *в*. Также здесь необходимо учитывать соображе-

ния, связанные с индивидуальными возможностями студента. Например, для повышения интегральной оценки до порогового значения η выбранный для коррекции по вариантам *a*, *b* или *в* результат теста требуется повысить до 1, что означает 100 % выполнение тестового задания. Если это – трудновыполнимая задача даже для хорошо подготовленного студента, то в данном случае реальным выходом является вариант коррекции результатов нескольких (начиная с двух) тестов и дополнительное изучение соответствующих им фрагментов учебного материала.

В завершении отметим, что решение поставленной задачи тем сложнее, чем больше вводится дополнительных ресурсных ограничений (временных, материально-технических, кадровых, организационных и т. п.). Также необходимо, чтобы все результаты проверки уровня освоения каждого ЭДК на всех тестах были не ниже заданного минимального (порогового) уровня. Предлагаемые соотношения, методы и алгоритмы позволяют формализовать процедуру корректной оценки результатов текущего и рубежного контроля уровня освоения ЭДК и являются необходимым компонентом при разработке методического, информационного и алгоритмического обеспечения автоматизированной информационной системы управления и контроля качества учебного процесса.

4.3. Разработка методики применения многоуровневых шкал оценивания результативности подготовки

4.3.1. Общие рекомендации и выводы по выбору шкалы оценивания

Обозначим область применения многоуровневых шкал на разных этапах оценивания результатов реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ:

1. По дисциплине:

– *Текущая аттестация* предназначена для оперативного контроля уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций по результатам реализации контролируемых мероприятий (средства контроля: тестирование, опрос, реферат, доклад, индивидуальное задание по тематике практических занятий или лабора-

торных работ, и т.д.). Текущая аттестация позволяет оценить динамику освоения ЭДК, а также личностные качества студента (прилежность, ответственность, добросовестность и т.п.). Важным является то, что текущая аттестация позволяет проводить контроль практически в режиме «реального времени» («онлайн»), потому что реализуется непосредственно после проведенных соответствующих форм аудиторной и самостоятельной работы студентов. Поэтому на данном этапе эффективным представляется детализированный контроль с поиском недостаточно освоенных элементов и компонентов дисциплинарных компетенций, а также определение и проведение соответствующих корректирующих мероприятий «по горячим следам». Значит, на данном этапе обоснованным является использование шкал с небольшим количеством уровней (например, два или три), что является достаточным для оценочного характера данной аттестации.

– Промежуточная аттестация проводится по окончании структурной единицы дисциплины или раздела (*модуля*). Модуль характеризуется законченностью изучения определенного фрагмента учебного материала (темы или связанной группы тем), а также проведением соответствующих форм аудиторной (лекций, практических занятий, лабораторных работ и т.д.) и самостоятельной работы (например, в форме индивидуального комплексного задания по модулю). Они, как правило, направлены на формирование части элементов дисциплинарных компетенций. Поэтому по результатам промежуточного контроля, проводимого, в основном, с использованием оценивания комплексного индивидуального задания, необходимо определить уровень освоения сформированных элементов дисциплинарных компетенций и, возможно, всей дисциплинарной компетенции. Значит, эффективным представляется использованием многоуровневых шкал (например, с числом уровней 4, 7 или 9) для более точного оценивания и выбора объема и содержания дополнительного учебного материала для коррекции, поскольку в течение оставшегося времени изучения дисциплины это еще возможно выполнить.

– *Итоговая аттестация* проводится в форме зачета, экзамена или защиты курсового проекта (курсовой работы, индивидуального комплексного задания по дисциплине). На данном этапе определяется интегральная оценка закрепленных

за дисциплиной частей компетенций и их элементов. Она определяется по результатам указанных аттестационных испытаний, и с учетом информации, полученной по результатам промежуточных аттестаций. Поэтому, на наш взгляд, можно использовать шкалы с небольшим количеством уровней (например, 4 или 5), что будет достаточным для оценивания объектов вышележащего уровня (самой компетенции). Данный вид аттестации подходит также для оценивания результатов реализации разделов образовательной программы (практики и научно-исследовательская работа) и государственной итоговой аттестации из-за их интегрирующего характера.

Добавим, что выбор размерности шкалы оценивания может зависеть не только от вида аттестации, но и от других факторов, например, важность (значимость) компетенции (ее компонента или элемента) для всей образовательной программы, потенциального работодателя и т.п. В данном случае можно провести аналогию с адаптивным квантованием непрерывных величин. Для области значений, требующих детализированного рассмотрения, в нашем примере – компетенции повышенной значимости, квантование выполняется с меньшим шагом (большая размерность шкалы оценивания), и наоборот. Значимость компетенции задается в компетентностной модели выпускника и согласуется с требованиями работодателей и вуза. Она характеризуется заданным уровнем формирования (например, тремя: «пороговый», «продвинутый», «высокий»), который обуславливает объем и содержание формирующих компетенцию дисциплин. Также при использовании шкал оценивания разной размерности при представлении результатов оценивания обязательно необходимо указать свойства конкретной шкалы, по которой производилось оценивание данной компетенции. Это позволит заказчику более точно понять соответствие результатов обучения квалификационным требованиям, предъявляемым к выпускнику для решения определенных профессиональных задач.

4.3.2. Пример расчета интегральной оценки на одном из видов аттестационных испытаний с использованием алгебраических методов расчета

Рассмотрим пример оценивания результатов государственного экзамена одним испытуемым (выпускником). Предлагаемый подход легко и органично можно распространить на многие задачи оценивания (экзамен по дисциплине, защита отчета по практике, защита выпускной квалификационной работы и т.п.).

Исходные данные:

- формат экзаменационного задания (элементы задания: одна задача и три теоретических вопроса);
- шкала оценивания каждого элемента экзаменационного задания (пятиуровневая);
- шкала оценивания экзаменационного задания (пятиуровневая).

1 этап – оценивание *каждого элемента экзаменационного задания* каждым членом комиссии. Для иллюстрации в самых общих чертах опишем дескрипторы, по которым выставляется частная оценка:

- {1} – ответ на вопрос (решение задачи) не приведено (отсутствует);
- {2} – ответ на вопрос неполный, недостаточный (решение задачи неправильное; полнота ответа менее 40 %);
- {3} – ответ на вопрос поверхностный, неточный, с некритическими ошибками (решение задачи правильное, необоснованное, присутствуют неприципиальные ошибки; полнота ответа более 40 %, но менее 60 %);
- {4} – ответ на вопрос достаточно подробный, с замечаниями (решение задачи правильное, обоснованное, с замечаниями; полнота ответа более 60 %, но менее 80 %);
- {5} – ответ на вопрос подробный, полный, глубокий (решение задачи правильное, обоснованное; полнота ответа более 80 %).

2 этап – определение *интегральных оценок за каждый элемент* экзаменационного задания. В простейшем случае указанная процедура может быть выполнена усреднением частных экспертных оценок членов комиссии (нахождением

среднего арифметического). В более сложном случае можно использовать расчет среднего взвешенного арифметического (например, в формате аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания – АИДКО), а также других способов нахождения интегральных оценок. Весовые коэффициенты оценок, например, могут зависеть от статуса (должности, ученой степени, опыта работы) члена комиссии. Для принятия решения при попадании итоговой оценки в середину диапазона (при четном количестве частных оценок) можно, например, дублировать оценку председателя комиссии (или одного из представителей работодателей).

3 этап – формирование *итоговой оценки* за государственный экзамен. На данном этапе необходимо еще более внимательно учитывать качественные критерии оценивания, поскольку повышается важность и ответственность принятия решения. Предлагается разработанная система *продуктивных правил*, которая позволит сформировать интегральную оценку с учетом количественных и качественных критериев оценивания.

Оценим общее количество вариантов (сочетаний) дифференциальных оценок, которое возможно для выбранной в исходных данных размерности решаемой задачи:

$$a^N = 5^4 = 625,$$

где a – размерность шкалы оценивания; N – количество элементов экзаменационного задания. Для формирования качественных критериев оценивания примем следующие допущения, что:

1. При наличии хотя бы одной «отрицательной» оценки ($\{1\}$ или $\{2\}$) за элемент задания интегральная оценка устанавливается также отрицательной ($\{2\}$).
2. Задача имеет более высокий приоритет по отношению к вопросам экзаменационного задания.

Указанные ограничения существенно уменьшают количество продуктивных правил, которые нужно сформировать. Действительно, если расчет интегральной оценки производится при «положительных» значениях дифференциальных оценок, то общее количество правил определяется так:

$$b^N = 3^4 = 81,$$

где b – размерность шкалы оценивания при положительных оценках ($\{3, 4, 5\}$); N – количество элементов экзаменационного задания.

Далее приведем полный перечень правил, на основании которых определяется интегральная (итоговая) оценка за государственный экзамен. Правила могут иметь вербальное описание либо заданы в табличном виде (таблица 4.3.1). Второй способ предпочтительней для дальнейшей автоматизации. Приведем оба примера формирования правил для определения некоторых интегральных оценок.

Правило для оценки «неудовлетворительно» – оценка как минимум за один из вопросов (задачу) $\{2\}$ или $\{1\}$.

Правила для оценки «удовлетворительно» (все оценки «положительные» – $\{3, 4, 5\}$):

- все оценки «удовлетворительно» (1 сочетание);
- одна «хорошо», три «удовлетворительно» (4 сочетания);
- задача «удовлетворительно», один вопрос «удовлетворительно», два вопроса «хорошо» (3 сочетания);
- задача «удовлетворительно», один вопрос «удовлетворительно», один вопрос «хорошо», один вопрос «отлично» (6 сочетаний);
- задача «удовлетворительно», два вопроса «удовлетворительно», один вопрос «отлично» (3 сочетаний);
- итого 17 сочетаний и т.д.

Таблица 4.3.1 – Задание правил принятия решения для итоговой оценки за ГЭ
(только положительные оценки)

№	Элементы задания	«3»	«4»	«5»	Число сочетаний
«удовлетворительно»					
1	Задача	1	–	–	1
	Вопросы	3	–	–	
2	Задача и вопросы	3	1	–	4
3	Задача	1	–	–	3
	Вопросы	1	2	–	
4	Задача	1	–	–	3
	Вопросы	2	–	1	

5	Задача	1	–	–	6
	Вопросы	1	1	1	
Итого:					17
«отлично»					
1	Задача и вопросы	–	–	4	1
2	Задача и вопросы	–	1	3	4
3	Задача	–	–	1	3
	Вопросы	–	2	1	
Итого:					8
«хорошо»*					
Итого:					56
Всего сочетаний:					81

* Из-за большого количества вариантов приводится только общее количество сочетаний.

4 этап – определение уровня освоения компетенций, контролируемых данным видом государственной итоговой аттестации. В таблице 2 каждого Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО), по которым начато обучение с 2011 г., указан минимальный перечень компетенций, которые должны быть проконтролированы в ходе государственной итоговой аттестации. Он может быть расширен и дополнен за счет профильно-специализированных компетенций, введенных вузом (кафедрой), а также не попавших в данный список общекультурных и профессиональных компетенций (по согласованию с потенциальными работодателями или по собственной инициативе разработчиков образовательной программы). В модернизированных стандартах (ФГОС ВО 3+) минимальный перечень компетенций, контролируемых на ГИА, законодательно не закреплен, поэтому должен быть самостоятельно сформирован разработчиками образовательных программ. Это означает, что при разработке фонда оценочных средств (ФОС) ГИА задан перечень компетенций, уровень освоения которых нужно проконтролировать в процессе аттестационных испытаний (государственный экзамен и защита выпускной квалификационной работы).

При разработке компетентностной модели выпускника разработчики образовательной программы распределяют закрепленные за ГИА компетенции по видам аттестационных испытаний (ГЭ и ВКР). Это распределение может быть вы-

полнено либо без перекрытия (одна компетенция проверяется только одним видом испытаний), либо с перекрытием (одна компетенция, а точнее, разные ее составляющие, могут быть проконтролированы в разных видах испытаний, с необходимостью последующего вычисления интегральной оценки).

В процессе формирования фонда оценочных средств для каждого из запланированных видов аттестационных испытаний проводится распределение компетенций за применяемыми средствами контроля. Например, для ГЭ это – номера конкретных вопросов или задач из общего перечня, оставленного по дисциплинам, содержание которых вынесено на ГЭ. Поэтому в оценочном листе, заполняемом по каждому экзаменационному заданию, у каждого вопроса и задачи указано, какие компетенции (или компоненты компетенций) ими контролируются. Таким образом, в результате каждая оценка за вопрос (задачу) участвует в оценивании уровня освоения как минимум одной компетенции. Если оценка за вопрос (задачу) участвует в оценивании уровня освоения более чем одной компетенции, то производится «склейка» («свертка») дифференциальных оценок и определение интегральной оценки.

Проблема определения интегральной величины по заданной совокупности частных критериев решается в разных научных направлениях: метрологии, квалиметрии, теории принятия решения, аппарате детерминированной логики, теории нечеткого вывода и т.д. Автором проводятся исследования по поиску эффективных математических, алгоритмических и организационно-методических решений указанной проблемы.

4.3.3. Пример расчета интегральной оценки на одном из видов аттестационных испытаний с использованием методов расчета, основанных на нечеткой логике

Для моделирования и автоматизации практического использования предлагается применять имеющиеся и хорошо зарекомендовавшие себя программные пакеты, например, MatLab или FuzzyTech. Необходимо задать следующие параметры модели:

- размерность и описание шкалы и объекта оценивания;

– входные переменные (например, для государственного экзамена – дифференциальные оценки за решение задачи и ответы на теоретические вопросы) и их функции принадлежности (характер распределения значений оценки по уровням выбранной шкалы);

– выходную переменную (интегральную оценку) и ее функции принадлежности для всех термов ее лингвистической переменной;

– набор продукционных правил для принятия решения.

Если параметры входных и выходных переменных в выбранной инструментальной среде ввести достаточно просто, то ввод правил является достаточно сложным и рутинным процессом. Поэтому целесообразным представляется разработка приложения для создания и редактирования продуктивных правил, которая с учетом заданных параметров входных и выходных переменных даст возможность ввести правила, а затем сохранить информацию в формате, приемлемом для загрузки в среду моделирования. После этого программная модель, при необходимости, корректируется. Далее вводятся значения дифференциальных оценок, а затем – дефаззификация и определение интегральной оценки.

Алгоритм решения задачи определения интегральной оценки.

1. Разработка аналитической модели (определение входных и выходных лингвистических переменных, задание их терм-множеств и функций принадлежности, вербальное или табличное описание продуктивных правил).

2. Разработка и настройка приложения для автоматического (автоматизированного) создания продуктивных правил и сохранения в формате выбранной инструментальной среды моделирования.

3. Разработка программной модели в выбранной среде моделирования (создание модели, ввод входных и выходных лингвистических переменных, задание их терм-множеств и функций принадлежности).

4. Загрузка продуктивных правил, подготовленных соответствующим приложением.

5. Задание значений входных переменных (дифференциальных оценок).

6. Определение интегральной оценки.

Для моделирования автоматизированной системы определения интегральной оценки по итогам проведения государственного экзамена использован пакет MatLab Fuzzy Logic.

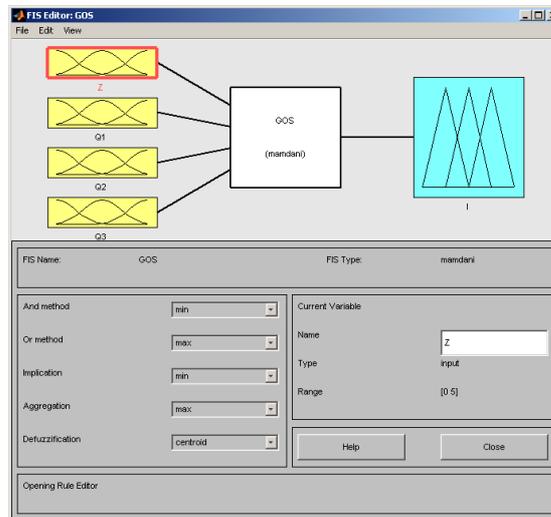


Рисунок 4.3.1 – Модель системы принятия решения

Модель представлена на рисунке 4.3.1. В ней заявлено 4 входные переменные (оценка за решение задачи – Z и оценки за ответы на теоретические вопросы – $Q1$, $Q2$, $Q3$), одна выходная переменная (итоговый результат государственного экзамена – I), а также совокупность продуктивных правил для принятия решения (по методу Мамдани – GOS (mamdani)).

На рисунке 4.3.2 представлены функции принадлежности входных и выходных переменных. Входные переменные представлены треугольными (или трапециевидными) функциями принадлежности. Они адекватно описывают зависимость степени принадлежности соответствующего термина переменной (квантованное значение оценки, соответствующее одному из уровней шкалы) от значения универсума (неквантованное значение оценки как результат тестового диагностирования).

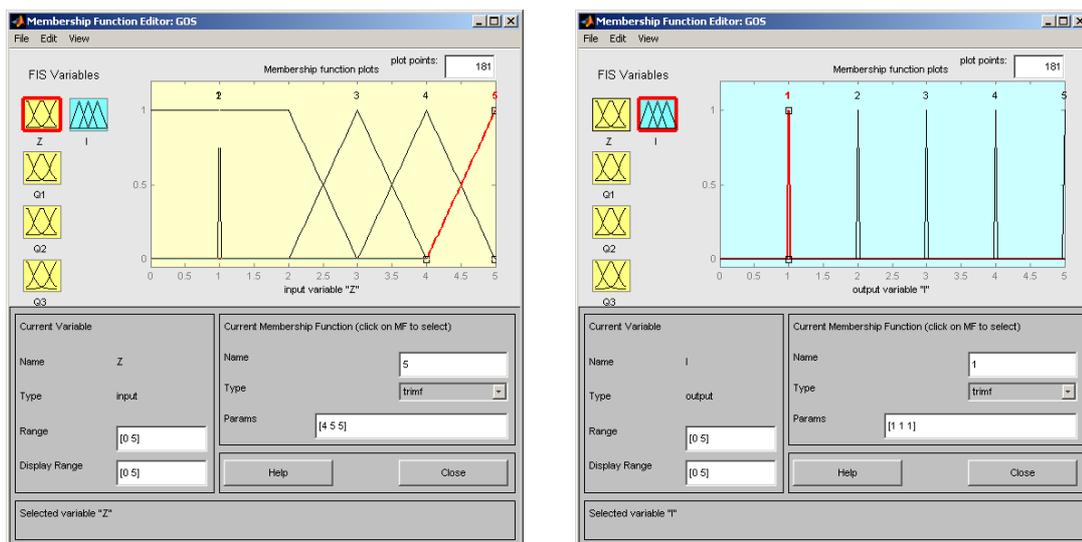


Рисунок 4.3.2 – Входные и выходные переменные

Выходная переменная описывается функцией принадлежности в виде синглтона в соответствии с уровнями шкалы выбранной оценивания. Каждому из уровней ставится в соответствие одно или несколько продуктивных правил.

На рисунке 4.3.3 приведено окно ввода продукционных правил, а также окно дефаззификации. Для использования данного программного продукта в реальном учебном процессе предлагается использовать специальное программное обеспечение, которое позволит автоматизировать задание правил, что актуально для задач большой размерности, а затем подставит полученный конфигурационный файл в программу.

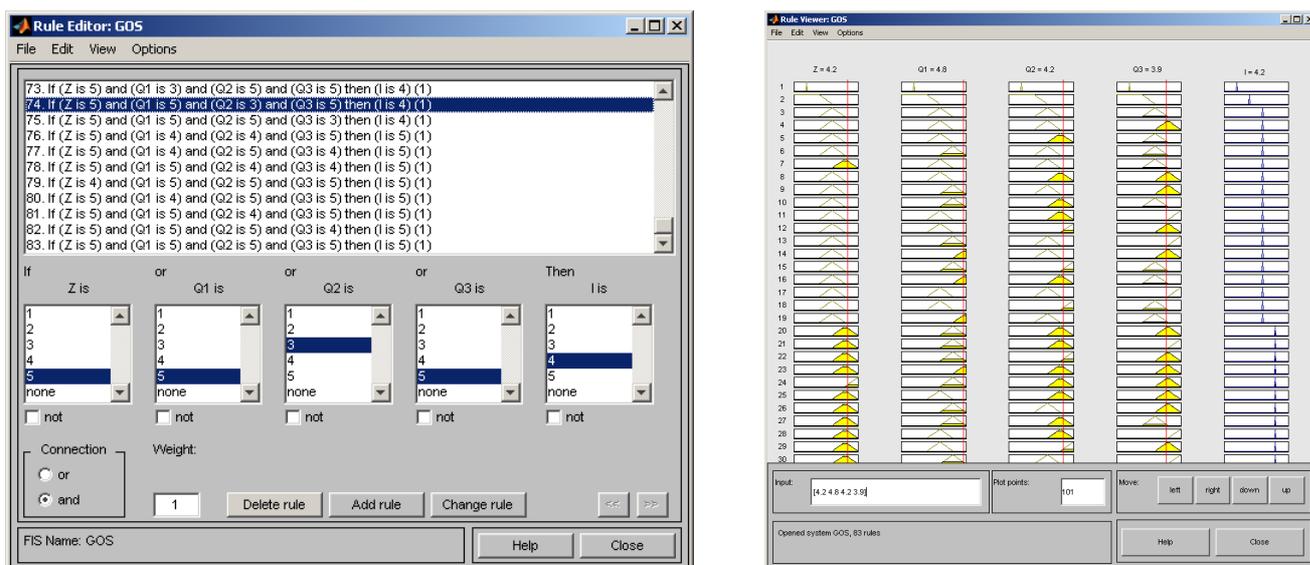


Рисунок 4.3.3 – Продукционные правила и дефаззификация

Результаты работы программы приведены в предыдущем параграфе и иллюстрируют достоинства применения нечеткой логики для принятия решения.

4.4. Выводы по главе

В настоящей главе приведены результаты построения и практического применения методики определения количественной оценки результативности подготовки.

1. Предложена методика определения количественных оценок результативности подготовки на основе применения линейного интегро-дифференциального критерия оценки элементов и частей компетенций для различных уровней их формирования, что позволило учесть особенности вычисления интегральных и дифференциальных оценок для различных уровней и видов занятий, участвующих в формировании компетенций.

2. Предложены способы дешифрации результатов тестового диагностирования, которые позволяют учесть различия процедур синтеза тестов и обработки результатов проверки для разных компонентов компетенций, приведены иллюстрирующие примеры.

3. В рамках уровневой модели компонентной структуры компетенции предложена методика расчета весовых коэффициентов интегро-дифференциальной оценки уровня освоения ЭДК. Приведен числовой пример использования предложенной методики для расчета весовых коэффициентов оценки уровня освоения ЭДК в составе ИДК. Это позволило сформулировать практические рекомендации для использования предложенной методики для оценки результативности обучения на разных стадиях подготовки.

4. Выполнен анализ формата интегро-дифференциального критерия, который позволил определить условия влияния дифференциальных оценок на интегральный результат. Это дало возможность решить задачу определения фрагментов учебного материала дисциплины (видов АРС и СРС) и соответствующих им дифференциальных оценок, необходимых для улучшения интегральной оценки уровня освоения ЭДК. Для этого были проанализированы условия и ограничения применения, а также приведены иллюстрирующие практические примеры.

5. Сформулированы рекомендации по выбору областей целесообразного применения многоуровневых шкал на разных этапах оценивания результатов обучения по программам подготовки специалистов.

6. Приведен пример расчета интегральной оценки на одном из видов аттестационных испытаний – государственном экзамене по направлению подготовки (специальности); выделены и проанализированы особенности этапов оценивания; сформулированы правила оценивания; сделаны выводы и рекомендации по использованию предложенных математических аппаратов (алгебраической и нечеткой логики). Это позволило разработать и использовать в учебном процессе программный инструментарий для автоматизации процедур оценивания.

Основные результаты исследований приведены в работах [56, 57, 58, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 156, 157, 160, 164, 170].

Глава 5. Квалиметрические модели, процедуры и алгоритмы контроля результативности подготовки, построенные на основе аппарата и методов технической диагностики

Проблема контроля и оценки уровня освоения компетенций и их составляющих, разработки методик создания контрольно-измерительных материалов, является для системы высшего профессионального образования (ВПО) России недостаточно исследованной и формализованной, что затрудняет автоматизацию этого трудоемкого процесса и актуализирует ее решение. В отечественных научных и методических работах в данном направлении указанные вопросы рассматриваются и частично решаются (например, работы [2, 11, 16, 39, 80, 109, 110, 115, 147]). Однако в них не нашла, на наш взгляд, достаточно подробная и алгоритмизированная проработка вопросов увязки принципов контроля и оценивания со способами формирования ЭДК, конкретные рекомендации и механизмы по применению, анализ ограничений и т.д. Поэтому одной из актуальных проблем является разработка методологической основы контроля и оценивания результатов освоения образовательных программ (ОП) с применением системного подхода и соответствующего математического и алгоритмического аппарата. В решении указанной проблемы существенную помощь, по нашему мнению, может оказать применение хорошо проработанного и апробированного аппарата и методов *технической диагностики* с адаптацией их к рассматриваемым объектам исследования (компетенциям и их составляющим) и предметам исследования (алгоритмам контроля и оценивания) [55]. Важно также отметить, что возможность и условия применения указанных процедур и алгоритмов необходимо рассматривать с учетом особенностей человеческого фактора у проверяемого субъекта – студента. Это нашло отражение в модели объекта контроля, а также в ограничениях и условиях использования предлагаемых методик.

Целью данного раздела является анализ возможности применения аппарата и методов технической диагностики для контроля и оценки результатов освоения основных образовательных программ, сформированных в соответствии с требо-

ваниями ФГОС ВО на базе компетентного подхода к образовательному процессу, а также выработке соответствующих рекомендаций по применению.

5.1. Разработка квалиметрических методов, процедур и алгоритмов диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики

5.1.1. Применение положений и аппарата технической диагностики к решению задач контроля и оценки результатов освоения программ подготовки специалистов

Диагностика – это отрасль знаний, включающая в себя теорию и методы организации процессов диагноза, а также принципы построения средств диагноза. Когда объектами диагноза являются объекты технической природы, говорят о *технической диагностике* [96].

Под *дефектом* изделия (элемент, устройство, система) в технике понимается невыполнение требования, связанного с предполагаемым или установленным его использованием. При изучении объекта диагностирования задается (определяется) *список (класс) возможных дефектов*, и далее проверяется их наличие или отсутствие в проверяемых элементах и связях между ними. Таким образом, тесты строятся в предположении известного класса дефектов и, соответственно, правильная реакция на тесты гарантирует отсутствие дефектов только из заданного списка (класса).

Выделим две основные задачи технической диагностики [175]:

- проверка (контроль работоспособности или исправности) устройства, ориентированные на обнаружение дефектов из заданного списка (класса) у элементов и связей (т.н. ветвей);
- поиск (локализация) дефектов, который позволяет выявить исправные элементы и связи в неисправном устройстве (установить место и вид дефекта).

Соответственно, первую задачу решают проверяющие тесты (тесты, обнаруживающие факт наличия или отсутствия дефектов произвольной кратности в устройстве), а вторую – тесты поиска дефектов произвольной кратности.

Проверяющие тесты строятся для каждой ветви устройства, а их совокупность, позволяющая проконтролировать исправность каждой ветви, представляет собой полный проверяющий тест (ППТ). Проверяющий тест гарантирует обнаружение дефекта ветви при любом сочетании дефектов других ветвей [53].

Особую проблему представляет реализация проверки или поиска при наличии в устройстве нескольких, т.н. *кратных*, дефектов. Причиной возникающих сложностей является возможное выполнение условий *компенсации* дефекта проверяемого элемента или связи дефектами других элементов или связей. В этом случае на выходе фиксируется правильная реакция на проверяющий исправность ветви тест. Для исключения возможности компенсации безусловный тестовый набор проверки исправности (β -набор) дополняется группой условных тестовых наборов (α -наборы), каждый из которых деактивизирует соответствующее условие возникновения компенсации. Таким образом, дефект в проверяемой ветви гарантировано будет обнаружен, несмотря на возможное наличие дефектов других ветвей. Полный проверяющий тест (ППТ) состоит из множества проверяющих все ветви безусловных β -наборов и множества дополняющих каждый из них групп условных α -наборов. После построения избыточного ППТ проводится его минимизация.

Поиск дефектов связан с решением двух задач – построение диагностических тестов и определение порядка их применения в диагностическом эксперименте, т.е. разработка процедуры или алгоритма поиска дефектов и дешифрация результатов тестирования. *Тесты поиска* дефектов позволяют найти неисправный элемент (или связь между элементами) с требуемой (заданной) глубиной локализации, а также определить вид и параметры дефекта. Алгоритмы и тесты поиска имеют большую сложность и размерность по сравнению с проверяющими тестами, но позволяют указать место, тип, а, возможно, и причины неисправности.

Процедура поиска дефектов определяется применением алгоритмов тестового диагностирования. В технической диагностике выделяют два алгоритма поиска дефектов – безусловные и условные.

При реализации *безусловных алгоритмов* поиска допускается независимый порядок подачи тестов, что и легло в основу названия алгоритма. На диагностируемый объект подается полная совокупность тестов поиска, фиксируются результаты, а затем происходит их дешифрация, анализ и принятие решения о техническом состоянии объекта. В безусловных алгоритмах поиска более просто осуществляется процедура тестирования, число шагов которой фиксировано, однако процедура дешифрации всех результатов может представлять сложный процесс (неоднозначность интерпретации результатов, избыточность тестов поиска, большое время диагностирования и т.п.).

При реализации *условных алгоритмов* поиска тесты на объект подаются поэтапно, и совокупность тестов, подаваемых на текущем этапе, зависит от результатов тестов предыдущего этапа. Условные алгоритмы поиска позволяют реализовать гибкую процедуру тестирования, обеспечивающую необходимую глубину локализации дефектов в среднем за меньшее время, чем безусловные алгоритмы поиска. Это означает, что число шагов диагностирования в среднем меньше, чем при безусловной процедуре, однако при этом требуется достаточно большой объем вычислений при анализе результатов каждого этапа и формировании тестов текущего этапа диагностирования.

В технической диагностике формулируются прямая и обратная задачи диагноза. *Прямая задача диагноза* заключается в определении реакции устройства или системы на подаваемые тестовые последовательности, дешифрации результатов проверки и сравнении их с заранее рассчитанными идеальными реакциями исправного устройства. Она решается путем моделирования работы устройства с заданными дефектами при подаче совокупности ранее определенных тестов. *Обратная задача диагноза* состоит в определении совокупности тестов, покрывающих заданное количество и номенклатуру (разновидности) дефектов и их сочетаний [96].

В технической диагностике одним из типовых формальных описаний (моделей) объекта диагноза является совокупность *таблиц функций неисправностей* (ТФН), в которых отражаются реакция объекта на заданную совокупность тестов при отсутствии и наличии моделируемых дефектов [53]. Порядок заполнения ТФН обусловлен свойствами объекта контроля и не зависит от очередности проводимых проверок (при безусловном алгоритме поиска) и заполняется пошагово при условных процедурах поиска перед принятием решения об очередном шаге поиска. Строками таблицы являются элементарные проверки (тесты), а столбцами – состояния объекта в исправном и неисправном состояниях (реакция объекта диагноза на тестовые наборы, фиксируемая на наблюдаемых выходах). В каждую ячейку ТФН заносится реакция объекта, находящегося в определенном техническом состоянии, на конкретный тест. Очевидно, что при большом количестве объектов и сложной модели дефектов применение указанной модели ТФН затруднительно, поскольку ее размерность становится слишком большой для организации вычислений (размерность ТФН может быть уменьшена, например, за счет увеличения числа наблюдаемых выходов). Однако такая модель показательна и удобна для определения принципов и алгоритмов диагностирования.

Таблица функций неисправности применяется для синтеза и оптимизации совокупности проверяющих тестов, а также для дешифрации результатов тестового диагностирования и принятия решение об исправности объекта в целом (задача обнаружения) или его элементов (задача поиска).

Рассмотрим далее применение ряда основных понятий, аппарата и методов технической диагностики для решения задач контроля уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций, а также поиска элементов дисциплинарных компетенций с недостаточным уровнем освоения.

В рассматриваемой предметной области *объектом контроля* является элемент, компонент, дисциплинарная компетенция, компетенция или их совокупность [171].

Будем понимать под «*дефектом*» недостаточный уровень освоения (ниже заданного порогового значения) проверяемого объекта контроля.

Поскольку проверяемым субъектом является студент, то это накладывает дополнительные ограничения и требует учета составляющих т.н. «человеческого фактора». В дальнейшем будем сначала ориентироваться на идеализированную модель (например, определенный уровень подготовки сформирован выбранными способами и не изменяется до следующих обучающих мероприятий), а затем вводить ограничения и допущения для перехода к более реалистичной модели.

Сформулируем основные задачи диагностики применительно к контролю ЭДК:

1. Построение (синтез) проверяющих (обнаружения) либо локализирующих тестов (поиска);
2. Определение (выбор) процедуры (алгоритмов) диагностирования;
3. Проведение диагностического эксперимента (тестирования);
4. Получение результатов проверки или поиска в виде ТФН или их аналогов;
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 (при необходимости).

Далее предлагаются подходы к решению поставленных задач.

При решении задач диагностики ЭДК проверяющие тесты (тесты контроля уровня освоения ЭДК) предлагается применять при «грубой» оценке, например, при текущей аттестации (на уровне «сдал–не сдал», без детализации недостаточно освоенных элементов). Тесты поиска эффективны для локализации недостаточно освоенных элементов с требуемой (необходимой, заданной) глубиной (точностью), и применяются преподавателем при углубленной проверке либо студентом при самоконтроле уровня освоения ЭДК. Также тесты поиска дают детальную информацию для формирования перечня корректирующих мероприятий и необходимых для их реализации ресурсов образовательного процесса.

В процессе решения задачи проверки уровня освоения ЭДК и локализации недостаточно освоенных элементов применяются процедуры обнаружения и безусловного либо условного поиска «дефектных» элементов. Тестирование предлагается проводить в два этапа:

1. Применение тестов обнаружения с интегральной оценкой степени освоения по всем контролируемым элементам.

2. Применение тестов поиска для определения неосвоенных ЭДК, а также детализации уровня освоения каждого элемента (с двоичной или недвоичной шкалами оценивания), выдачи индивидуальных рекомендаций и т.д. с использованием безусловной процедуры поиска, в которой выбор очередного теста не зависит от результатов предшествующих тестов или условной процедурой поиска.

При решении задач контроля уровня освоения ЭДК совокупность тестов (обнаружения и поиска), как правило, задается при формировании структуры дисциплины. Во-первых, это «классические» тесты в виде перечня вопросов: закрытого типа (множественный выбор, альтернативный выбор, установление соответствия, установления последовательности) и открытого типа (дополнение, свободное изложение), которые эффективно применять для контроля компонента «знать». Во-вторых, это «видовые» тесты, связанные с определенным видом аудиторной или самостоятельной работы студента (защита отчетов по лабораторным работам, проверка домашних заданий по темам практических занятий, защита курсового проекта и т.д.), которые эффективно применять для контроля компонентов «уметь» и «владеть». Более подробно мнение о подходах к построению тестов для разных компонентов дисциплинарной компетенции приведено в [60]. В рамках применения некоторых положений и методов технической диагностики в работе решаются задачи по разработке безусловных и условных процедур поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения, а также совместному проектированию компонентной структуры ДК в увязке с формированием средств контроля (диагностическими тестами).

Основным направлением для решения задач управления и контроля качества подготовки специалистов является разработка методологической основы кон-

троля и оценивания результатов освоения ОП на основе системного и компетентностного подходов, с привлечением соответствующего математического и алгоритмического аппарата. Предлагается использование некоторых положений аппарата и процедур технической диагностики [171], с адаптацией их к рассматриваемой предметной области – алгоритмам контроля и оценивания уровня освоения компетенций и их составляющих. При этом должна проводиться не однозначная портация, а использование основных принципов и алгоритмов с обязательным учетом сложных (динамических) свойств у субъекта контроля – студента.

5.1.2. Проектирование таблиц диагностирования совместно с выбранной процедурой обнаружения и поиска нЭДК

Формализованное представление компонентной структуры компетенции. При разработке соответствующего раздела рабочей программы дисциплины преподаватель задает компонентную структуру дисциплинарной компетенции, а также 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:

- элементов «знать» в одной дисциплинарной компетенции: 3-4;
- элементов «уметь» в одной дисциплинарной компетенции: 2-3;
- элементов «владеть» в одной дисциплинарной компетенции: 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 разработчиком рабочей программы дисциплины. При этом не возникает необходимости строить «классическую» ТФН, поскольку диагностические тесты уже заданы средствами контроля, а диагностируемые объекты – компонентной структурой каждой закре-

пленной за учебной дисциплиной части 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 компетенциях (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 разработки рабочих программ дисциплин в компетентностном формате пока еще не позволяет активно использовать указанный механизм, в том числе из-за небольшого числа исследований в указанном направлении. В данном разделе 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 [57]. Таблица диагностирования определяет условия различимости дефектов, т.е. недостаточного 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 [65], элементами которых являются символы, показывающие участие данного теста в контроле соответствующего элемента.

При рассмотрении таблицы диагностирования ЭДК примем, что для каждого компонента компетенций (знания, умения, владения) будет построена отдельная таблицы, что означает независимость средств контроля (тестов) для каждого компонента. Указанное допущение в общем случае может привести к избыточному размеру количества проверяющих 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 диагностирования. В общем случае таблица диагностирования содержит и тесты обнаружения, и тесты поиска [178].

Тест обнаружения является более компактным, 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.

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 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).

Простые тесты, в основном, 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, путем объединения 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 понятием 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 тестом 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 (длине теста, полноте, глубине и точности локализации, числе шагов (быстродействии) алгоритма диагностирования и процедуры дешифрации результатов и т.п.), считая, что тесты поиска могут быть и простые, и составные.

Проверка диагностических свойств тестов осуществляется путем моделирования и прогнозирования, что представляет собой отдельное направление исследования. Указанные задачи в полном объеме для больших таблиц эффективно и качественно могут быть решены только в рамках автоматизированной информационной системы. Предлагаемые в данном разделе 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.

Задание способов формирования и средств контроля уровня освоения ЭДК при разработке рабочей программы дисциплины. Организация контроля и количественная оценка уровня освоения элементов компетенций, формируемых дисциплиной, находится в сфере ответственности преподавателя, ведущего дисциплину. Решение указанного круга вопросов должно быть предусмотрено в рам-

ках формируемого им учебно-методического комплекса дисциплины, в частности, его основного документа – рабочей программы дисциплины.

При подготовке дисциплины преподаватель должен выбрать достаточное для проверки уровня освоения формируемых в дисциплине ЭДК средств контроля, а также применить эффективную и достоверную методику обработки результатов тестирования и оценки уровня освоения ЭДК. Рассмотрим подробнее выбор средств контроля и оценки их результатов для определения уровня освоения элементов и частей компетенций.

За каждым ЭДК закреплены соответствующие способы формирования (СФ): виды аудиторной и самостоятельной работы, и средства контроля (СК): тесты знаний, оценивание докладов, рефератов, домашних заданий, лабораторных работ, курсовых проектов и т.д. Удобно и наглядно представить закрепление M способов формирования и N средств контроля (M может быть в произвольном соотношении с N) за h элементами дисциплинарных компетенций \mathcal{E}_i в виде таблицы (матрицы) соответствия (таблица 5.1.1). Ячейки таблицы содержат символы, например «v», показывающие участие данного вида работы (СФ) или теста (СК) в формировании или контроле соответствующего элемента.

Таблица 5.1.1 – Таблица соответствия СФ, СК и ЭДК

	СФ ₁	...	СФ _{<i>M</i>}		СК ₁	...	СК _{<i>N</i>}
Э ₁	v	...			v	...	
Э ₂		...				...	v
...
Э _{<i>i</i>}		...	v			...	
...
Э _{<i>h</i>}		...				...	v

Далее рассмотрим только матрицы соответствия элементов дисциплинарных компетенций и средств контроля. При этом примем, что для каждого компонента компетенций (знания, умения, владения) будет построена отдельная матрица, что означает независимые средства контроля для каждого компонента. Указанное допущение в общем случае может привести к избыточному размеру количества проверяющих тестовых заданий, однако для выработки подхода к реше-

нию поставленных задач не носит принципиального характера. В дальнейшем возможна оптимизация (минимизация) либо заданное ограничение количества тестовых заданий за счет снятия принятого допущения.

В таблице 5.1.2 приведен общий вид матрицы соответствия ЭДК и средств контроля (таблицы диагностирования). Ее элементами являются значения *результатов* проверки элемента \mathcal{E}_i средством контроля $СК_j - r_{ij}$ и соответствующие им нормированные *оценки* \check{r}_{ij} . Пустые (незаполненные) значения ячеек означают, что данный элемент не контролируется (либо не принимается во внимание) соответствующим СК.

Таблица 5.1.2 – Заполнение таблицы диагностирования

	СК ₁	...	СК _j	...	СК _H	ПЭ (V)
\mathcal{E}_1	r_{11}/\check{r}_{11}	...		...		V_1
\mathcal{E}_2		...		...	r_{2H}/\check{r}_{2H}	V_2
...
\mathcal{E}_i	r_{i1}/\check{r}_{i1}	...	r_{ij}/\check{r}_{ij}	...		V_i
...
\mathcal{E}_h		...		...	r_{hH}/\check{r}_{hH}	V_h
ПТ (W)	W_1	...	W_j	...	W_H	$W_\Sigma (V_\Sigma)$
РТ	R_1/\check{R}_1	...	R_j/\check{R}_j	...	R_H/\check{R}_H	

В общем случае средство контроля имеет полную оценку R_j (например, оценка за тест, защиту отчета по лабораторной работе, выполнение домашнего задания и т.п.), которая заносится в соответствующую ячейку в строке РТ (результат тестирования). При этом для одних видов СК возможно сразу же на этапе дешифрации сформировать (выделить из общего СК) результаты r_{ij} (оценки \check{r}_{ij}) за каждый из контролируемых СК элементов (если их несколько). Так, например, если речь идет о тесте знаний (тест закрытого или открытого типа), то можно построить полный тест из групп вопросов по каждому их контролируемых данным тестом ЭДК. Тогда полная количественная оценка за тест может быть сформирована при помощи интегро-дифференциального критерия (сумма взвешенных оценок за каждый вопрос) следующим образом:

$$R_j = \sum_{i=1}^{N^{T_j}} k_i \cdot r_i^{T_j}, \quad (5.1.1)$$

где N^{T_j} – количество вопросов в тесте T_j ; k_i – весовой коэффициент i -го вопроса, учитывающий его важность (значимость контролируемого им содержания) и назначаемый экспертом путем ранжирования (сумма всех весовых коэффициентов равна 1); $r_i^{T_j}$ – оценка за i -ый вопрос в тесте T_j (например, 0 – неправильный ответ, 1 – правильный ответ). При равнозначных вопросах все коэффициенты одинаковы и равны $\frac{1}{N^{T_j}}$.

Для других видов СК результаты (оценки) за каждый из контролируемых ЭДК так же просто не выявить, поэтому составляющие (элементарные тесты), проверяющие каждый из контролируемых тестом ЭДК, выявляются позднее, на этапе последующей дешифрации.

Рядом с результатом проверки r_{ij} заносится дискретное (квантованное) значение оценки \check{r}_{ij} , которое характеризует результат в диапазоне выбранной шкалы оценивания (таблица 5.1.2). Например, в соответствии с двухуровневой шкалой результат может быть расценен как положительный (обозначим символом «1») или отрицательный (обозначим символом «0»), в зависимости от соотношения с заданным пороговым значением η :

$$r_{ij} < \eta \Rightarrow \check{r}_{ij} = 0, \quad r_{ij} \geq \eta \Rightarrow \check{r}_{ij} = 1.$$

Кроме того, в таблице 5.1.2 заносятся оценки, которые показывают количество участвующих в контроле каждого элемента тестов (покрытие элемента – ПЭ) и свойство каждого теста, заключающееся в количестве контролируемых им элементов (покрытие теста – ПТ), а также результат реализации (R_j) и оценка каждого теста (\check{R}_j) элемента (РТ). Характеристика ПЭ нужна для формирования ИДК оценки уровня освоения каждого элемента. Свойство ПТ необходимо для реализации безусловной и условной процедуры поиска элемента с недостаточным уровнем освоения.

Далее рассмотрим предлагаемые подходы к реализации алгоритмов дешифрации результатов проверки всех формируемых элементов дисциплинарных компетенций (h) после реализации и оценки результатов всех предусмотренных рабочей программой дисциплины средств контроля (H).

5.1.3. Классификация алгоритмов обнаружения и поиска

Классификация процедур (алгоритмов) обнаружения и поиска неосвоенных ЭДК проводится по степени влияния результата текущей проверки на выбор последующих тестовых проверок уровня освоения элементов и компонентов дисциплинарной части компетенции (рисунок 5.1.1). По указанному критерию процедуры диагностирования подразделяются на безусловные и условные [64].

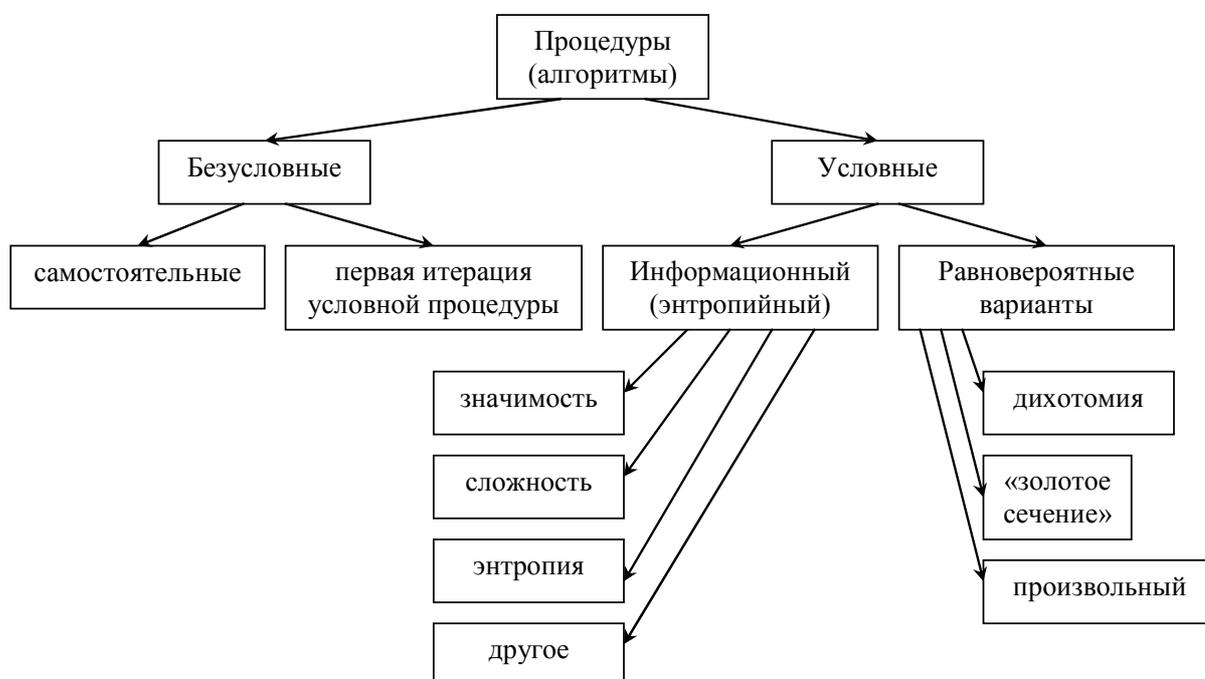


Рисунок 5.1.1 – Классификация алгоритмов проверки и/или поиска нЭДК

Безусловная процедура (БП) тестирования заключается в независимом проведении всех контролирующих мероприятий (реализации всех предусмотренных тестов), получении и дешифрации результатов с целью выявления (локализации) элементов ДК с недостаточным уровнем освоения. При этом результаты каждой проверки не влияют на выбор последующих тестовых проверок и реализуются независимо друг от друга [74].

Безусловный алгоритм поиска в определенных случаях может рассматриваться как самостоятельная и законченная процедура. Также он может представ-

лять первую итерацию процедуры обработки результатов и принятия решения об уровне освоения дисциплинарных компетенций и их составляющих. Далее, при необходимости, начинают работать алгоритмы *условного* поиска неосвоенного элемента, позволяющие минимизировать объем проверок и увеличить глубину локализации.

Условная процедура (УП) тестирования заключается во взаимозависимом проведении всех контролирующих процедур, получении и дешифрации результатов с целью выявления (локализации) элементов ДК с недостаточным уровнем освоения. При этом результаты каждой текущей проверки влияют на выбор последующих тестовых проверок и, следовательно, реализуются зависимо друг от друга. Как отмечалось выше, условная процедура поиска (локализации) алгоритмически сложнее БП, но позволяет обеспечить меньшее (по сравнению с *безусловной процедурой* поиска) количество тестовых проверок для достижения максимальной глубины локализации недостаточно освоенных элементов (нЭДК).

Здесь важным является определение и выбор *условия перехода* к следующему шагу, что обусловлено критериями следующего уровня классификации для условных процедур. При *неравновероятном* распределении ЭДК, наряду с получившим широкое распространение, *информационным (энтропийным)* критерием применяются процедуры поиска на основе таких критериев, как значимость (важность) ЭДК, ресурсоемкость, сложность или их комбинации [74].

При *равновероятном* распределении проверяемых ЭДК, когда нет возможности (или необходимости) учитывать предпочтения, могут использовать традиционные для решения подобного класса задач методы – дихотомия, «золотое сечение» и т.д. Для каждого подхода разрабатываются свои методики определения количественной оценки критерия (например, количество последующих шагов тестирования, количество и сложность формирования необходимых тестов, требования к материально-техническим, кадровым временным и т.п. ресурсам для реализации выбранного этапа диагностирования).

Одним из ключевых моментов оценки результатов обучения в рамках компетентностного подхода к образовательному процессу является контроль ос-

воения элементов дисциплинарных компетенций (ЭДК), т.е. элементов компонентов компетенций, формируемых каждой дисциплиной. Эта задача решается каждым преподавателем, ведущим дисциплину, с привлечением коллег, а также специалистов предприятий и организаций, являющихся потенциальными работодателями для выпускников. От качественного подбора видов аудиторной и самостоятельной работы (средств формирования) и способов проверки (средств контроля) во многом зависит, насколько студенты освоят изучаемые вопросы, смогут ли они активно использовать их при изучении последующих дисциплин и в будущей профессиональной деятельности.

Контроль уровня освоения компетенций и их составляющих: дисциплинарных компетенций – ДК), компонентов (обобщенно сформулированные «знания», «умения», «владения»), элементов компонентов (подробный перечень того, что студент должен «знать», «уметь», «владеть»), является обязательной процедурой в рамках учебного процесса. Контроль обобщенно может быть представлен как процедура *тестирования*, а средства контроля – как тестовые задания (тесты) проверки уровня освоения соответствующих ЭДК.

Оценка результатов обучения выполняет контролируемую роль для преподавателя, кафедры и вуза как ответственных за обучение и совершенствование учебного процесса, а также вспомогательную роль для студента. Она помогает студенту самостоятельно оценить уровень освоения каждого ЭДК, определить необходимость его коррекции, выбрать виды аудиторной и самостоятельной работы, а также учебно-методического материала, для дополнительной подготовки.

Средства контроля решают важную задачу адекватной оценки уровня освоения проблематики конкретной дисциплины, которая будет складываться с другими оценками при вынесении общего решения о результатах обучения студента. Для формирования оценки каждого уровня (элементов, компонентов, дисциплинарных компетенций, компетенций) предлагается использование интегродифференциального критерия (ИДК), представляющего собой сумму взвешенных оценок составляющих предыдущего уровня. При этом важной является проблема дешифрации результатов освоения компетенций и их составляющих, поскольку

от точности и адекватности их определения зависит правильность (объективность) оценок всех уровней. Далее рассматриваются подходы к решению задач дешифрации результатов тестового диагностирования элементов дисциплинарных компетенций с применением алгоритмов безусловного и условного поиска для локализации элементов с недостаточным уровнем освоения.

5.1.4. Разработка и исследование алгоритмов безусловного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения

Рассмотрим тестовое диагностирование на примере безусловной процедуры тестирования [74]. Она заключается в проведении всех контролирующих мероприятий (реализации всех предусмотренных средств контроля), получении и дешифрации результатов с целью выявления (локализации) элементов ДК с недостаточным уровнем освоения. При этом средства контроля формируются и реализуются независимо друг от друга, т.е. результаты каждой проверки не влияют на остальные (в технической диагностике указанный подход описан как «безусловный алгоритм поиска неисправностей»).

Предлагаются следующие варианты реализации алгоритма дешифрации результатов тестирования R_j в процессе проверки элемента \mathcal{E}_i средством контроля (в дальнейшем называемым «тестом») T_j с использованием двухуровневой шкалы оценок \check{R}_j : отрицательный результат теста (0) и положительный результат теста (1).

1. Определяется и квантуется в соответствии с выбранной шкалой результат теста R_j . В зависимости от задачи и подхода к оценке результатов тестирования предлагаются следующие варианты дешифрации результатов:

1а) принимается решение о том, что все значения результатов проверки и оценок контролируемых тестом T_j элементов одинаковы и равны, т.е. $\forall i r_{ij} = R_j$ и $\check{r}_{ij} = \check{R}_j$. В таблицу диагностирования заносится результат $r_{ij} = R_j$ и оценка $\check{r}_{ij} = \check{R}_j$ и принимается решение об отрицательном ($R_j < \eta \Rightarrow \check{R}_{ij} = 0$) или положительном ($R_{ij} \geq \eta \Rightarrow \check{R}_j = 1$) результате проверки тестом T_j элемента \mathcal{E}_i . В ИДК оценки элемента \mathcal{E}_i в позицию результата теста T_j устанавливается значение $r_{ij} = R_j$.

При отрицательном результате принимается решение о необходимости проведения корректирующих мероприятий и передаче теста. Данный подход отличается простотой реализации, но низкой точностью из-за намеренного «загрубления» оценок.

1б) принимается решение о том, что необходима логическая декомпозиция результатов тестирования для определения оценок элементов, контролируемых тестом T_j . Проводится процедура анализа теста T_j и сопоставление составляющих его элементарных проверок (например, тестовых вопросов) и контролируемых ЭДК. Далее определяются результаты r_{ij} и оценки \check{r}_{ij} , заносятся в таблицу диагностирования и, в зависимости от их значений, принимается решение о положительном или отрицательном результате проверки тестом T_j контролируемых им элементов, в частности, \mathcal{E}_i . В ИДК оценки элемента \mathcal{E}_i в позицию результата теста T_j устанавливается значение r_{ij} . При отрицательном результате проверки принимается решение о необходимости проведения корректирующих мероприятий и передаче теста (частичная или полная, в зависимости от вида теста и ограничений ресурсного обеспечения учебного процесса).

Ниже будут приведены примеры дешифрации результатов тестирования по обоим предлагаемым вариантам.

2. После реализации тестов, предусмотренных всеми видами аудиторной и самостоятельной работы в рамках дисциплины, формируются ИДК для определения результатов проверки (и, при необходимости, оценок, привязанных к уровням выбранных шкал) всех ЭДК. При необходимости *аддитивный* формат ИДК может быть организационно преобразован в *мультипликативный*. Это означает, что ненулевое значение интегрального показателя (например, результата проверки элемента, компонента и т.д.) возможно только при ненулевых (выше заданного порога) значениях всех его дифференциальных составляющих. При несоблюдении этого условия проводятся корректирующие мероприятия, передача необходимых тестов и новая дешифрация их результатов. Могут быть сформулированы и другие, более мягкие, условия.

3. При неполной информации о результатах других тестов (например, если оценочное мероприятие проводится в течение учебного семестра) используется прогнозирование ИДК с учетом имеющихся результатов. Если при моделировании для заданного уровня ИДК элемента потребуются выходящие за область допустимых значений высокие оценки результатов других проверяющих его тестов, то возникает необходимость проведения корректирующих мероприятий и последующей пересдачи данного теста. При этом можно рассчитать, насколько нужно поднять оценку за данный тест, чтобы улучшить результат, реально ли это, а также какие ресурсы для этого потребуются.

Следует отметить наличие проблемы компенсации при вычислении ИДК значений одних дифференциальных оценок другими (например, положительных оценок отрицательными и наоборот, либо малые значения одних могут быть скомпенсированы большими значениями других, и.т.д.). Решение указанной задачи более подробно будет рассмотрено далее.

Для каждого результата тестирования в зависимости от соответствующего ему уровня выбранной шкалы оценивания можно заранее подобрать список корректирующих мероприятий и заданий, которые помогут студенту его улучшить. Указанный список может быть выбран студентом самостоятельно, предложен преподавателем или сформирован сопровождающей учебный процесс автоматизированной системой.

Рассмотрим примеры дешифрации результатов тестирования для таблицы диагностирования, заданной в виде таблицы

Таблица 5.1.3. В таблице

Таблица 5.1.3 результаты выполнения тестов заносятся в ячейки строки РТ (результаты тестирования). В примерах рассматривается безусловная процедура тестирования, которая предусматривает дешифрацию результатов после реализации всех средств контроля, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Таблица 5.1.3 – Пример таблицы диагностирования

	T ₁	T ₂	T ₃	ПЭ (V)
Э ₁	r_{11}/\check{r}_{11}	r_{12}/\check{r}_{12}	r_{13}/\check{r}_{13}	3
Э ₂	r_{21}/\check{r}_{21}		r_{23}/\check{r}_{23}	2
Э ₃		r_{32}/\check{r}_{32}		1
Э ₄		r_{42}/\check{r}_{42}	r_{43}/\check{r}_{43}	2
ПТ (W)	2	3	3	8
РТ	R_1/\check{R}_1	R_2/\check{R}_2	R_3/\check{R}_3	

Пример 1. Возьмем следующие исходные данные для дешифрации:

– тест T₂, который контролирует элементы Э₁, Э₃, Э₄ (см. таблицу

Таблица 5.1.3);

– тест представляет собой проверку знаний, который содержит 30 тестовых вопросов закрытого типа (выбор одного правильного варианта ответа из нескольких представленных);

– результат теста формируется с помощью интегро-дифференциального критерия:

$$R_2 = \sum_{i=1}^{N^{T_2}} k_i \cdot r_i^{T_2} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} r_i^{T_2} = 0.6,$$

где N^{T_2} – количество вопросов в тесте T₂; k_i – весовой коэффициент i -го вопроса (сумма всех весовых коэффициентов равна 1); $r_i^{T_2}$ – оценка за i -ый вопрос в тесте T₂ (0 – неправильный ответ, 1 – правильный ответ). Будем считать все вопросы равнозначными, следовательно, все весовые коэффициенты одинаковы и равны 1/30. Предположим, что было дано 18 правильных ответов из 30, следовательно, $R_2 = 18/30 = 0,6$;

– значения результатов R_j и $r_{ij} \in [0 \div 1]$;

– двухуровневая шкала оценки с пороговым значением $\eta = 0,5$:

$R_j(r_{ij}) \in [0 \div 0,5) \Rightarrow \check{R}_j(\check{r}_{ij}) = 0$ (отрицательный результат),

$R_j(r_{ij}) \in [0,5 \div 1] \Rightarrow \check{R}_j(\check{r}_{ij}) = 1$ (положительный результат).

Задача – определить количественные значения дифференциальных оценок контролируемых заданным тестом ЭДК.

Тест имеет положительный результат ($0,6 > \eta = 0,5$). Далее проведем дешифрацию с целью определения уровня освоения на данном тесте контролируемых им элементов.

Для варианта дешифрации 1а для всех результатов проверки элементов $r_{12} = r_{32} = r_{42} = R_2 = 0,6$. Результат дешифрации приведен в таблице 5.1.4.

Для варианта дешифрации 1б нужно провести дополнительный анализ, чтобы разбить множество вопросов теста на подмножества, соответствующие контролируемым элементам дисциплинарной компетенции (в нашем примере Э₁, Э₃, Э₄). Пусть множества непересекающиеся, тогда выделим Т₂¹ – 10 вопросов из 30, Т₂³ – 15 вопросов из 30, Т₂⁴ – 5 вопросов из 30. Предположим, что правильные ответы распределились следующим образом: на Т₂¹ – 4 из 18, на Т₂³ – 10 из 18, на Т₂⁴ – 4 из 18. Тогда можно определить результаты тестирования отдельных ЭДК, проверяемых тестом Т₂: $r_{12} = 4/10 = 0,4$, $r_{32} = 10/15 = 0,67$, $r_{42} = 4/5 = 0,8$. Результат дешифрации приведен в таблице 5.1.5.

Таблица 5.1.4 – Пример варианта 1а

	Т ₁	Т ₂	Т ₃	ПЭ (V)
Э ₁	r_{11}/\check{r}_{11}	0,6/1	r_{13}/\check{r}_{13}	3
Э ₂	r_{21}/\check{r}_{21}		r_{23}/\check{r}_{23}	2
Э ₃		0,6/1		1
Э ₄		0,6/1	r_{43}/\check{r}_{43}	2
ПТ (W)	2	3	3	8
РТ	R_1/\check{R}_1	0,6/1	R_3/\check{R}_3	

Таблица 5.1.5 – Пример варианта 1б

	Т ₁	Т ₂	Т ₃	ПЭ (V)
Э ₁	r_{11}/\check{r}_{11}	0,4/0	r_{13}/\check{r}_{13}	3
Э ₂	r_{21}/\check{r}_{21}		r_{23}/\check{r}_{23}	2
Э ₃		0,67/1		1
Э ₄		0,8/1	r_{43}/\check{r}_{43}	2
ПТ (W)	2	3	3	8
РТ	R_1/\check{R}_1	0,6/1	R_3/\check{R}_3	

После дешифрации и расчета результатов проверки каждого из контролируемых элементов определяется их соответствие уровням выбранной шкалы оценивания и пороговому значению (принятому в примере 0,5). Для рассматриваемо-

го примера результаты освоения элементов \mathcal{E}_3 и \mathcal{E}_4 положительные, а элемента \mathcal{E}_1 – отрицательный. Далее для студента формируется список корректирующих мероприятий (например, темы теоретического материала для повторения, список задач и т.д.), и после их реализации проводится повторная передача теста): полная (T_2) или частичная (T_2^1).

В частном случае при равномерном распределении 1) количества вопросов по каждому элементу в полном множестве и 2) количества правильных ответов все результаты для элементов будут одинаковы и равны результату теста, т.е. вариант дешифрации 1а. Но на практике чаще встречается общий подход со случайным и недетерминированным законом распределения.

Пример 2. Возьмем следующие исходные данные для дешифрации:

- анализируем тест T_2 , который контролирует элементы $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$;
- тест представляет собой защиту лабораторной работы;
- значения результатов $r_{ij} \in [0 \div 1]$;
- двухуровневая шкала оценки ($R_j(r_{ij}) \in [0 \div 0,5)$ – отрицательный результат, $R_j(r_{ij}) \in [0,5 \div 1]$ – положительный результат).

Для представленного вида теста по высказанным выше соображениям удобна его декомпозиция на следующие составляющие, которые соотносятся с соответствующим элементом и являются для него элементарным, т.е. проверяющим только его, тестом (T_j^i):

- умение работать с лабораторной установкой (инструментарием проектирования, средой моделирования) (T_2^1);
- умение применить методику выполнения и получить результаты эксперимента (T_2^3);
- умение выполнить обработку и представление результатов работы (T_2^4).

Каждый элементарный тест характеризуется результатом r_{ij} , который определяет эксперт (например, преподаватель), а затем оценивается по выбранной шкале $[0, 1]$. Предположим, что были получены следующие результаты: $r_{12} = 0,7$, $r_{32} = 0,8$, $r_{42} = 0,3$. Из приведения результатов элементарных тестов к двух-

уровневой шкале видно, что элементы дисциплинарной компетенции \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_3 на тесте T_2 освоены, а элемент \mathcal{E}_4 – нет и нуждается в дополнительном изучении.

Результат теста R_2 определяется с помощью интегро-дифференциального критерия, например, при равнозначных элементарных тестах, как среднее значение результатов (оценка $R_2 = (0,7 + 0,8 + 0,3)/3 = 0,6$) или с учетом важности каждого элементарного теста через различающиеся весовые коэффициенты (показатели важности). После получения оценок для студента формируется список корректирующих мероприятий (например, темы теоретического материала для повторения, дополнительное задание и т.д.), и после их реализации проводится повторная передача теста): полная (T_2) или частичная (T_2^4).

Для более эффективной процедуры тестирования и более точной локализации результатов необходим переход от безусловной процедуры тестирования к условной. В этом случае последовательность подачи тестов зависит от результатов предшествующих проверок. Далее будут показаны особенности безусловной процедуры тестирования и переход к условным алгоритмам тестирования и дешифрации.

Особенности применения безусловного алгоритма поиска. Основная задача контроля – определить уровень освоения каждого ЭДК, чтобы далее, используя интегро-дифференциальный критерий, определить уровень освоения каждого компонента дисциплинарной компетенции («знание», «умение», «владение»), затем – дисциплинарной компетенции, а после изучения всех дисциплин – всей компетенции. Для каждой выбранной шкалы задается пороговое значение, по превышению которого элемент считается освоенным. При нормализации оценок внутри диапазона $[0, 1]$ элемент можно считать освоенным, если его оценка больше заданного порогового значения (например, 0,5 или любого другого). При традиционной четырехуровневой шкале (2, 3, 4, 5) можно считать элемент освоенным, если получена оценка 3, 4 или 5 (как это принято сейчас в школах, средних учебных заведениях и в большинстве высших учебных заведений). Также можно нормализовать оценку к упомянутому выше диапазону $[0, 1]$, например, так: $2 \rightarrow 0,25, 3 \rightarrow 0,5, 4 \rightarrow 0,75, 5 \rightarrow 1$.

В простейшем случае можно запланировать совокупность средств контроля так, чтобы каждый элемент проверяется одним отдельным тестом, поэтому проблем с формированием оценки и проверкой уровня его освоения нет – она совпадает с оценкой за тест. При этом результаты проверки данного элемента на других, незапланированных тестах (других средствах контроля) можно игнорировать. Однако в общем случае элемент может контролироваться несколькими тестами, поэтому оценка уровня освоения элемента вычисляется с использованием интегро-дифференциального критерия. При этом, как отмечалось выше, возможно возникновение такого явления, как *компенсация*.

В главе 3 были введены определения рисков неправильного принятия решения – положительной и отрицательной компенсации. *Положительная компенсация* проявляется в случае, когда принимается решение о том, что элемент освоен, за счет положительных результатов одних проверок при наличии отрицательных результатов одной или нескольких элементарных проверок. *Отрицательная компенсация* проявляется в случае, когда принимается решение о том, что элемент не освоен, за счет отрицательных результатов одних проверок при наличии положительных результатов одной или нескольких элементарных проверок. В зависимости от целей и требований проверки явлением компенсации можно пренебречь (например, при промежуточной или рубежной аттестации) либо ее необходимо учитывать (например, при самоконтроле студентами освоения учебного материала). Для устранения явления компенсации требуется обязательная логическая декомпозиция теста и результатов его выполнения, а также переход к условной процедуре диагностирования и, возможно, мультипликативному критерию оценки.

В зависимости от требований (нормативных документов Министерства образования и науки РФ, рекомендаций Учебно-методических объединений вузов в соответствующей профессиональной сфере, локальных актов вуза, внутренних положений выпускающей кафедры и т.п.) критерии принятия решения об освоении, а также об уровне усвоения, могут быть разные.

Например, элемент \mathcal{E}_i может считаться освоенным, если:

- все результаты проверки элемента положительные ($\check{r}_{ij} = 1$ для $j \in [1, H]$);
- результат расчета оценки $O(\mathcal{E}_i)$ с использованием интегро-дифференциального критерия [69] положительный ($\check{O}(\mathcal{E}_i) = 1$);
- определенный процент оценок за проверяющие элемент тесты положительные (50 %, 75 %, 90 % и т.п.) и т.д.

5.1.5. Разработка, реализация и верификация алгоритма условного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения

Подход к реализации условной процедуры тестирования. Безусловный алгоритм поиска представляет собой первую итерацию процедуры обработки результатов и принятия решения об уровне освоения дисциплинарных компетенций и их составляющих (хотя, в определенных случаях, может рассматриваться как самостоятельная и законченная процедура). Далее, при необходимости, начинают работать алгоритмы *условного* поиска неосвоенного элемента. Они позволяют минимизировать объем проверок и увеличить глубину локализации.

Смысл условной процедуры тестирования – при отрицательных результатах предшествующей безусловной процедуры локализации обеспечить минимальное количество дополнительных проверок для достижения максимальной глубины локализации недостаточно освоенных элементов. Указанные вопросы мало освещены в известных нам публикациях и научно-методических работах и требуют дополнительного исследования.

Условная процедура может быть реализована в двух вариантах.

1. Как процедура коррекции результатов при реализации алгоритма безусловного поиска. После подачи всех тестов (проведения всех контрольных мероприятий – по теме, модулю или всей дисциплине, в зависимости от покрытия средствами контроля конкретного оцениваемого ЭДК) и дешифрации результатов:

- а) определяются неосвоенные элементы ($r_{ij} < \eta$ или $\check{r}_{ij} = 0$);
- б) формируется список дополнительных тестов;
- в) формируется список корректирующих мероприятий и проводится их реализация;

- г) организуется тестирование;
- д) оцениваются результаты;
- е) в зависимости от наличия ресурсов и нормативов (например, количество пересдач) алгоритм возвращается на этап а).

Данный подход эффективно реализуем в случае, когда ЭДК формируются и, соответственно, контролируются тестами в течение одного сравнительно небольшого интервала времени (например, модуля учебной дисциплины, длительностью приблизительно несколько недель). В противном случае, при более длительном интервале учебного процесса, например, семестре, будет затруднительна реализация дополнительных корректирующих и контролирующих мероприятий, поскольку неосвоенных элементов может быть достаточно много (а статистика в этом плане для современного российского студенчества, увы, неутешительна). В конце семестра нагрузка на студентов, преподавателей, ресурсы вуза будет значительная, что обязательно скажется на качестве результатов обучения и самого учебного процесса. Также обязательным является условие непрерывности элементов и контролирующих их тестов, что позволяет считать результаты тестирования независимыми друг от друга.

2. Как самостоятельная условная процедура тестирования. В данном случае после подачи каждого теста (или набора тестов) производится обработка результатов и выбор следующего теста (или набора тестов) в зависимости от полученных результатов. Начать процедуру можно, например, с теста, покрывающего максимальное количество элементов (вес столбца таблицы 5.1.3), или в хронологическом порядке (в соответствии с графиком учебного процесса по дисциплине).

Обязательным условием в данном варианте реализация уровневой модели компонентной структуры дисциплинарной компетенции, предложенной в [70]. Рассмотрим один из вариантов фрагмента обобщенной уровневой модели (рисунок 5.1.2). Если оценка за тест элемента показала недостаточный уровень освоения, то по уровневой модели нужно определить, какими еще способами контролируется данный элемент.

Тесты умений, например, применяются для проверки способности пользоваться методами и инструментальной средой, тесты владений – проверка способности использования практических навыков в профессиональной деятельности. Более подробно классификация тестов приведена в [65].

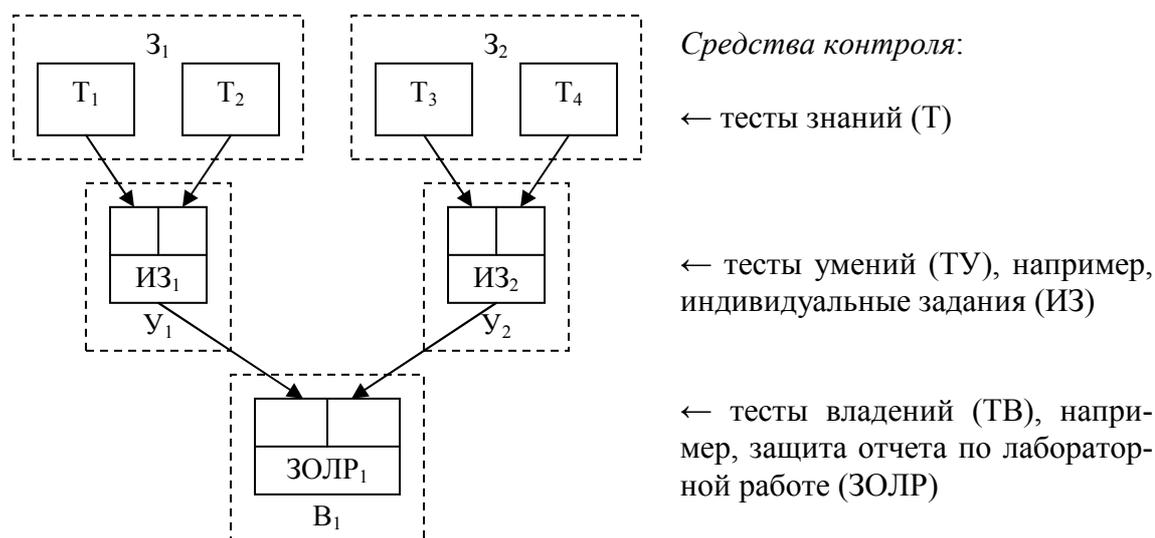


Рисунок 5.1.2 – Пример уровневой модели компонентной структуры дисциплинарной компетенции

Для предлагаемой уровневой модели можно утверждать, что частично знания могут быть проконтролированы при оценке умений, а частично умения – при оценке владений. Иными словами, при построении средств контроля i -го уровня используются фрагменты тестовых заданий $(i-1)$ -го уровня. Это позволяет, наряду с возможностью реализации условной процедуры тестирования, упростить и формализовать процедуру построения тестов, а также расширить базу тестовых заданий.

Например, при оценке элемента Z_1 , кроме теста знаний T_1 , контроль может быть осуществлен также в рамках индивидуального задания $IЗ_1$ (см. рисунок 5.1.2). Таким образом, в соответствии с интегро-дифференциальным критерием, оценка уровня освоения элемента Z_1 для рассматриваемого примера $O(Z_1)$ складывается из оценки за тест знаний T_1 и оценки за индивидуальное задание $IЗ_1$, контролирующее данный элемент Z_1 ($IЗ_1^{Z_1}$), с соответствующими весовыми коэффициентами:

$$O(Z_1) = k_1 \cdot O(T_1) + k_2 \cdot O(IЗ_1^{Z_1}),$$

где выполняется условие нормирования весовых коэффициентов $k_1 + k_2 = 1$. В общем случае выражение для оценки элемента Θ_i может быть записано так:

$$O(\Theta_i) = \sum_{j=1}^{N_{\text{осн.}}} k_j^{\text{осн.}} \cdot O(\text{СК}_j^{\text{осн.}}) + \sum_{l=1}^{N_{\text{доп.}}} k_l^{\text{доп.}} \cdot O(\text{СК}_l^{\text{доп.}}), \quad (5.1.2)$$

где $\text{СК}_j^{\text{осн.}}$ – основные средства контроля для оценивания уровня освоения проверяемого элемента, характерные для каждого вида компонентов компетенций (знаний, умений, владений); $\text{СК}_l^{\text{доп.}}$ – дополнительные средства контроля для оценивания уровня освоения проверяемого элемента в соответствии с уровневой моделью компонентной структуры компетенции; $N_{\text{осн.}}$ ($N_{\text{доп.}}$) – количество основных (дополнительных) средств контроля для оценивания проверяемого элемента; k – весовые коэффициенты. Очевидно, что должны соблюдаться следующие условия:

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{осн.}}} k_j^{\text{осн.}} + \sum_{l=1}^{N_{\text{доп.}}} k_l^{\text{доп.}} = 1, \quad \sum_{j=1}^{N_{\text{осн.}}} k_j^{\text{осн.}} \gg \sum_{l=1}^{N_{\text{доп.}}} k_l^{\text{доп.}}. \quad (5.1.3)$$

После задания уровневой модели компонентной структуры всех дисциплинарных компетенций, формируемых в конкретной дисциплине, преподаватель строит (например, с помощью автоматизированной системы или вручную) ИДК оценок всех формируемых элементов ДК. После этого определяются (экспертно или путем расчетов) минимальные (пороговые) значения для оценок по основным для каждого ЭДК средствам контроля, при которых реализуется требуемый уровень освоения. Далее оцениваются пороговые значения результатов для дополнительных способов контроля по каждому ЭДК.

Достоинством указанного подхода является меньшее количество дополнительных корректирующих мероприятий и проверяющих качество освоения ЭДК контрольно-измерительных материалов, позволяющее более эффективно использовать ресурсы студентов, преподавателей и вуза. Недостатками, или правильней сказать, особенностями данного подхода, являются необходимость разработки усложненной (детализированной) уровневой модели компонентной структуры каждой дисциплинарной компетенции, формирования ИДК для оценок, расчет весовых коэффициентов, моделирование и прогнозирование оценок. Анализ указанных особенностей позволяет сделать вывод, что эффективно предлагаемый

подход может быть реализован только с внедрением в учебный процесс автоматизированной информационной системы. Она поможет и студенту, и преподавателю, и учебно-методическим службам вуза эффективно распределить ресурсы и при этом выполнить главную задачу – обеспечить требуемый уровень качества учебного процесса.

Разработка и реализация алгоритма условного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения на основе дихотомии. Целью данного раздела является исследование вопросов реализации алгоритма условного поиска недостаточно освоенных элементов дисциплинарных компетенций, используя при этом аппарат и методы технической диагностики, адаптированные к рассматриваемой предметной области [55, 171, 178].

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 на недостаточный уровень 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 $[h/2]$ элементов ($[]$ – операция округления до ближайшего большего значения), на втором – $[h/4]$, на i -ом – $[h/2^i]$. Таким образом, *верхняя граница количества шагов поиска* определяется так:

$$N_{\text{ш. max}} = [\log_2 h]. \quad (5.1.4)$$

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

$$N_{\text{т}}^i = [2^i], \quad (5.1.5)$$

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

$$N_{\text{т}}^i = 2 \cdot (h - 2^{i-1}). \quad (5.1.6)$$

Соответственно, *верхняя оценка количества тестов поиска* равна:

$$N_{\text{т. max}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ш. max}}} N_{\text{т}}^i. \quad (5.1.7)$$

На i -ом шаге количество контролируемых тестом элементов находится в диапазоне от $[h/2^i]-1$ до $[h/2^i]$.

Верхняя оценка показывает максимальное количество шагов проверки и тестов поиска, которое необходимо сформировать для локализации элемента с недостаточным уровнем освоения с заданной точностью. При этом количество тестов на каждом шаге увеличивается в два раза относительно предыдущего. При применении 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 с показательной зависимостью.

При реализации указанного подхода эффективным представляется переход от безусловной процедуры поиска недостаточно освоенного элемента к условной. Условием перехода на следующий шаг поиска является положительный результат поиска на текущем шаге. При этом обязательно необходимо учитывать имеющиеся ограничения (график учебного процесса, возможность использования материально-технических и кадровых ресурсов для организации, по сути, индивидуализации 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, то можно

реализовать процедуры обнаружения и поиска нЭДК с близкими к минимальным значениями количества шагов, длины тестов, использования ресурсов, а также приемлемо высокой 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 обязательном возникновении необходимости последующей дешифрации результатов теста для каждого контролируемого им элемента, что значительно усложняет процедуру поиска.

Пример 1. Пусть количество ЭДК $h = 9$, а тест обнаружения один и покрывает все элементы.

Выполним необходимые расчеты для верхней оценки количественных параметров тестов поиска согласно (5.1.4) – (5.1.7):

$$N_{ш. \max} = [\log_2 h] = [\log_2 9] = 4;$$

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

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

Выполним необходимые расчеты для нижней оценки количественных параметров тестов поиска:

$$N_{ш. \min} = 1, N_{т. \min} = 9.$$

Ниже приведена графическая интерпретация условного алгоритма поиска, использующего разбиения на каждом шаге поиска, основанные на принципе дихотомии, применительно к определению количества тестов и контролируемых ими элементов с недостаточным уровнем освоения (рисунок 5.1.3) для рассматриваемого примера ($h = 9$).

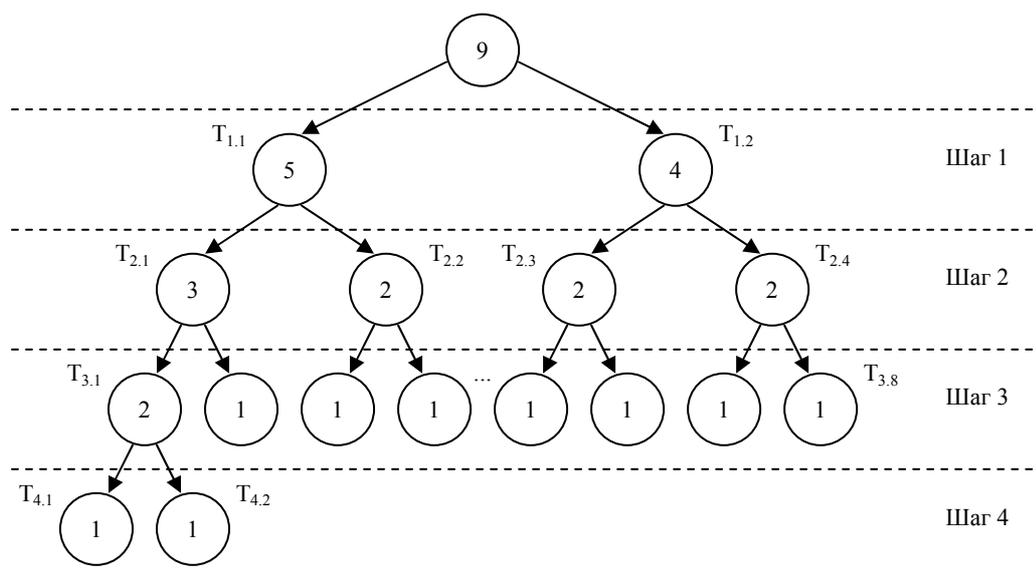


Рисунок 5.1.3 – Граф условного алгоритма поиска

На первом шаге полное множество элементов делится на 2 подмножества – из 5 элементов $\{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4, \mathcal{E}_5\}$ и 4 элементов $\{\mathcal{E}_6, \mathcal{E}_7, \mathcal{E}_8, \mathcal{E}_9\}$ (можно было бы 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 $\{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3\}$ и $\{\mathcal{E}_4, \mathcal{E}_5\}$, второе – на $\{\mathcal{E}_6, \mathcal{E}_7\}$ и $\{\mathcal{E}_8, \mathcal{E}_9\}$ 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 таблицах 5.1.6 и 5.1.7.

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 уровень освоения каждого ЭДК с использованием предложенного интегро-дифференциального критерия (ИДК) [69].

Таблица 5.1.6 – Таблица диагностирования для верхней оценки

	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}
Э ₁	*	*		*				*								*	
Э ₂	*	*		*				*									*
Э ₃	*	*		*					*								
Э ₄	*	*			*					*							
Э ₅	*	*			*						*						
Э ₆	*		*			*						*					
Э ₇	*		*			*							*				
Э ₈	*		*				*							*			
Э ₉	*		*				*								*		
		Шаг 1		Шаг 2				Шаг 3							Шаг 4		

Таблица 5.1.7 – Таблица диагностирования для нижней оценки

	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}
Э ₁	*	*								
Э ₂	*		*							
Э ₃	*			*						
Э ₄	*				*					
Э ₅	*					*				
Э ₆	*						*			
Э ₇	*							*		
Э ₈	*								*	
Э ₉	*									*
		Шаг 1								

Решение для ЭДК может приниматься по двоичной шкале («освоен/не освоен») или по выбранной k -ичной шкале на основании дешифрации результатов реализации тестов поиска. При этом количество шагов, а также реализуемых на каждом из них диагностических тестов, может быть уменьшено за счет применения предлагаемых ниже алгоритмов обработки и дешифрации. Оценка уровня освоения осуществляется в соответствии с предлагаемым интегро-дифференциальным критерием (ИДК).

Вследствие линейного (аддитивного) формата ИДК возможно возникновение явления *компенсации*, заключающееся в том, что при суммировании высокие оценки компенсируют низкие, и наоборот.

Утверждение 1. В результате реализации теста фиксируются три события:

- все контролируемые тестом элементы освоены (S^1);
- ни один из контролируемых тестом элементов не освоен (S^0);
- результат нуждается в уточнении тестами следующих шагов (S^*).

Доказательство приводится в разделе 5.1.

Для каждого шага диагностирования результаты всех тестов проверяются на выполнение указанных условий. Если выполнены условия точного принятия решения (S^1 или S^0), то процедура поиска для всех контролируемых тестом элементов прекращается, рассчитывается ИДК и фиксируется уровень освоения по двоичной шкале («освоен/не освоен»). Если результат нуждается в уточнении, то проводятся тесты следующего шага диагностирования для контролируемых тестом элементов. В следующих разделах будет приведен алгоритм поиска нЭДК и его реализация в среде имитационного моделирования.

Применение интегро-дифференциального критерия для оценки результатов условной процедуры поиска нЭДК, построенной на основе дихотомии. В работе [69] были исследованы проблемы составления и применения интегро-дифференциального критерия оценки уровня освоения компонентов и элементов компетенций. Оценка степени освоения каждого элемента дисциплинарной компетенции (по двухуровневой или многоуровневой шкалам) определяется с использованием многоуровневого ИДК. Он вычисляется по результатам тестов, проверяющих, в том числе, и данный ЭДК, на протяжении всех шагов диагностирования:

$$O_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \lambda_{i,j} \cdot R_{i,j} \cdot v_{i,j}^{(k)}, \quad (5.1.8)$$

где O_k – уровень освоения элемента \mathcal{E}_k , нормализованный в диапазоне $[0; 1]$; N – количество шагов тестирования; N_i – количество тестов на i -м шаге тестирования; $R_{i,j}$ – результат реализации теста $T_{i,j}$ (i – номер шага тестирования, j – номер теста

на i -м шаге тестирования); $\lambda_{i,j}$ – весовой коэффициент результата теста $T_{i,j}$; $v_{i,j}^{(k)}$ – коэффициент покрытия, принимающий следующие значения: 1, если элемент \mathcal{E}_k контролируется тестом $T_{i,j}$; 0, если \mathcal{E}_k не контролируется тестом $T_{i,j}$. Для весовых

коэффициентов выполняется условие нормирования
$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \lambda_{i,j} \cdot v_{i,j}^{(k)} = 1.$$

Определение для каждого теста проверяемых им элементов осуществляется на этапе проектирования рабочей программы дисциплины и реализуется в *таблице соответствия* ЭДК и диагностических тестов. В [69] Предложена методика определения весовых коэффициентов по заданной таблице соответствия, которая составлена из тестов обнаружения (без дешифрации результатов по каждому контролируемому тестом ЭДК, только с анализом общего результата теста).

При определении весовых коэффициентов необходимо учесть тот факт, что результат теста не дешифрируется на составляющие, соответствующие каждому из контролируемых тестом элементов.

Утверждение 2. Весовые коэффициенты дифференциальных оценок в составе ИДК (результатов тестов обнаружения и/или поиска, контролирующих данный ЭДК) определяются в обратно пропорциональной зависимости от общего количества ЭДК ($N_{i,j}$) контролируемых тестом $T_{i,j}$.

Доказательство. Пусть тесты построены так, что чем меньше ЭДК контролирует тест, тем больше глубина (точность) локализации, т.е. выше вероятность обнаружения элементов с недостаточным уровнем освоения. Следовательно, максимальный весовой коэффициент имеет тест, контролирующий только один элемент, и при его построении необходимо учитывать ограничения и рекомендации.

В соответствии с приведенным утверждением предлагается определять весовые коэффициенты результатов тестов при составлении интегро-дифференциального критерия оценки каждого ЭДК следующим образом:

$$\lambda_{i,j} = \frac{1}{N_{i,j} \cdot \sum_{l=1}^N \sum_{l=1}^{N_l} \left(\frac{1}{N_{i,j}} \right) \cdot v_{i,j}^{(k)}}. \quad (5.1.9)$$

Пример 1. Построим интегро-дифференциальный критерий для элемента \mathcal{E}_2 (см. (5.1.8)). Для этого выпишем значения коэффициентов покрытия с учетом того, что элемент \mathcal{E}_2 контролируется тестами поиска $T_{1.1}$, $T_{2.1}$, $T_{3.1}$ и $T_{4.2}$: $v_{1.1}^{(2)} = v_{2.1}^{(2)} = v_{3.1}^{(2)} = v_{4.2}^{(2)} = 1$. В соответствии с (5.1.8) построим интегро-дифференциальный критерий оценки уровня освоения элемента \mathcal{E}_2 :

$$O_2 = \lambda_{1.1} \cdot R_{1.1} + \lambda_{2.1} \cdot R_{2.1} + \lambda_{3.1} \cdot R_{3.1} + \lambda_{4.2} \cdot R_{4.2}.$$

Согласно (5.1.9), определим весовые коэффициенты результатов тестов, контролирующих элемент \mathcal{E}_2 :

$$\lambda_{1.1} = 1/(N_{1.1} \cdot (1/N_{1.1} + 1/N_{2.1} + 1/N_{3.1} + 1/N_{4.2})) = 1/(5 \cdot (1/5 + 1/3 + 1/2 + 1)) = 0.098;$$

$$\lambda_{2.1} = 1/(N_{2.1} \cdot (1/N_{1.1} + 1/N_{2.1} + 1/N_{3.1} + 1/N_{4.2})) = 1/(3 \cdot (1/5 + 1/3 + 1/2 + 1)) = 0.164;$$

$$\lambda_{3.1} = 1/(N_{3.1} \cdot (1/N_{1.1} + 1/N_{2.1} + 1/N_{3.1} + 1/N_{4.2})) = 1/(2 \cdot (1/5 + 1/3 + 1/2 + 1)) = 0.246;$$

$$\lambda_{4.2} = 1/(N_{4.2} \cdot (1/N_{1.1} + 1/N_{2.1} + 1/N_{3.1} + 1/N_{4.2})) = 1/(1 \cdot (1/5 + 1/3 + 1/2 + 1)) = 0.492.$$

Условие нормирования весовых коэффициентов выполняется – их сумма равна 1.

Очевидно, что расчет ИДК по общим результатам тестов, а не по результатам дешифрации относительно каждого контролируемого элемента, приводит к снижению точности вычислений. При использовании двоичной шкалы оценивания и предлагаемого подхода к определению весовых коэффициентов, как будет показано ниже, требуемая точность гарантировано будет обеспечена. Однако при переходе от двухуровневой к многоуровневым шкалам (например, традиционной четырехуровневой «5-4-3-2») вследствие возникновения *компенсации* заданная точность определения оценки не может быть обеспечена, что потребует применения сложных процедур дешифрации. Далее в настоящей работе ограничимся двухуровневой шкалой оценивания.

Разработка алгоритма условного поиска нЭДК для способа тестирования на основе принципа дихотомии. Перед разработкой алгоритмов поиска нЭДК необходимо отметить следующие условия.

1. Для разработки и реализации алгоритмов диагностирования может потребоваться пересмотр и изменение компонентной структуры дисциплинарных компетенций (увеличение или уменьшение их количества, коррекция формули-

ровок и т.д.). При этом реализуется *контролепригодная* структура, которая удобна для диагностирования и, при необходимости, трансформации в исходный вариант.

2. Необходимо совместное (взаимоувязанное, итеративное) построение диагностических тестов (выбор формата таблицы соответствия, конструирование составных и смешанных тестов с заданной покрывающей способностью и т.д.) и контролепригодного объекта диагностирования с требуемым содержанием и структурой компонентов и элементов дисциплинарных компетенций.

Выполнение вышеуказанных требований позволяет разработать и реализовать процедуры и алгоритмы диагностирования.

В данном разделе предлагается алгоритм условного поиска нЭДК для способа тестирования, построенного по принципу дихотомии (рисунок 5.1.4). Исходными данными является общее количество равнозначных (равновероятных) ЭДК – h . Для них определяется количество шагов тестирования $N_T = \lceil \log_2 h \rceil$ ($\lceil \]$ – операция округления в большую сторону). Условия, по которым принимается решение о принадлежности результата к одному из вариантов (S^1 , S^0 или S^*), рассматривается в следующем разделе данной главы.

Для каждого шага в соответствии с принципом дихотомии определяется необходимое количество тестов, причем количество тестов увеличивается, а количество контролируемых элементов – уменьшается, примерно в 2 раза.

Реализация тестового диагностирования производится в соответствии с условной процедурой поиска. Сначала реализуются тесты первого шага. В случае если результат теста принадлежит либо диапазону S^0 , либо диапазону S^1 (которые определяются для каждого теста, поскольку зависят от количества контролируемых ими элементов), то имеются условия для уверенного принятия решения. Если результат требует уточнения, то реализуются тесты второго шага и т.д. После реализации всех необходимых тестов проводится расчет уровня освоения каждого из h ЭДК и оценивание его по двухуровневой шкале.

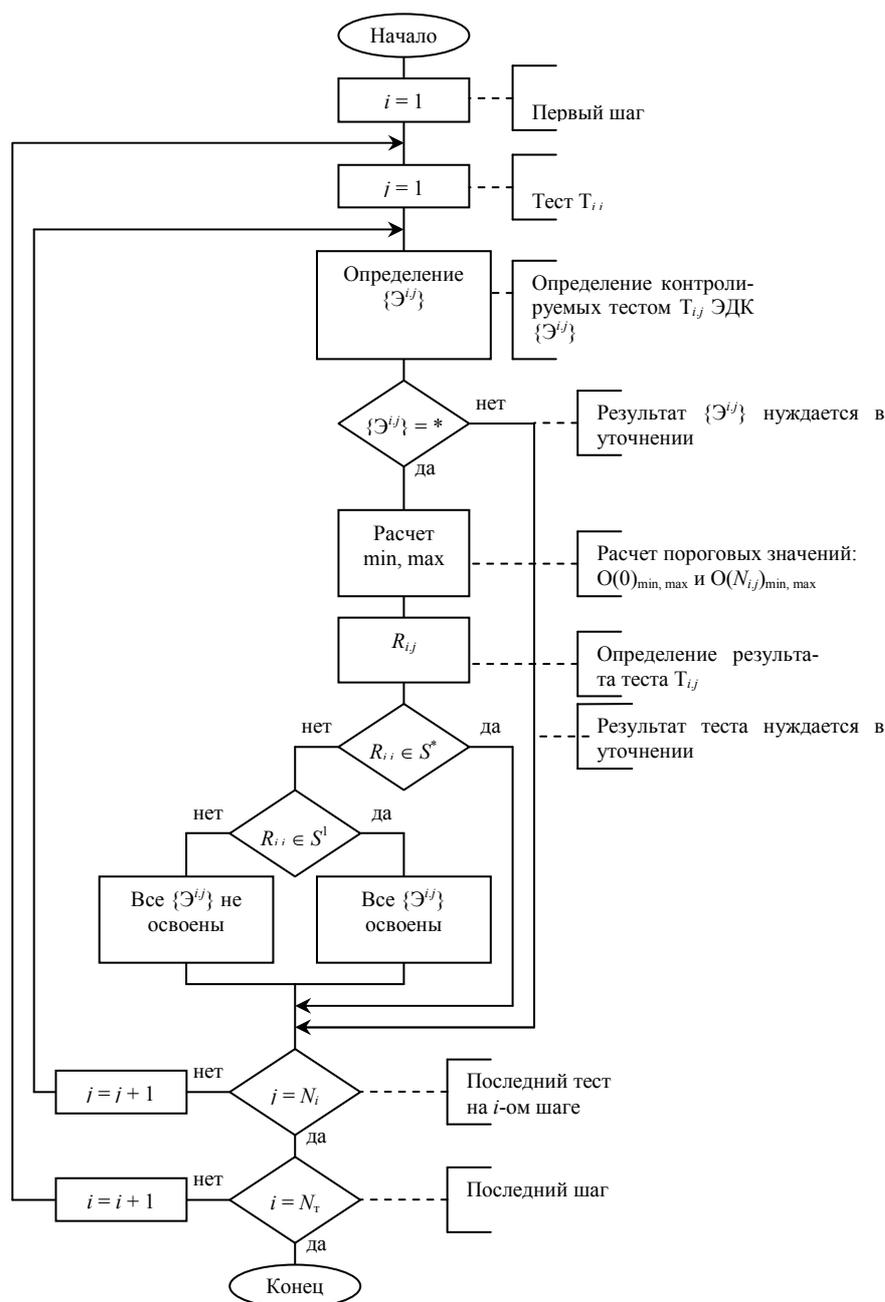


Рисунок 5.1.4 – Схема алгоритма условного поиска nЭДК на основе принципа дихотомии

Применение предлагаемого алгоритма позволяет сократить количество шагов, а, соответственно, и реализуемых тестов поиска. С точки зрения уменьшения реализуемой длины тестовой последовательности эффективность алгоритма может быть оценена коэффициентом эффективности

$$K_3 = (N_T - N_D) / N_D \cdot 100 \%, \quad (5.1.10)$$

где N_T – количество тестов, реализуемых в случае применения предлагаемого алгоритма; N_D – подготовленное количество тестов при дихотомии. Очевидно, коэф-

коэффициент эффективности зависит от распределения конкретных значений оценок каждого элемента (чем меньше разброс оценок элементов, тем больше коэффициент) и имеет случайный характер. Максимальное значение коэффициента эффективности соответствует минимальному количеству шагов, равному 1. Такая ситуация возможна в случаях, когда все элементы или имеют почти максимальный уровень (близкий к 1), или почти минимальный уровень освоения (близкий к 0), и решение принимается без необходимости дальнейшего поиска (на ранних шагах диагностирования).

В общей оценке параметров предлагаемого алгоритма поиска нЭДК разработана программа имитационного моделирования. Она позволяет для случайно заданных исходных данных (уровня освоения каждого ЭДК) промоделировать работу алгоритма дихотомии и определить количество шагов диагностирования, необходимых для реализации тестов поиска, а также коэффициент эффективности.

Верификация предложенного алгоритма условного поиска нЭДК с помощью программы имитационного моделирования. Для исследования возможностей алгоритма эффективно использовать моделирование. Оно позволяет выполнить имитацию исходных данных (например, уровня освоения ЭДК), выполнить расчет по заданному алгоритму и проанализировать полученные результаты. Поэтому была разработана программа имитационного моделирования в среде Visual Basic for Application (VBA), интегрированной в пакет Microsoft Excel [203]. Исходные данные для моделирования:

- заданное общее количество контролируемых элементов h ;
- случайно выбранные значения уровня освоения для каждого элемента в диапазоне от 0 до 1;
- линейный формат интегро-дифференциального критерия;
- глубина локализации диагностирования до каждого ЭДК;
- произвольная кратность (количество) нЭДК;
- пороговое значение для принятия решения о том, освоен элемент или нет.

Применение разработанной программы моделирования условного алгоритма поиска нЭДК с применением аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки уровня освоения позволило решить следующие задачи:

1. Построить в соответствии с принципом дихотомии *таблицу соответствия* ЭДК и контролирующих их тестов ($T_{i,j}$, где i – номер шага тестирования; j – номер теста на i -м шаге тестирования).

2. Рассчитать в соответствии с интегро-дифференциальным критерием значения результатов тестов.

3. Реализовать предложенный алгоритм условного поиска – дихотомию.

4. Рассчитать весовые коэффициенты дифференциальных оценок (результатов тестов поиска) для определения освоения ЭДК в соответствии с интегро-дифференциальным критерием.

5. Определить уровень освоения ЭДК с использованием результатов тестов, без детализации результатов каждого теста по контролируемым им ЭДК.

Результаты работы программы моделирования представлены на рисунке 5.1.5. Таблица соответствия строится в предположении, что результат теста определяется как линейный интегро-дифференциальный критерий уровней освоения контролируемых им равнозначных (равновероятных) ЭДК, каждый из которых имеет уровень освоения в диапазоне $[0; 1]$. Значения уровней каждого ЭДК задаются случайным образом (столбец «То» – тест обнаружения, контролирующий все элементы). Далее по принципу дихотомии строятся все тесты поиска $T_{i,j}$, где i – номер шага диагностирования, j – номер теста на i -м шаге диагностирования. Заданные случайным образом значения уровня освоения каждого элемента переписываются в соответствующие ячейки контролирующих их тестов, но учитываются только при сравнении с рассчитанным по ИДК результатом (столбец «IDC»).

Вычисление результата после выполнения всех шагов тестирования осуществляется с использованием предложенного интегро-дифференциального критерия – весовой коэффициент теста определяется количеством контролируемых им элементов по методике, предложенной выше. Если на определенном шаге ре-

результаты теста не требуют дальнейшего уточнения, т.е. выполняются условия точного определения (например, результат подачи теста Т2.3, отмеченный символом «0», соответствующий состоянию S^0 , показывает, что ни один из контролируемых тестом элементов точно не освоен), то далее дихотомия для проверки контролируемых им элементов (Э6, Э7 и Э8) не производится (тесты Т3.5 (контроль Э6 и Э7), Т3.6 (контроль Э8), Т4.3 (контроль Э6) и Т4.4 (контроль Э7) не подаются). После реализации всех шагов диагностирования по каждому ЭДК определяется уровень освоения по двоичной шкале (0/1, столбец «IDC», дополнительно иллюстрированный цветом: красный – элемент не освоен, зеленый – элемент освоен).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		To	T1.1	T1.2	T2.1	T2.2	T2.3	T2.4	T3.1	T3.2	T3.3	T3.4	T3.5	T3.6	T3.7	T3.8	T4.1	T4.2	T4.3	T4.4	IDC
2	31	0,53	0,53		0,53				0,53								0,53				0,54
3	32	0,43	0,43		0,43				0,43									0,43			0,49
4	33	0,92	0,92		0,92					0,92											0,81
5	34	0,85	0,85			0,85					0,85										0,69
6	35	0,02	0,02			0,02						0,02									0,21
7	36	0,02		0,02			0,02														0,23
8	37	0,17		0,17			0,17														0,23
9	38	0,23		0,23			0,23														0,23
10	39	0,7		0,7				0,7							0,7						0,67
11	310	0,78		0,78				0,78							0,78						0,72
12	Ri,j	0,46	0,55	0,38	0,63	0,44	0,14	0,74	0,48	0,92	0,85	0,02		0,7	0,78	0,53	0,43				0,48
13		*	*	*	*	*	0	*	*	1	1	0		1	1	1	0				
14			Шаг 1		Шаг 2				Шаг 3				Шаг 4								
15	N Т	19																			
16	R Т	15																			
17	K%	21																			

Рисунок 5.1.5 – Экранная форма программы моделирования

Пример 2. Приведем пример расчета уровня освоения элемента Э2, используя весовые коэффициенты, определенные в примере 1, а результаты тестов взяв из строки «Ri,j» в таблице диагностирования (см. рисунок 5.1.5).

$$\begin{aligned}
 O_2 &= \lambda_{1.1} \cdot R_{1.1} + \lambda_{2.1} \cdot R_{2.1} + \lambda_{3.1} \cdot R_{3.1} + \lambda_{4.2} \cdot R_{4.2} = \\
 &= 0,098 \cdot 0,55 + 0,164 \cdot 0,63 + 0,246 \cdot 0,48 + 0,492 \cdot 0,43 = 0,49.
 \end{aligned}$$

В исходных данных в столбце «То» случайным образом было задано значение уровня освоения элемента Θ_2 , равное 0,43. В результате расчета ИДК получено значение уровня освоения 0,49. И по заданному, и по полученному результатам можно сделать вывод о том, что оба они индицируют недостаточный уровень освоения (ниже заданного порогового значения 0,5).

Из сравнительного анализа столбцов «То» (исходные данные) и столбца «IDC» (результаты тестирования) можно сделать вывод, что тесты поиска позволили правильно определить уровень освоения всех элементов. Абсолютные значения результатов вычисления ИДК не анализируются, поскольку решается задача поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения. Для точного вычисления необходима дешифрация результатов тестов по каждому элементу.

В общем случае уровень освоения можно выявить на тестах, контролируемых только один ЭДК. Однако с достаточно большой вероятностью может встретиться такое распределение ЭДК, что количество тестов может быть уменьшено. Например, на рисунке 5.1.5 из заранее рассчитанных и подготовленных 19 тестов было реализовано 15, что привело к уменьшению фактического количества реализованных тестов в соответствии с (3.1) на 21 %, а это значит, что уменьшились и ресурсы (временные, технические и т.п.), требуемые для реализации процедуры поиска нЭДК произвольной кратности.

Тест каждого шага позволяет с большей глубиной и уровнем детализации выявить уровень освоения контролируемых им элементов. Естественно, это требует усложнения процедуры формирования тестов, поэтому выявление уровня освоения ЭДК на ранних этапах диагностирования существенно повышает эффективность и снижает ресурсоемкость процедуры контроля.

Необходимо отметить, что предлагаемый алгоритм (рисунок 5.1.4) больше подходит для тестов знаний, поскольку тесты каждого уровня можно формировать из общей структурированной базы данных. Тест обнаружения, который контролирует, например, все ЭДК одного типа, может содержать по несколько вопросов общего характера (определения, терминология и т.п.). По отрицательному результату очевидно, что дальнейшее тестирование не имеет смысла, поскольку

проверяемый не знает основ контролируемой тематики. Применение указанного подхода позволяет построить тесты с максимальной эффективностью и экономичностью.

Тесты умений и владений, как правило, являются сложными и требуют детализированной дешифрации результатов по каждому ЭДК в рамках каждого реализованного теста. Поэтому необходимо адаптировать предлагаемые алгоритмы поиска к контролю ЭДК разного вида.

Разработанные процедуры и алгоритмы диагностирования, а также программа имитационного моделирования, включены в состав методического, информационного, алгоритмического и программного обеспечения автоматизированной информационной системы, которая проектируется в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

5.2. Разработка и применение методики контролепригодного проектирования компонентной структуры дисциплинарной компетенции

Задачи разработки компонентной структуры ДК (определение количества, формулировок и взаимосвязи ЭДК), выбора способов формирования (видов аудиторной (АРС) и самостоятельной (СРС) работы студентов) и средств контроля (контролирующих мероприятий и заданий) закрепленных за дисциплиной ДК решает ведущий педагог в рамках проектирования учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД). Недостаточный опыт разработки УМКД вследствие малого времени апробации ФГОС ВПО, а также практически полное отсутствие нормативно-методической документации и научно-практических публикаций, приводят к формальному, поверхностному решению указанных задач. При произвольном построении компонентной структуры ДК не учитываются методы и алгоритмы диагностирования уровня освоения ЭДК, что проявляется как:

– отсутствие общих подходов к созданию и анализу методического и алгоритмического обеспечения систем контроля результатов обучения (сложность или

невозможность определения уровня освоения ЭДК с заданной точностью, затруднение поиска недостаточно освоенных ЭДК и т.д.);

- избыточность средств контроля («перегруз» студента и преподавателя, дублирование проверок и т.д.);

- неравномерное (при равнозначных ЭДК) или несоответствующее важности (при неравнозначных ЭДК) количество и трудоемкость средств контроля;

- выбор неэффективных средств контроля для заданных КДК и т.д.

При этом взаимоучет указанных факторов приводит к необходимости *контролепригодного проектирования* объектов компонентной структуры ДК (ЗУВ) [53]. Термин «контролепригодное проектирование» заимствован из *технической диагностики* и обозначает синтез объекта диагностирования с учетом требований диагностирования, облегчающих решение задачи контроля и поиска дефектов в объекте [55]. Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал практически полное отсутствие работ по решению указанной задачи в сформулированной постановке [72, 191, 192, 193].

Целью настоящего раздела является решение частной задачи анализа и выбора способа придания компонентной структуре дисциплинарной компетенции свойства контролепригодности. Выполняемое при этом совместное итеративное проектирование компонентной структуры и средств контроля позволит повысить качество контроля, которое однозначно отразится на повышении уровня освоения компетенций и их составляющих.

5.2.1. Проектирование контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции

Задача синтеза компонентной структуры дисциплинарных компетенций, а также выбора эффективных способов формирования и средств контроля, решается при проектировании рабочей программы дисциплины [180]. Преподаватель формулирует результаты изучения дисциплины в компетентностном формате: какие принципы, модели, термины, характеристики, информационные процессы студент должен знать, какие методы исследования и проектирования он должен уметь применять, какими современными инструментальными средствами, аппа-

ратом студент должен владеть, в виде соответствующей совокупности ЭДК. Далее преподаватель должен выбрать способы формирования (виды аудиторной и самостоятельной работы студентов) и средства контроля (тестовые задания, тесты) сформулированных ЭДК.

В общем случае, без учета методов диагностирования, общее количество ЭДК во многом определяет выбор способов формирования и средств контроля. Поэтому для первой итерации проектирования (результаты которой на следующих этапах будут скорректированы с учетом выбранных методов диагностирования уровня освоения ЭДК и ДК) *логично ограничивать* число ЭДК, избегая излишнего дробления или объединения. Например, в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) приняты следующие *рекомендации* по выбору количества ЭДК в расчете на одну дисциплинарную компетенцию: количество элементов «знать» – 3-4; количество элементов «уметь» – 2-3; количество элементов «владеть» – 1-2. При этом в некоторых дисциплинах компонент «владеть», связанный с опытом практической деятельности, может вообще не формироваться, будучи отнесенным к таким составляющим учебного процесса, как практики, научно-исследовательская работа и т.п. Также количество ДК в одной учебной дисциплине для ограничения сложности разработки УМКД устанавливается не более 2-3.

Средства контроля формируются преподавателем с учетом специфики дисциплины, а также выбранных способов формирования, и зачастую во многом определяются ими. Так, например, при наличии курса лабораторных работ средством контроля по формируемым ими элементам («уметь» и/или «владеть») выбирается «Подготовка и защита отчета», в процессе реализации которого у студента проверяется их уровень освоения.

Сформулированные элементы дисциплинарных компетенций и выбранные средства контроля связаны через таблицу диагностирования. Таблица диагностирования определяет, какими тестами контролируется каждый ЭДК и какие ЭДК контролирует каждый тест. Таким образом, определяются покрытие каждого элемента (ПЭ) и покрытие каждого теста (ПТ). Можно отметить взаимное влия-

ние формулировок ЭДК и средств контроля друг на друга. С одной стороны, по заданным формулировкам ЭДК подбираются и закрепляются за ним тесты, формируя покрытие элемента. С другой стороны, выбрав совокупность тестов (например, по заданной тематике теоретического материала, семинаров, лабораторных работ и т.п.), с учетом реализации процедур тестового диагностирования, ориентацией на заданную глубину (точность) поиска и т.д., можно подобрать требуемую компонентную структуру ДК (количество и формулировки ЭДК). Задача в указанной постановке в *технической диагностике* решается при *контролепригодном проектировании*, т.е. придание объекту контроля свойств, в дальнейшем облегчающих процедуру и повышающих качество диагностирования его состояния. Для рассматриваемого объекта контроля (ЭДК) свойство контролепригодности компонентной структуры заключается, например, в:

- возможности использования выбранных методов диагностирования (процедур поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения – нЭДК);
- подборе средств контроля (тестов) заданного вида;
- удовлетворении требований к точности и простоте алгоритма дешифрации результатов диагностирования;
- снижении сложности расчета интегро-дифференциального критерия оценки уровня освоения ЭДК;
- введении ограничений на количественные показатели компонентной структуры;
- задании пороговых значения покрытия таблицы диагностирования;
- соответствии содержанию и структуре тематического плана учебной дисциплины;
- соответствии графику учебного процесса дисциплины и т.д.

Укажем, что таблица диагностирования имеет две стадии заполнения:

- на этапе разработки рабочей программы дисциплины: для установления соответствия между ЭДК и контролирующими их тестами (установление покрытия);

– на этапе реализации дисциплины: для фиксации результатов текущего контроля уровня освоения ЭДК (реакций на тесты в двузначном или многозначном алфавитах).

Далее будут рассмотрены варианты покрытия таблицы диагностирования в процессе реализации первой стадии ее заполнения.

Каждый вариант покрытия таблицы диагностирования характеризуется определенными характеристиками, по которым их можно сравнивать друг с другом. В качестве примера указанных характеристик можно привести следующие:

– максимальное, минимальное и среднее покрытие элемента, характеризующее количество контролируемых его тестов и косвенно определяющее трудоемкость оценивания (например, временные, технические, кадровые и другие ресурсы);

– максимальное, минимальное и среднее покрытие теста, характеризующее количество контролируемых им элементов и косвенно определяющее сложность построения, процедуры тестирования и дешифрации результатов;

– особенности применения процедуры обнаружения и/или процедур безусловного или условного поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения;

– глубина (точность) локализации ЭДК с недостаточным уровнем освоения в совокупности с затраченными ресурсами и т.д.

Компонентную структуру формируемых дисциплинарных компетенций задает ведущий преподаватель, основываясь на содержании и структуре дисциплины, заданной системе ограничений и рекомендаций, методах оценивания и алгоритмах диагностирования уровня освоения ЭДК. Поэтому задача проектирования компонентной структуры ДК – нетривиальная, а способ ее решения – итеративный.

Таким образом, задача составления таблицы диагностирования, отражающей соответствие элементов дисциплинарных компетенций и проверяющих их средств контроля – тестов, решается параллельно (совместно) с проектированием рабочей программы дисциплины.

Средства контроля позволяют выявить и оценить уровень освоения ЭДК по заданной шкале оценивания с использованием выбранного метода диагностирования. Для общности терминов и компактности в дальнейшем будем обозначать средства контроля понятием «тест» (от слова англ. test — «испытание», «проверка»). Тест содержит тестовые задания, которые могут быть сформулированы в явном виде (например, вопросы, задачи и т.д.), а может сам представлять результат и быть объектом оценивания (например, реферат, доклад и т.д.). Применение единой терминологии будет востребовано при разработке методов контроля, основанных на *тестовом диагностировании*.

По принадлежности к контролю определенного компонента дисциплинарной компетенции примем следующие обозначения – *тесты знаний* (ТЗ), *тесты умений* (ТУ), *тесты владений* (ТВ). В общем случае будем полагать, что каждый компонент контролируется тестами, не участвующими (или игнорируемыми) в проверке других компонентов (исходя из этого введены термины ТЗ, ТУ и ТВ – для рассматриваемой диагностической модели). Это позволяет говорить о *прямых методах измерений*, в которых для каждого компонента выбран наиболее соответствующий, целостно и объективно контролирующей его вид тестов. Для уменьшения избыточности, а также для повышения точности диагностирования, могут быть применены *косвенные методы измерений*, которые основываются на том, что один компонент ДК может дополнительно контролироваться тестами других компонентов ДК (например, знания проверить при реализации тестов умений, умения – тестов владений и т.п.).

Ранее введены понятия *простой тест*, *составной тест*, *сложный тест*. Анализируя приведенную классификацию, можно указать, что для тестов знаний больше подходят простые и составные тесты, для тестов умений и владений – составные и сложные тесты. Как будет показано ниже, вид теста влияет на выбор формата таблицы диагностирования, а также на алгоритмы и методы реализации процедур контроля уровня освоения ЭДК.

5.2.2. Анализ вариантов построения таблиц диагностирования элементов дисциплинарных компетенций

Рассмотрим базовые варианты структуры (форматов) (основные (граничные) – 1, 2, 3 и комбинированный – 4) таблиц диагностирования однотипных элементов ДК количеством h и выбранных в дисциплине средств их контроля общим количеством H (в соответствии с общим форматом, приведенным в таблице диагностирования). В таблицах 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 для упрощения восприятия участие теста T_j в проверке элемента \mathcal{E}_i указано символом «*», подразумевая в дальнейшем (после реализации теста) размещение в данной ячейке соответствующих результатов тестирования и оценок. Для каждой строки рассчитывается значение «покрытие элемента» (V), которое определяется как количество тестов, участвующее в контроле данного ЭДК. Для каждого столбца рассчитывается значение «покрытие теста» (W), которое определяется как количество элементов, контролируемых данным тестом.

Далее рассмотрены примеры базовых (граничных) и комбинированного вариантов построения таблиц диагностирования:

- с полным единичным покрытием элементов (еПЭ) и тестов (еПТ) ($h = H$, таблица 5.2.1, обозначение «еПЭ & еПТ»: каждый тест контролирует свой ЭДК (участие теста в контроле других ЭДК отсутствует либо игнорируется));

- с единичным покрытием элементов (еПЭ) и неединичным покрытием тестов (неПТ) ($h > H$, таблица 5.2.2, обозначение «еПЭ & неПТ»: каждый ЭДК контролируется одним тестом, но тест может контролировать несколько ЭДК);

- с неединичным покрытием элементов (неПЭ) и единичным покрытием тестов (еПТ) ($h < H$, таблица 5.2.3, обозначение «неПЭ & еПТ»: каждый тест контролирует один ЭДК, но ЭДК может контролироваться несколькими тестами).

Таблица 5.2.1 – еПЭ & еПТ

Таблица 5.2.2 – еПЭ & неПТ

Таблица 5.2.3 – неПЭ & еПТ

	T_1	T_2	T_3	V		T_1'	T_2'	T_3	V		T_1	T_2''	T_3''	V
\mathcal{E}_1	*			1	\mathcal{E}_1'	*			1	\mathcal{E}_1	*			1
\mathcal{E}_2		*		1	\mathcal{E}_2'		*		1	\mathcal{E}_2''		*	*	2
\mathcal{E}_3			*	1	\mathcal{E}_3			*	1	W	1	1	1	3
W	1	1	1	3	\mathcal{E}_4'	*			1					
					\mathcal{E}_5'		*		1					
					W	2	2	1	5					

Вариант 1. Полное единичное покрытие. Предполагается построение таблицы диагностирования с единичным покрытием каждого теста ($W_j = 1, j \in [1; H]$, где H – количество тестов) и каждого элемента ($V_i = 1, i \in [1; h]$, где h – количество элементов). Пример формата полного единичного покрытия приведен в таблице 5.2.1.

Достоинства:

- каждый тест относится к определенной категории – ТЗ, ТУ или ТВ, поэтому реализуются прямые методы измерений;
- ИДКО уровня освоения каждого ЭДК составляется из результата реализации соответствующего теста, что не требует расчета весовых коэффициентов, исключает явление «компенсации» одних результатов другими (отличие интегральной оценки от одной или нескольких дифференциальных) и таким образом позволяет максимально точно определить оценку [69].

Недостатки:

- для тестов умений и владений, которые, как правило, являются «видовыми», т.е. привязанными к определенному виду АРС или СРС, сложно выделить только один контролируемый им элемент и игнорировать участие в контроле других элементов;
- однозначная зависимость количества тестов и элементов может привести к необоснованному разрастанию компонентной структуры. Например, если предусмотрено 8 практических занятий с соответствующими индивидуальными зада-

ниями, то необходимо сформулировать 8 ЭДК «уметь» (вместо рекомендованных нормативными документами вуза 2-3 на одну ДК).

Область целесообразного применения:

- количество средств контроля (тестов), совпадающее с количеством ЭДК;
- соответствие каждому ЭДК индивидуального теста (или участие которого в проверке других ЭДК игнорируется);
- наличие в составе средств контроля простых тестов;
- как правило, для проверки знаний.

Вариант 2. Единичное покрытие элементов и неединичное покрытие тестов. Предполагается построение таблицы диагностирования с единичным покрытием каждого элемента ($V_i = 1, i \in [1; h]$, где h – количество элементов). Пример формата единичного покрытия элементов и неединичного покрытия тестов приведен в таблице 5.2.2.

Таблицу диагностирования с единичным покрытием элементов и соответствующую ей компонентную структуру дисциплинарной компетенции можно получить, проведя декомпозицию ЭДК и синтез составных тестов из простых. Пример преобразования приведен в таблице 5.2.2, построенной из таблицы 5.2.1. В ней \mathcal{E}_1 таблицы 5.2.1 декомпозирован на \mathcal{E}_1' и \mathcal{E}_4' таблицы 5.2.2, а \mathcal{E}_2 таблицы 5.2.1 декомпозирован на \mathcal{E}_2' и \mathcal{E}_5' таблицы 5.2.2. В данном случае затрудняется (усложняется) процедура локализации дефекта в каждом из покрываемых тестом элементов, что приводит к необходимости дополнительной дешифрации результатов тестирования. Это сводится либо к дешифрации результатов тестирования, либо к декомпозиции тестов (для примера в таблице 5.2.2 – T_1' декомпозируется на T_1^1 , проверяющий \mathcal{E}_1' , и T_1^4 , проверяющий \mathcal{E}_4' ; T_2' – на T_2^2 и T_2^5). Таким образом, происходит формальное увеличение общего количества тестов (в рассматриваемом примере до значения $H' = H + (h - H) = 3 + (5 - 3) = 5$), что сводит данный вариант к варианту 1, с указанными для него достоинствами и недостатками.

Достоинства:

- позволяет под частично заданные средства контроля выбрать наиболее детализированные и соответствующие формулировки ЭДК;

– первоначальное количество тестов сравнительно небольшое.

Недостатки:

– необходимость реализации процедуры дешифрации общего результата теста на результаты относительно каждого из контролируемых им ЭДК, которые при единичном покрытии элементов и будут ИДКО их уровня освоения;

– тесты должны быть составными или сложными.

Область целесообразного применения:

– достаточно детализированные формулировки ЭДК, что вызывает необходимость контроля составными (сложными) тестами;

– количество тестов, меньшее количества ЭДК (небольшое число средств контроля для расширенной компонентной структуры ДК);

– наличие в составе средств контроля составных и сложных тестов;

– как правило, для проверки умений и владений;

– текущий контроль с помощью условных процедур диагностирования [74].

Вариант 3. Неединичное покрытие элементов и единичное покрытие тестов. Предполагается построение таблицы диагностирования с единичным покрытием каждого теста ($W_j = 1, j \in [1; H]$, где H – количество тестов). Пример формата неединичного покрытия элементов и единичного покрытия тестов приведен в таблице 5.2.3.

Таблицу диагностирования с единичным покрытием тестов и соответствующую ей компонентную структуру дисциплинарной компетенции можно получить, проведя объединение ЭДК. Пример преобразования приведен в таблице 5.2.3, построенной из таблицы 5.2.1. В ней \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_3 таблицы 5.2.1 объединены в \mathcal{E}_2'' таблицы 5.2.3. Каждый тест покрывает (контролирует) только один элемент, при этом часть элементов проверяется несколькими тестами (пример приведен в таблице 5.2.3 – элемент \mathcal{E}_2). При этом очевидно, что тесты контролируют разные составляющие (свойства, части содержания или структуры и т.п.) элемента, следовательно, необходима декомпозиция элемента (для примера в таблице 5.2.3 – \mathcal{E}_2'' декомпозируется на \mathcal{E}_2^1 , проверяемый тестом T_2'' , и \mathcal{E}_2^2 , проверяемый тестом T_3''). Таким образом, происходит формальное увеличение общего количества элементов

(в рассматриваемом примере до значения $h'' = h + (H - h) = 3$), что сводит данный вариант к варианту 1, с указанными для него достоинствами и недостатками. Это приводит к искусственному расширению (усложнению) компонентной структуры дисциплинарной компетенции, и не всегда приемлемо. Если не проводить декомпозицию элементов, то это будет означать, что один элемент контролируется несколькими тестами, что в некоторых случаях может быть признано избыточным, а оценка уровня освоения каждого элемента складывается из результатов нескольких контролирующих его тестов с учетом их взаимовлияния (компенсации одних результатов другими).

Достоинства:

- тесты простые;
- дешифрация результатов не требуется из-за свойств простых тестов;
- компактная компонентная структура (небольшое количество ЭДК).

Недостатки:

- для определения уровня освоения ЭДК требуется построение ИДКО вследствие неединичного покрытия элементов;
- как правило, для проверки знаний;
- возникает задача расчета весовых коэффициентов дифференциальных критериев в составе интегрального, одно из возможных решений которой показано в [178].

Область целесообразного применения:

- укрупненные формулировки ЭДК, которые вызывают необходимость их контроля (или контроля их составляющих) несколькими тестами;
- количество тестов, большее количества ЭДК (большое число средств контроля для компактной компонентной структуры ДК);
- наличие в составе средств контроля простых тестов.

Вариант 4. Комбинированное покрытие: для любого соотношения h и H покрытие может превышать единичное.

Обобщенный случай объединяет все особенности вариантов 1, 2 и 3 и является наиболее часто встречающимся на практике при реализации условных про-

цедур поиска нЭДК с требуемым уровнем локализации. Это объясняется тем, что, как было сказано выше, большая часть проверочных заданий привязана к видам аудиторной и самостоятельной работы и является фиксированной (заданной преподавателем при разработке соответствующего раздела рабочей программы дисциплины). Количество элементов (компонентная структура дисциплинарной компетенции) при этом определяется содержанием дисциплины и регламентируется ограничениями, принятыми в вузе. Тогда необходимо применить указанные при анализе вариантов 2 и 3 способы декомпозиции элементов или тестов, с учетом введенных ограничений и допущений. При этом важно выбрать объект декомпозиции: элементы или тесты, с учетом имеющихся ограничений и с анализом последствий возможных изменений.

Применение разных форматов таблиц диагностирования, преобразование форматов в сочетании с условными или безусловными алгоритмами поиска, обусловлено принятыми рекомендациями и ограничениями на компонентную структуру ДК, заданными средствами контроля, а также планируемыми для реализации методами диагностирования уровня освоения ЭДК, и в конечном итоге определяется преподавателем при формировании контролепригодной структуры ДК. Задание структуры таблиц диагностирования осуществляется в рамках разработанной методики контролепригодного проектирования [177].

5.2.3. Разработка общей методики формирования контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции

Для разработки общего подхода к формированию контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции необходимо сформулировать исходные данные и ограничения, а затем дать необходимые рекомендации по использованию. Исходные данные:

- наименование, цель и задачи, общее описание дисциплины, ее место в ОП;
- количество и формулировки компетенций, в формировании которых принимает участие дисциплина, взятые из таблицы отношений компетенций и дисциплин в составе компетентностной модели выпускника;

- количество и формулировки ДК, т.е. частей компетенций, которые формируются данной дисциплиной, взятые из паспортов компетенций;
- трудоемкость дисциплины и ее распределение по видам аудиторной (АРС) и самостоятельной (СРС) работы студентов;
- содержание (тематический план) учебной дисциплины;
- способы формирования (виды АРС и СРС) и требования к средствам контроля (тестам);
- график учебного процесса, включая текущий и промежуточный контроль;
- рекомендации (ограничения) вуза (факультета, кафедры) по количеству и соотношению компонентов и элементов дисциплинарной компетенции, а также количеству дисциплинарных компетенций, в формировании которых участвует дисциплина;
- требования по выбору методов диагностирования, включая формат таблицы диагностирования, ограничения по глубине локализации недостаточно освоенных ЭДК (нЭДК), ресурсные ограничения по реализации алгоритмов поиска, свойства шкалы оценивания и т.п.

Проектирование контролепригодной компонентной структуры дисциплинарных компетенций является слабоформализуемой итеративной задачей, поэтому не имеет единственного тривиального решения. На качество решения влияют имеющиеся ограничения и рекомендации, наличие научно-методических публикаций по данной проблематике, квалификация педагога, опыт педагога в разработке компетентностно-ориентированных образовательных программ и т.д. Задача разработки контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции – определить необходимое количество и формулировки ЭДК, увязанные с построением тестов и выбранными методами диагностирования уровня освоения ЭДК. При этом предлагается придерживаться следующих этапов общего итеративного подхода [177].

1. Проанализировать тематический план дисциплины, выделить основные разделы, а в них – темы, и выполнить их предварительное распределение по формируемым в рамках данной дисциплины ДК.

2. В рамках выбранных тем для каждой дисциплинарной компетенции распределить фрагменты тематического плана (темы и закрепленные за ними виды APC и CPC) по компонентам ЗУВ. Данная процедура имеет итеративный характер, и ее результаты могут быть скорректированы после выбора и оценки средств контроля и методов диагностирования.

3. Определить, какие и сколько предусмотренных тематическим планом средств контроля задано в рабочей программе дисциплины для тем, соответствующих каждой дисциплинарной компетенции и ее элементам (ЗУВ).

4. Выбрать метод (методы) диагностирования (алгоритмы безусловного и/или условного поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения – нЭДК [74, 178]) и с их учетом сформировать требования к компонентной структуре ДК (варианту формата таблицы диагностирования).

5. Определить количество и формулировки ЭДК каждой дисциплинарной компетенции. При выборе количественных показателей рекомендуется придерживаться соотношения: $N_3 > N_y > N_B$ (как правило, ЭДК «знать» N_3 , как правило, больше ЭДК «уметь» N_y , которых, в свою очередь, больше ЭДК «владеть» N_B). Данная процедура имеет итеративный характер, и ее результаты могут быть скорректированы в процессе разработки требуемых средств контроля и выбора методов диагностирования.

6. Проверить количественные показатели компонентной структуры (число, соотношения и формулировки ЭДК) каждой дисциплинарной компетенции на соответствие рекомендациям и ограничениям, при необходимости ввести коррекцию в количество и формулировки ЭДК.

7. Разработать процедуру условного и/или безусловного поиска нЭДК с заданной глубиной локализации, т.е. мощностью конечного множества подозреваемых нЭДК.

8. Выбрать вариант покрытия и построить таблицу диагностирования.

9. Проанализировать таблицу диагностирования на соответствие требованиям и рекомендациям, а также выбранным методам диагностирования (количество и соотношение ЭДК разных компонентов, свойства и покрывающая спо-

собность тестов и т.п.), при необходимости ввести коррекцию в количество и формулировки ЭДК, тесты обнаружения и поиска нЭДК, а также изменить структуру и формат таблицы диагностирования (этапы 7 и 8).

10. Проверить количественные показатели компонентной структуры каждой дисциплинарной компетенции, характеризующие избыточность, отсутствие дублирования, покрытие всех тем дисциплины (раздела), равнозначность формулировок ЭДК и т.д., при необходимости ввести коррекцию в количество и формулировки ЭДК.

11. При изменении тематического плана, трудоемкости, видов АРС и СРС и других исходных данных пересмотреть компонентную структуру дисциплинарных компетенций (изменение количества и формулировок ЭДК, перераспределение видов АРС и СРС, отвечающих за формирование ЭДК, а также тестов, отвечающих за контроль уровня освоения ЭДК, и т.п.).

Рассмотрим детализированную пошаговую реализацию этапов общего итеративного подхода к разработке контролепригодной компонентной структуры дисциплинарных компетенции. При этом раскроем некоторые ограничения, выполнение которых проверяется на определенных шагах процедуры проектирования.

Шаг № 1 – составляется таблица диагностирования, в которую заносятся заданные структурой АРС и СРС дисциплины средства контроля (например, рефераты, индивидуальные задания по темам практических занятий, защита отчетов по лабораторным работам, защита курсового проекта и т.д.). По ним реализуется полное единичное покрытие, для чего выбираются количество и формулировки ЗУВ для соответствующих средств контроля (с учетом, например, рекомендаций по выбору наиболее эффективных средств контроля для каждого вида компонентов ЗУВ). Для не заданных в явном виде средств контроля формируется первоначальный вариант соответствующих ЗУВ, с учетом имеющихся требований и рекомендаций (например, $N_3 \geq N_y \geq N_B$) – этапы 1-6.

Шаг № 2 – выбираются методы диагностирования (безусловные и/или условные процедуры поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения), что может

потребовать пересмотра компонентной структуры и таблицы диагностирования (разработка методов и условий их применения – отдельное направление исследования); применяется инструментарий моделирования для проверки полноты покрытия и глубины локализации нЭДК (аналог рассматриваемой в технической диагностике «обратной задачи», которая заключается в синтезе теста, обнаруживающего заданную неисправность объекта контроля) – этап 7.

Шаг № 3 – трансформируется таблица диагностирования: консолидируются (объединяются) схожие по формулировкам ЭДК либо, наоборот, декомпозируются (дробятся) ЭДК для перераспределения средств контроля; из простых тестов строятся составные и сложные тесты, что требует реформирования компонентной структуры; вводятся новые ЭДК и/или тесты по выбранные методы диагностирования и т.д. – этапы 8-9.

Шаг 4 – проверяется выполнение требований и ограничений, накладываемых нормативно-методической документацией (Министерства образования и науки РФ, Учебно-методического объединения вузов по образованию в определенной области науки и техники, вуза, факультета, кафедры и т.д.) – этап 10.

При изменении исходных данных (в зависимости от характера изменений) проводится возврат на соответствующий шаг – этап 11.

Пример выполнения предложенной методики приведен в Приложении Г.

Предлагаемый подход к проектированию контролепригодной структуры компетенции как результата подготовки позволит учесть применяемые методы диагностирования и оценивания. Это даст возможность повысить качество определения результативности подготовки.

5.3. Выводы по главе

В главе приведено описание предложенных способов управления качеством на этапе проектирования программ подготовки.

1. Проанализированы основные положения технической диагностики с целью анализа возможности ее применения для контроля результативности подго-

товки. Предложено применение аппарата и методов технической диагностики в качестве методологической основы для разработки алгоритмов диагностирования уровня освоения компетенций; указаны условия использования и ограничения.

2. Разработаны алгоритмы безусловного и условного поиска недостаточно освоенных элементов компетенций, что в условиях увеличения объема и значимости самостоятельной работы позволяет повысить организованность и эффективность самоподготовки обучаемых за счет индивидуализации траектории подготовки.

3. Предложен алгоритм реализации и дешифрации результатов безусловной и условной процедур тестирования, приведены примеры расчетов и анализа результатов, показаны варианты реализации, проанализированы их достоинства, недостатки и условия применения. Это позволило провести апробацию одного из предлагаемых алгоритмов в процессе обучения. Разработан программный инструментарий в среде Visual Basic for Application (VBA), что позволило подтвердить правильность работы алгоритма и корректность результатов моделирования, а также выполнить автоматизацию процедуры тестового диагностирования.

4. Разработана методика проектирования контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции, учитывающая запланированные методы диагностирования и свойства средств контроля (тестов). Проведен анализ вариантов построения таблиц диагностирования элементов дисциплинарных компетенций, который позволил сформулировать варианты для обеспечения свойства контролепригодности у соответствующей компонентной структуры, показаны достоинства, недостатки и область применения каждого формата.

5. Предложен общий итеративный подход к формированию контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции; выделены основные этапы разработанного подхода. Приведен пример для учебной дисциплины с заданными параметрами, иллюстрирующий предложенный подход, показаны вводимые ограничения, даны практические рекомендации.

Основные результаты исследований, рассмотренных в настоящей главе, опубликованы в работах [53, 55, 57, 59, 60, 64, 69, 71, 155, 159, 160, 164, 166, 170, 171, 175, 177, 179, 180].

Глава 6. Квалиметрические методы контроля, дешифрации и оценки результативности подготовки, построенные на основе аппарата математической логики

Инженерное образование требует применения самых современных и инновационных подходов и технологий. Международный и российский опыт модернизации системы высшего образования признает важность проблемы контроля и оценивания промежуточных и итоговых результатов обучения для эффективного управления качеством образования. Для этого привлекаются различные средства и технологии: многоуровневое и адаптивное тестирование, case-технологии, метод проектов, дистанционные образовательные технологии, портфолио и т.д.

На основании результатов оценивания ЭДК определяется степень освоения вышележащих уровней (компонентов, дисциплинарных компетенций, компетенций), например, с использованием аддитивного интегро-дифференциального критерия. Таким образом, от точности результатов оценивания ЭДК зависит точность принятия решения по всем результатам реализации образовательной программы.

Основным отличием предлагаемых методов от известных (например, [1, 11, 12, 16, 37]) является анализ и учет рисков неправильного принятия решения за счет анализа неопределенности результата диагностирования в рамках разработанных процедур дешифрации и оценивания. Предлагается использование методов математической (алгебраической и нечеткой логики), их сравнительный анализ, возможность взаимного дополнения и область целесообразного применения.

6.1. Разработка, верификация и применение квалиметрического метода оценки уровня компетентности, построенного на основе математического аппарата алгебраической логики

6.1.1. Анализ и количественная оценка результатов реализации образовательных программ с использованием диагностических тестов

Ориентирование образовательных программ на формирование и контроль компетенции, их компонентов и элементов требует новых подходов к *взаимоува-*

занным способам формирования и средствам контроля уровня их освоения. Для решения данной большемерной и слабоформализуемой проблемы предлагается привлечение аппарата и методов *технических наук*, решающих сходные задачи для технических объектов, с учетом свойств и особенностей предметной области образования. Так, автором исследуются и предлагаются подходы к привлечению математического аппарата, методов и алгоритмов технической диагностики, теории автоматического управления, аппарат детерминированной и нечеткой логики, и т.д. Это позволяет найти подходы к автоматизации процедуры обнаружения и поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения (нЭДК), что является обязательным этапом оценивания результатов реализации образовательных программ.

Одним из основных и важных шагов является дешифрация результатов тестового диагностирования уровней освоения элементов дисциплинарных компетенций в рамках дисциплины (раздела). Сформулируем ряд частных задач определения уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций.

1. Количественная оценка результатов реализации диагностического теста.
2. Выбор математического аппарата для формализованного описания и решения задач дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования.
3. Разработка методов дешифрации и анализа результатов реализации диагностического теста.
4. Разработка методов дешифрации и анализа результатов реализации группы диагностических тестов с целью определения уровней освоения всей совокупности формируемых и контролируемых элементов дисциплинарных компетенций.
5. Автоматизация процедур контроля, дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования.

Целью данного раздела работы является решение частной задачи разработки подхода к количественной оценке результатов реализации диагностического теста уровня освоения группы элементов дисциплинарных компетенций [157].

Основные термины и определения предлагаемого подхода. Ранее показана возможность применения ряда положений и методов технической диагностики, в частности, алгоритмов безусловного и условного поиска неисправных объектов, применительно к проверке уровня освоения ЭДК. Речь идет о решении комплексной задачи оценки уровня освоения результатов обучения по компетентностно-ориентированным образовательным программам. При этом важным этапом диагностирования является дешифрация результатов тестов с заданной точностью – определение уровня освоения каждого из совокупности контролируемых ЭДК в соответствии с заданной шкалой оценивания.

В данном разделе предложен алгоритм дешифрации результатов тестирования и определения ЭДК с недостаточным уровнем освоения (нЭДК) для одного *сложного* (контролирующего несколько ЭДК) диагностического теста с использованием *двухуровневой шкалы оценивания и аддитивного интегро-дифференциального критерия оценивания* (АИДКО). Введем основные термины и определения [56]:

- h – общее количество проверяемых и оцениваемых сложным тестом ЭДК;
- все ЭДК равнозначны (равновероятны) с точки зрения их важности, сложности изучения, трудоемкости освоения и т.п. Отметим, что для неравнозначных ЭДК необходимо вычисление или экспертная оценка весовых коэффициентов (показателей важности) каждого элемента, что усложняет количественную оценку. При этом общая методика сохраняется неизменной, поэтому далее рассматриваем только равнозначные ЭДК, для которых весовые коэффициенты одинаковы и равны $1/h$;
- i – возможное количество недостаточно освоенных ЭДК – нЭДК ($i \in [0; h]$);
- O – результат тестирования (реализации оценочных средств: теста, проверки, мероприятия контроля и т.д.), нормализован в диапазоне $[0; 1]$;
- $O_{\text{пор.}}$ – пороговое значение, по которому принимается решение об отрицательном либо положительном результате тестирования ($O_{\text{пор.}} \in [0; 1]$, как правило, располагается в окрестности середины указанного диапазона);
- O^- – результат теста отрицательный, ЭДК не освоен ($O = O^-$): $O \in [0; O_{\text{пор.}})$;

• O^+ – результат теста положительный, ЭДК освоен ($O = O^+$): $O \in [O_{\text{пор.}}; 1]$. Выбор величины порога, а также включение самого значения $O_{\text{пор.}}$ в соответствующий диапазон выполняется в соответствии с принятыми в вузе (кафедре) требованиями или, при отсутствии таковых, преподавателем, проводящим тестирование.

Основной задачей дешифрации является определение количества (i) и перечня нЭДК. Далее предлагается подход к количественной оценке результатов сложного теста, который позволит решить поставленную задачу с заданной точностью (определить для каждого ЭДК уровень освоения в соответствии с заданной шкалой оценивания).

Введем граничные значения минимальной и максимальной отрицательной и положительной оценок уровня освоения ЭДК, соответственно:

$$O_{\min}^- = 0; O_{\max}^- \approx O_{\text{пор.}} \quad (O_{\max}^- = O_{\text{пор.}} - \delta); O_{\min}^+ = O_{\text{пор.}}; O_{\max}^+ = 1, \quad (6.1.1)$$

где δ – бесконечно малая величина, которой в дальнейшем можно пренебречь.

В общем случае из множества, содержащего h проверяемых одним тестом ЭДК, i элементов могут быть не освоены, а $(h - i)$ – освоены. В связи с этим оценка за тест O при i неосвоенных ЭДК – $O(i)$, с учетом введенных ограничений и допущений, строится в соответствии с АИДКО при фиксированных значениях h и $O_{\text{пор.}}$, следующим образом:

$$O(i) = \sum_{j=1}^h \lambda_j \cdot O_j = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h O_j = \frac{1}{h} \cdot \left(\sum_{j=1}^i O_j^- + \sum_{j=1}^{h-i} O_j^+ \right). \quad (6.1.2)$$

Оценка $O(i)$ принадлежит диапазону $[O(i)_{\min}; O(i)_{\max}]$, где $O(i)_{\min}$ – минимально возможная оценка, $O(i)_{\max}$ – максимально возможная оценка за тест при i нЭДК:

$$O(i)_{\min} = 1/h \cdot (i \cdot O_{\min}^- + (h - i) \cdot O_{\min}^+) = (1 - i/h) \cdot O_{\text{пор.}} = O_{\text{пор.}} - i \cdot O_{\text{пор.}}/h; \quad (6.1.3)$$

$$O(i)_{\max} = 1/h \cdot (i \cdot O_{\max}^- + (h - i) \cdot O_{\max}^+) = 1 - i/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = 1 - i \cdot (1 - O_{\text{пор.}})/h. \quad (6.1.4)$$

Из (6.1.1)–(6.1.4) можно сделать вывод, что граничные значения оценки при заданном количестве нЭДК (i) определяются общим числом равнозначных ЭДК h и пороговым значением принятия решения $O_{\text{пор.}}$. Граничные оценки будут использованы для задания логических условий при дешифрации результатов проверки.

Поскольку количество неосвоенных ЭДК может изменяться в пределах от $i = 0$ (все контролируемые тестом ЭДК освоены) до $i = h$ (все контролируемые тестом ЭДК не освоены), то для дальнейших расчетов нужно определить соотношения для граничных (минимальных и максимальных) значений оценок при фиксированных h и $O_{\text{пор.}}$:

$$i = 0: O(0)_{\min} = (1 - 0/h) \cdot O_{\text{пор.}} = O_{\text{пор.}}; O(0)_{\max} = 1 - 0/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = 1; O(0) \in [O_{\text{пор.}}; 1]; \quad (6.1.5)$$

$$i = h: O(h)_{\min} = (1 - h/h) \cdot O_{\text{пор.}} = 0; O(h)_{\max} = 1 - h/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = O_{\text{пор.}}; O(h) \in [0; O_{\text{пор.}}]. \quad (6.1.6)$$

Пример 1. Рассчитаем минимальные и максимальные значения оценок для всех возможных вариантов количества нЭДК для проверяющего теста, контролирующего $h = 2$ ЭДК, $O_{\text{пор.}} = 0,5$. Поскольку количество нЭДК меняется от 0 до 2, то выполним расчеты в соответствии с (6.1.3) и (6.1.4).

$$O(0)_{\min} = (1 - 0/2) \cdot 0,5 = 0,5; \quad O(0)_{\max} = 1 - 0/2 \cdot (1 - 0,5) = 1;$$

$$O(1)_{\min} = (1 - 1/2) \cdot 0,5 = 0,25; \quad O(1)_{\max} = 1 - 1/2 \cdot (1 - 0,5) = 0,75;$$

$$O(2)_{\min} = (1 - 2/2) \cdot 0,5 = 0; \quad O(2)_{\max} = 1 - 2/2 \cdot (1 - 0,5) = 0,5.$$

Заполним таблицу 6.1.1 данными для некоторых значений h и $O_{\text{пор.}}$.

Таблица 6.1.1 – Максимальные и минимальные оценки за тест с заданными параметрами

i	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$
	$O_{\text{пор.}} = 0,4$		$O_{\text{пор.}} = 0,5$		$O_{\text{пор.}} = 0,6$	
	$h = 2$					
0	0,4	1	0,5	1	0,6	1
1	0,2	0,7	0,25	0,75	0,3	0,8
2	0	0,4	0	0,5	0	0,6
	$h = 3$					
0	0,4	1	0,5	1	0,6	1
1	0,27	0,8	0,33	0,83	0,4	0,87
2	0,13	0,6	0,17	0,67	0,2	0,73
3	0	0,4	0	0,5	0	0,6

Значения строк таблицы 6.1.1 рассчитаны по формулам (6.1.5) и (6.1.6). Они определяют значения $O(i)_{\min}$ и $O(i)_{\max}$, а также ширину диапазона оценки $O(i)$:

$(O(i)_{\max} - O(i)_{\min})$ для заданных параметров h и $O_{\text{пор.}}$. Анализ диапазонов для нормированных оценок результатов проверки (тестирования) уровня освоения ЭДК при различных значениях количества нЭДК (значений i) в дальнейшем позволит сформулировать условия точного принятия решения об уровне освоения каждого из контролируемых тестом ЭДК.

Для упрощения и автоматизации заполнения таблиц вида таблица 6.1.1 оценочными шагами изменения минимальной и максимальной оценок при переходе от одного количества неосвоенных элементов (i) к следующему ($i + 1$). С учетом (6.1.3) и (6.1.4) они определяются как производные соответствующих граничных оценок $O(i)_{\min}$ и $O(i)_{\max}$ по переменной i :

$$\Delta O_{\min} = \frac{dO(i)_{\min}}{di} = \frac{d((1 - i/h) \cdot O_{\text{пор.}})}{di} = -\frac{O_{\text{пор.}}}{h}; \quad (6.1.7)$$

$$\Delta O_{\max} = \frac{dO(i)_{\max}}{di} = \frac{d(1 - i/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}}))}{di} = -\frac{1 - O_{\text{пор.}}}{h} \quad (6.1.8)$$

Отрицательный знак и постоянное значение шага изменения оценок означает, что при увеличении количества неосвоенных элементов минимальная и максимальная оценки всегда уменьшаются, каждая с соответствующей постоянной скоростью (на постоянную величину).

Пример 2. В соответствии с (6.1.7) и (6.1.8) рассчитаем шаги изменения максимальной и минимальной оценок для заданных значений h и $O_{\text{пор.}}$ и сведем результаты в таблицу 6.1.2.

Таблица 6.1.2 – Шаги изменения максимальных и минимальных оценок за тест

ΔO_{\min}	ΔO_{\max}	ΔO_{\min}	ΔO_{\max}	ΔO_{\min}	ΔO_{\max}
$O_{\text{пор.}} = 0,4$		$O_{\text{пор.}} = 0,5$		$O_{\text{пор.}} = 0,6$	
$h = 2$					
-0,2	-0,3	-0,25	-0,25	-0,3	-0,13
$h = 3$					
-0,13	-0,2	-0,17	-0,17	-0,2	-0,13

Табл. 6.1.2 по сути повторяет в более компактном виде таблицу 6.1.1. В ней ($h+1$) строка, содержащая значения O_{\min} и O_{\max} для каждого h , заменяется одной

строкой, в которой указывается постоянные шаги изменения ΔO_{\min} и ΔO_{\max} . Используя вычисленное значение шага, можно заполнить всю таблицу 6.1.1, рассчитав максимальные и минимальные значения только для одной строки.

Количественная оценка результатов тестового диагностирования. Проанализируем результаты реализации одного сложного теста, контролирующего h ЭДК. При этом выделим три состояния (сочетания уровней освоения), контролируемых тестом ЭДК (при произвольных значениях h и $O_{\text{пор}}$).

1. Все контролируемые тестом ЭДК \mathcal{E}_k ($k \in [0; h]$) имеют недостаточный уровень освоения ($O_k = O^-$, $\forall k \in [0; h]$; количество нЭДК $i = h$).

2. Все контролируемые тестом ЭДК \mathcal{E}_k ($k \in [0; h]$) имеют достаточный уровень освоения ($O_k = O^+$, $\forall k \in [0; h]$; количество нЭДК $i = 0$).

3. При использовании АИДКО локализовать нЭДК, в общем случае, невозможно вследствие *компенсации* одних оценок другими, поэтому необходимо уточнение результата проверки привлечением дополнительных тестов поиска (возможное количество нЭДК $i \in (0; h)$).

Каждому из выявленных состояний соответствует свой диапазон возможных максимальных и минимальных значений, поэтому задача дальнейшего исследования – определить граничные условия для каждого состояния. Это делается с целью последующей реализации процедуры дешифрации результата теста и определения уровня состояния контролируемых им ЭДК. При этом появляется возможность решать следующие частные задачи:

– *синтеза тестов*: для заданной совокупности ЭДК построить тесты поиска нЭДК с заданной глубиной локализации (их количеством и сочетанием);

– *анализа тестов*: по полученным результатам реализации тестов поиска проверить (рассчитать, промоделировать) глубину локализации и при ее неудовлетворительном значении ввести новые тесты поиска, изменить покрывающие свойства тестов и т.п.

Для решения обеих задач, которые в классической диагностике формулируются как «обратная» и «прямая» задачи диагноза соответственно, необходимо

разработать алгоритмы дешифрации результатов тестирования. Далее сформулируем ряд утверждений для произвольных значений h , $O_{\text{пор.}}$ и i (количества нЭДК).

Утверждение 1. Если нормированный в диапазоне $[0; 1]$ результат теста, контролирующего h равнозначных элементов, принадлежит диапазону $[0; O_{\text{пор.}}/h)$, можно утверждать, что все элементы имеют недостаточный уровень освоения ($O_k < O_{\text{пор.}}$ для $\forall k \in [0, h]$), следовательно, количество нЭДК $i = h$.

Утверждение 2. Если нормированный в диапазоне $[0; 1]$ результат теста, контролирующего h равнозначных элементов, принадлежит диапазону $(1 - (1 - O_{\text{пор.}})/h; 1]$, можно утверждать, что все элементы имеют достаточный уровень освоения ($O_k \geq O_{\text{пор.}}$ для $\forall k \in [0, h]$), следовательно, количество нЭДК $i = 0$.

Утверждение 3. Если нормированный в диапазоне $[0; 1]$ результат теста, контролирующего h равнозначных элементов, принадлежит диапазону $[O_{\text{пор.}}/h; 1 - (1 - O_{\text{пор.}})/h]$, то необходимо продолжить тестирование с целью уточнения результатов освоения каждого элемента (при помощи других тестов), следовательно, количество нЭДК i точно определить невозможно.

Доказательство утверждений 1, 2, 3. Применим индуктивный метод доказательства. Рассмотрим пример для количества контролируемых тестом ЭДК $h = 2$ и $O_{\text{пор.}} = 0,5$, и распространим результаты на произвольное значение h и $O_{\text{пор.}}$.

Шаг изменения минимальной (ΔO_{min}) и максимальной (ΔO_{max}) оценок для данного примера в соответствии с (6.1.7) и (6.1.8) одинаков и равен 0,25.

Для всех вариантов распределения неосвоенных элементов (оба освоены: $i = 0$; один освоен, другой не освоен: $i = 1$; оба не освоены: $i = 2$) в таблицу 6.1.1 (пример 1) сведены результаты расчетов по (6.1.3) и (6.1.4) мин. и макс. оценок.

Отообразим полученные результаты на рисунке 6.1.1.

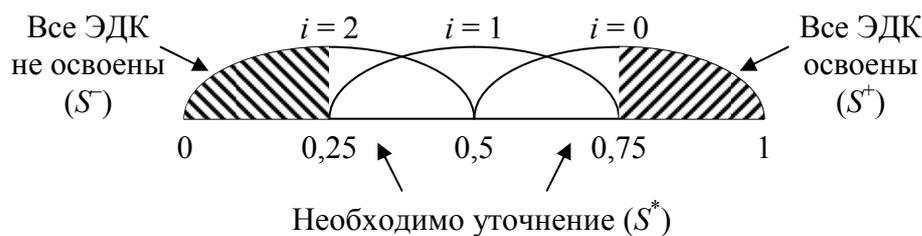


Рисунок 6.1.1 – Иллюстрация анализа результатов тестирования для $h = 2$

На рисунке 6.1.1 можно выделить три зоны:

1. Зона уверенного принятия решения о недостаточном уровне освоения всех контролируемых тестом ЭДК – S^- (нет пересечений нескольких диапазонов для разных i , только $i = 2$), результат теста $O \in [0; 0,25)$, что соответствует утверждению 1;

2. Зона уверенного принятия решения о достаточном уровне освоения всех контролируемых тестом ЭДК – S^+ , (нет пересечений нескольких диапазонов для разных i , только $i = 0$) результат теста $O \in (0,75; 1]$, что соответствует утверждению 2;

3. Зона, требующая уточнения S^* (есть пересечения диапазонов $\{i = 2, i = 1\}$ и $\{i = 1, i = 0\}$), результат теста $O \in [0,25; 0,75]$, что соответствует утверждению 3.

Далее рассмотрим доказательство утверждений 1, 2 и 3 для произвольного значения h и $O_{\text{пор.}}$. Для этого представим таблицу значений для минимально и максимально возможных оценок в общем виде и развернутом виде (таблица 6.1.3).

$$O(i)_{\min} = O(i-1)_{\min} + \Delta O_{\min} = O(0)_{\min} + i \cdot \Delta O_{\min}; \quad (6.1.9)$$

$$O(i)_{\max} = O(i-1)_{\max} + \Delta O_{\max} = O(0)_{\max} + i \cdot \Delta O_{\max}. \quad (6.1.10)$$

Таблица 6.1.3 – Минимально и максимально возможные оценки

Минимально и максимально возможные оценки в общем виде			Минимально и максимально возможные оценки в развернутом виде		
i	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$	i	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$
0	$O(0)_{\min}$	$O(0)_{\max}$	0	$O_{\text{пор.}}$	1
...
i	$O(i)_{\min}$	$O(i)_{\max}$	i	$(1 - i/h) \cdot O_{\text{пор.}}$	$1 - i/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}})$
...
h	$O(h)_{\min}$	$O(h)_{\max}$	h	0	$O_{\text{пор.}}$

Примечание. Знак у шагов изменения оценки ΔO_{\min} (6.1.9) и ΔO_{\max} (6.1.10) отрицательный

Приведем на рисунке 6.1.2 графическую иллюстрацию таблицы 6.1.3. На рисунке 6.1.2 нанесены значения минимальных и максимальных оценок из таблицы 6.1.3 для значения нЭДК $i \in [0; h]$. Дугами показаны зоны, соответствующие минимальной и максимальной оценкам для заданного количества нЭДК i .

В представленном на рисунке 6.1.2 графике можно выделить три зоны:

1. Зона уверенного принятия решения о недостаточном уровне освоения всех контролируемых ЭДК – S^- , результат теста $O \in [0; O_{\text{пор.}}/h]$. Характеристики данной зоны соответствуют формулировке утверждения 1;
2. Зона уверенного принятия решения о достаточном уровне освоения всех контролируемых ЭДК – S^+ , результат теста $O \in (1 - (1 - O_{\text{пор.}})/h; 1]$. Характеристики данной зоны соответствуют формулировке утверждения 2;
3. Зона, требующая уточнения – S^* , результат теста $O \in [O_{\text{пор.}}/h; 1 - (1 - O_{\text{пор.}})/h]$. Характеристики данной зоны соответствуют формулировке утверждения 3.

Поскольку приведенное доказательство справедливо для произвольного значения h , можно считать сформулированные утверждения доказанными.

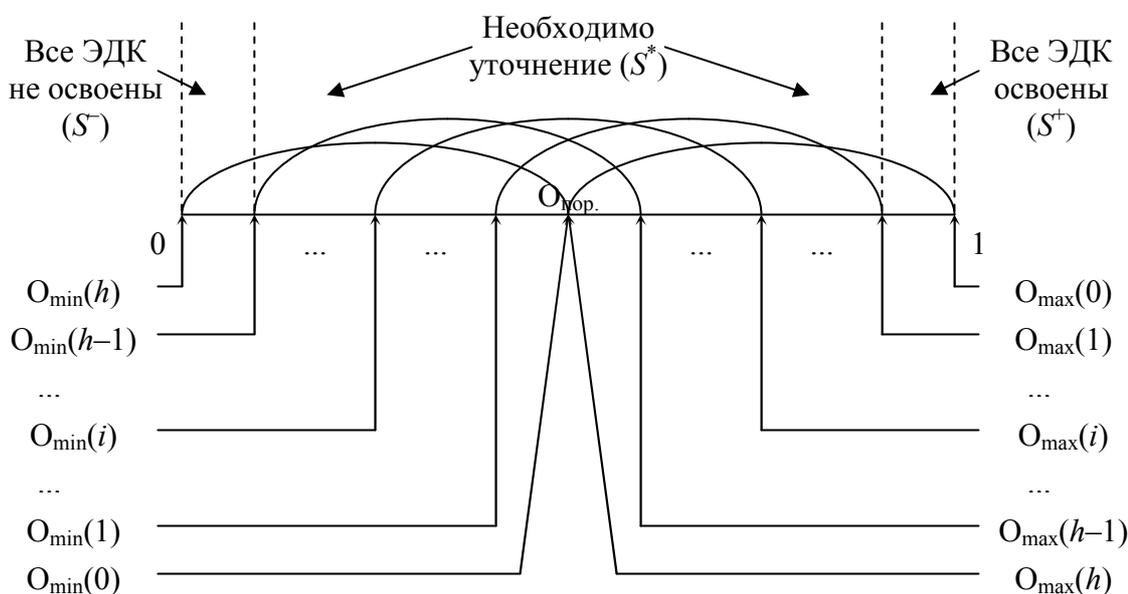


Рисунок 6.1.2 – Графическая иллюстрация анализа результатов тестирования для произвольных значений h и $O_{\text{пор.}}$.

Оценим вероятность события «Точное принятия решения об уровне освоения контролируемых тестом ЭДК» – $P_{\text{тпр}}$, которое имеет место в случае выполнения условий Утверждения 1 или Утверждения 2. Из анализа рисунка 6.1.2 следует, что вероятность $P_{\text{тпр}}$ определяется суммой значений ширины зон уверенного принятия решения (S^- и S^+):

$$P_{\text{тпр}} = O_{\min}(h-1) - O_{\min}(h) + O_{\max}(0) - O_{\max}(1) = -\Delta O_{\min} - \Delta O_{\max} = 1/h. \quad (6.1.11)$$

Соответственно, вероятность того, что результат теста необходимо будет уточнять $P_{\text{уг.}}$, определяется как:

$$P_{\text{уг.}} = 1 - P_{\text{тпр}} = 1 - 1/h = (h - 1)/h. \quad (6.1.12)$$

Очевидно, что точное принятие решения (6.1.11) и вывод о необходимости уточнения (6.1.12) составляют полную группу событий, и сумма их вероятностей равна 1.

Для разрешения неопределенности предлагается применение математического аппарата булевой алгебры. Также данная задача может быть решена с использованием методов нечеткой логики; в этом направлении автором проводятся исследования и имеются определенные практические результаты.

Апробация предлагаемого подхода к количественной оценке результатов реализации тестов проводится путем его использования в разработанном *методе анализа логический условий*. Метод построен с применением математического аппарата детерминированной логики и булевой алгебры. Он позволяет:

1. По результату каждого диагностического теста сформулировать описывающее его логическое условие;
2. По результатам реализации полной группы тестов определить общее логическое условие по всем контролируемым элементам дисциплинарных компетенций;
3. По результатам анализа общего логического условия принять решение об уровне освоения каждого элемента дисциплинарной компетенции;
4. Для неосвоенных элементов дисциплинарной компетенции определить перечень тестов, необходимых для повторной проверки, а также список корректирующих мероприятий.

Предлагаемый метод и построенный на его основе алгоритм дешифрации реализован в разработанной программной модели, показывающей, что его использование позволит автоматизировать процедуру оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате. Указанные подходы, методы и алгоритмы планируется применить в разрабатываемой автоматизированной системе сопровождения учебного процесса (управления и контроля качества обучения). Описание разработки и применения предлагаемых метода и алгоритма дешифрации результатов тестового диагностирования, подробно описаны в следующем разделе.

6.1.2. Разработка и применение метода анализа логических условий для дешифрации результатов диагностического теста уровня освоения элементов компетенций

В дисциплине (разделе) образовательной программы необходимо предусмотреть взаимоувязанные способы формирования и средства контроля ЭДК. Это является достаточно новой, слабоформализуемой и потому актуальной проблемой системы высшего образования. Для ее решения предлагается использовать аппарат и методы технических наук, которые должны быть адаптированы к особенностям выбранных объекта (компетенция) и субъекта (студент) контроля и оценивания.

На основании результатов оценивания ЭДК определяется степень освоения вышележащих уровней (компонентов, дисциплинарных компетенций, компетенций), например, с использованием аддитивного интегро-дифференциального критерия. Таким образом, от точности результатов оценивания ЭДК зависит точность принятия решения по всем результатам реализации образовательной программы. Поэтому важной проблемой является разработка процедуры дешифрации и оценивания результатов тестового диагностирования уровня освоения ЭДК. Целью данного раздела является разработка метода дешифрации результатов реализации диагностического теста уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций, построенного с использованием аппарата математической логики и булевой алгебры.

Основные положения метода анализа логических условий. В данном разделе предлагается разработанный автором метод *анализа логических условий* [167]. Он позволяет сформулировать условия для определения уровня освоения *каждого* из подмножества ЭДК, проверяемых *одним* сложным диагностическим тестом: 1) все освоены; 2) все не освоены; 3) требуется уточнение другими тестами или повторным тестированием. Результат позволяет определить *по двухуровневой шкале*, освоены все ЭДК из подмножества, контролируемых данным тестом (вариант 1) или все они не освоены (вариант 2). Если имеет место результат, не дающий возможность сделать точный вывод, то *вывод об освоении или не освоении элемента не производится* и возникает состояние *неопределенности* принятия решения (вариант 3). Для снятия неопределенности возможна *повторная реализация* того же теста (пересдача), или *совместный анализ* логического условия для *данного* теста с логическими условиями результатов *остальных* тестов, реализуемых в рамках дисциплины (модуля, раздела) и контролирующей заданную совокупность ЭДК. После совместного анализа для *каждого* элемента будет принято решение, освоен он или нет. Метод основан на использовании аппарата математической логики и результатах параметрического анализа, выполненных в работе [56].

Воспользуемся приведенной на рисунке 6.1.2 графической иллюстрацией зон точного принятия решения (S^- и S^+) и зоны результатов, нуждающихся в уточнении (S^*). Для одного сложного теста определим *логические условия*, связанные со значениями (достаточный или недостаточный уровень освоения) контролируемых им ЭДК в зависимости от попадания результата теста в одну из указанных зон на рисунке 6.1.2. Предварительно введем следующие обозначения.

Обозначим контролируемые элементы через \mathcal{E}_k ($k \in [1; h]$, где h – количество контролируемых тестом ЭДК), соответственно запись « \mathcal{E}_k » означает, что элемент \mathcal{E}_k *освоен* (*прямая* форма записи), а запись « $\bar{\mathcal{E}}_k$ » – элемент \mathcal{E}_k *не освоен* (*инверсная* форма записи). Тогда при попадании нормированного результата теста в зону S^- (ни один из h контролируемых тестом ЭДК не освоен) формулируется следующее логическое условие:

$$S^- = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \dots \cdot \bar{\mathcal{E}}_k \cdot \dots \cdot \bar{\mathcal{E}}_{h-1} \cdot \bar{\mathcal{E}}_h = \prod_{k=1}^h \bar{\mathcal{E}}_k. \quad (6.1.13)$$

Аналогично при попадании нормированного результата теста в зону S^+ (все h контролируемых тестом ЭДК освоены) формулируется следующее логическое условие:

$$S^+ = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \dots \cdot \mathcal{E}_k \cdot \dots \cdot \mathcal{E}_{h-1} \cdot \mathcal{E}_h = \prod_{k=1}^h \mathcal{E}_k. \quad (6.1.14)$$

Для определения логических условий для зоны S^* (требуется уточнить уровень освоения контролируемых тестом ЭДК дополнительными тестами поиска) необходимо предварительно декомпозировать ее на фрагменты (участки). Рассмотрим декомпозицию множества S^* на два подмножества, располагающиеся на рисунке 6.1.2 по разные стороны относительно значения $O_{\text{пор.}}$:

1. $S^{*-} = \{S_{h,h-1}; S_{h,h-1,h-2}; \dots; S_{h,h-1,h-2,\dots,1}\}$, где индекс «*-» означает, что рассматривается диапазон $[0; O_{\text{пор.}})$;
2. $S^{*+} = \{S_{0,1}; S_{0,1,2}; \dots; S_{0,1,2,\dots,h-1}\}$, где индекс «*+» означает, что рассматривается диапазон $[O_{\text{пор.}}; 1]$.

Индексы участков показывают, при каком количестве нЭДК нормированный результат реализации теста принадлежит диапазону данного участка.

Уточним условия для перечисленных участков зоны S^{*-} (перечисление от $O_{\text{min}}(h)$ слева направо, см. рисунок 6.1.2; индексы, обозначающие количество нЭДК, располагаются в порядке убывания):

- $S_{h,h-1}$: количество нЭДК равно h или $(h-1)$, т.к. результат теста $O \in [O_{\text{min}}(h-1); O_{\text{min}}(h-2))$;
- $S_{h,h-1,h-2}$: количество нЭДК равно h или $(h-1)$ или $(h-2)$, т.к. результат теста $O \in [O_{\text{min}}(h-2); O_{\text{min}}(h-3))$;
- ...
- $S_{h,h-1,h-2,\dots,1}$: количество нЭДК равно h или $(h-1)$ или $(h-2)$ или ... или 1, т.к. результат теста $O \in [O_{\text{min}}(1); O_{\text{min}}(0))$.

Уточним условия для перечисленных участков зоны S^{*+} (перечисление от $O_{\max}(0)$ справа налево, см. рисунок 6.1.2; индексы, обозначающие количество нЭДК, располагаются в порядке возрастания):

– $S_{0,1}$: количество нЭДК равно 0 или 1, т.к. результат теста $O \in (O_{\max}(2); O_{\max}(1)]$;

– $S_{0,1,2}$: количество нЭДК равно 0 или 1 или 2, т.к. результат теста $O \in (O_{\max}(3); O_{\max}(2)]$;

...
– $S_{0,1,2,\dots,h-1}$: количество нЭДК равно 0 или 1 или 2 или ... или $(h-1)$, т.к. результат теста $O \in (O_{\max}(h); O_{\max}(h-1)]$.

Определим *мощность* полного множества вариантов $|S|$ и мощность составляющих его подмножеств $|S^{*-}|$ и $|S^{*+}|$ для сложного теста, контролирующего h ЭДК:

$$\begin{aligned} |S| &= 2 \cdot h = |S^-| + |S^+| + |S^*| = |S^-| + |S^+| + |S^{*-}| + |S^{*+}|; \\ |S^-| &= 1; |S^+| = 1; |S^*| = |S^{*-}| + |S^{*+}|; |S^{*-}| = |S^{*+}| = h-1; |S^*| = 2 \cdot (h-1); \\ |S| &= 1 + 1 + 2 \cdot (h-1) = 2 \cdot h. \end{aligned} \quad (6.1.15)$$

Теперь можно записать логические условия для составляющих подмножеств S^{*-} и S^{*+} , каждая из которых представляет собой подмножество подозреваемых на недостаточный уровень освоения ЭДК (нЭДК).

Задание логических условий для подмножеств результатов дешифрации. В подмножестве S^{*-} для зоны $S_{h,h-1}$, при попадании результата теста в которую делается вывод о том, что не освоены либо h ЭДК, либо $(h-1)$ ЭДК, формулируется следующее логическое условие:

$$S_{h,h-1} = \prod_{k=1}^h \bar{\Theta}_k + \sum_{j=1}^h \left[\Theta_j \cdot \prod_{\substack{k=1, \\ k \neq j}}^h \bar{\Theta}_k \right].$$

В сформулированном логическом условии каждый терм показывает вариант распределения освоенных и неосвоенных ЭДК в зависимости от расположения на рисунке 6.1.2 рассматриваемого участка (индексов подмножества S^{*-}). В результате минимизации логической функции получается следующий результат:

$$S_{h,h-1} = \sum_{j=1}^h \prod_{\substack{k=1, \\ k \neq j}}^h \bar{\Theta}_k.$$

Проанализировав все варианты подмножества S^{*-} , можно сделать вывод, что логическое условие для произвольного значения i $S_{h,\dots,i}$ ($i \in [1; h-1]$) записывается как дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ). Термы ДНФ представляют конъюнкцию из i неосвоенных элементов, каждый из которых обозначается *инверсной* формой записи ($\bar{\Theta}_k$). Число сочетаний (термов) определяется в соответствии законами комбинаторики (для принятой двухуровневой шкалы оценивания):

$$N_{h,\dots,i} = C_h^i = \binom{h}{i} = \frac{h!}{i!(h-i)!} \quad (6.1.16)$$

Запишем логическое условие для произвольного значения i с учетом (6.1.16):

$$S_{h,\dots,i} = \sum_{j=1}^{N_{h,\dots,i}} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in U_j}}^h \bar{\Theta}_k, \quad (6.1.17)$$

где U_j – совокупность индексов для j -го сочетания.

Пример 1. Для $h = 4$, $i = 2$ множество сочетаний U состоит из $N_{4,3,2} = C_4^2 = 6$ вариантов по $i = 2$ индекса: $U = \{U_j, j \in [1; 6]\} = \{1, 2; 1, 3; 1, 4; 2, 3; 2, 4; 3, 4\}$, а логическое условие $S_{4,3,2}$ определяется следующим образом:

$$S_{4,3,2} = \sum_{j=1}^{N_{4,3,2}} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in U_j}}^4 \bar{\Theta}_k = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_4 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_4 + \bar{\Theta}_3 \cdot \bar{\Theta}_4.$$

В подмножестве S^{*+} для зоны $S_{0,1}$, при попадании результата теста в которую делается вывод о том, что не освоены либо 0 ЭДК, либо 1 ЭДК, формулируется следующее логическое условие:

$$S_{0,1} = \sum_{j=1}^h \prod_{k=1, k \neq j}^h \Theta_k.$$

Проанализировав все варианты подмножества S^{*+} , можно сделать вывод, что логическое условие для произвольного значения i $S_{0,\dots,i}$ ($i \in [1; h-1]$) записывается как дизъюнктивная нормальная форма. Термы ДНФ представляют конъюнкцию

из $(h-i)$ *освоенных* элементов, каждый из которых обозначается *прямой* формой записи (\mathcal{E}_k) . Число сочетаний (термов) определяется в соответствии законами комбинаторики:

$$N_{0,\dots,i} = C_h^{h-i} = \binom{h}{h-i} = \frac{h!}{(h-i)!i!} \quad (6.1.18)$$

Запишем логическое условие для произвольного значения i с учетом (6.1.18):

$$S_{0,\dots,i} = \sum_{j=1}^{N_{0,\dots,i}} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in U_j}}^h \mathcal{E}_k, \quad (6.1.19)$$

где U_j – совокупность индексов для j -го сочетания.

Пример 2. Для $h = 4$, $i = 1$ множество сочетаний U состоит из $N_{0,1} = C_4^{4-1} = C_4^3 = 4$ вариантов по $i = 4 - 1 = 3$ индекса: $U = \{U_j, j \in [1; 4]\} = \{1, 2, 3; 1, 2, 4; 1, 3, 4; 2, 3, 4\}$, а логическое условие $S_{0,1}$ определяется следующим образом:

$$S_{0,1} = \sum_{j=1}^{N_{0,1}} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in U_j}}^4 \mathcal{E}_k = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_3 \cdot \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 \cdot \mathcal{E}_4.$$

Доказательство правильности формул (4–5) и (6–7) может быть выполнено, например, методом индукции (направленного перебора) и вследствие большого объема рутинных расчетов не приводится.

Введем обобщенные характеристики (тест T_j контролирует W_j элементов) на основании анализа графической иллюстрации зонного разбиения на рисунке 6.1.2:

$$N_j = N_j^{+-} + N_j^*; N = 2 \cdot W_j; N_j^{+-} = 2; N_j^* = 2 \cdot W_j - 2 = 2 \cdot (W_j - 1), \quad (6.1.20)$$

где N_j – количество вариантов результата теста (мощность множества S); N_j^{+-} – количество вариантов точного принятия решения (все контролируемые тестом элементы не освоены или все контролируемые тестом элементы освоены, т.е. суммарная мощность подмножеств S^- и S^+); N_j^* – количество вариантов, требующее уточнения дополнительными тестами, т.е. мощность подмножества $S^* = S^{*-} + S^{*+}$.

Следующей задачей является применение разработанного метода анализа логических условий в основе алгоритма дешифрации результатов реализации тес-

того набора (совокупности диагностических тестов поиска) для безусловного или одного (с произвольным номером) шага условного алгоритма диагностирования.

Пример формирования логических условий для диагностического теста с заданными характеристиками. Запишем логические условия для сформулированных утверждений применительно к тесту, контролирующему $h = 3$ ЭДК. Обозначим контролируемые элементы \mathfrak{A}_1 , \mathfrak{A}_2 и \mathfrak{A}_3 . В соответствии с (6.1.15) мощность множества S и составляющих его подмножеств определяется так:

$$|S| = 2 \cdot h = 2 \cdot 3 = 6;$$

$$|S^-| = 1; |S^+| = 1; |S^{*-}| = |S^{*+}| = h - 1 = 3 - 1 = 2; |S^*| = 2 \cdot (h-1) = 4.$$

Укажем состав подмножеств: $S^{*-} = \{S_{h,h-1} = S_{3,2}; S_{h,h-1,h-2} = S_{3,2,1}\}$.

Запишем логические условия для подмножеств:

1. $S^- = \bar{\mathfrak{A}}_1 \cdot \bar{\mathfrak{A}}_2 \cdot \bar{\mathfrak{A}}_3$ – условие уверенного принятия решения о том, что все $h = 3$ контролируемые тестом ЭДК не освоены.

2. $S^+ = \mathfrak{A}_1 \cdot \mathfrak{A}_2 \cdot \mathfrak{A}_3$ – условие уверенного принятия решения о том, что все $h = 3$ контролируемые тестом ЭДК освоены.

3. Для $S_{h,h-1} = S_{3,2}$ условие будет состоять из 3-х термов (в соответствии с (6.1.16) и (6.1.17) для $h = 3$ и $i = 2$ количество сочетаний $C_3^2 = 3$), каждый из которых представляет собой конъюнкцию из $i = 2$ элементов в инверсной форме записи (с учетом выполненной минимизации логической функции):

$$S_{3,2} = \bar{\mathfrak{A}}_1 \cdot \bar{\mathfrak{A}}_2 + \bar{\mathfrak{A}}_1 \cdot \bar{\mathfrak{A}}_3 + \bar{\mathfrak{A}}_2 \cdot \bar{\mathfrak{A}}_3.$$

Приведенное условие показывает: или все три контролируемые тестом элементы не освоены, или какие-либо два из трех элементов не освоены.

4. Для $S_{h,h-1,h-2} = S_{3,2,1}$ условие будет состоять из 3-х термов (в соответствии с (6.1.16) и (6.1.17) для $h = 3$ и $i = 1$ количество сочетаний $C_3^1 = 3$), каждый из которых представляет собой $i = 1$ элемент в инверсной форме записи (с учетом выполненной минимизации логической функции):

$$S_{3,2,1} = \bar{\mathfrak{A}}_1 + \bar{\mathfrak{A}}_2 + \bar{\mathfrak{A}}_3.$$

Приведенное условие показывает: или все три контролируемые тестом элементы не освоены, или какие-либо два из трех элементов не освоены, или какой-либо один из трех элементов не освоен.

5. Для $S_{0,1}$ условие будет состоять из 3-х термов (в соответствии с (6.1.18) и (6.1.19) для $h = 3$ и $i = 1$ количество сочетаний $C_3^{3-1} = 3$), каждый из которых представляет собой конъюнкцию из $h - i = 3 - 1 = 2$ элементов в прямой форме записи (с учетом выполненной минимизации логической функции):

$$S_{0,1} = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3.$$

Приведенное условие показывает: или все три контролируемые тестом элементы освоены, или какие-либо два из трех элементов освоены (что то же самое – или нет неосвоенных элементов, или один неосвоенный элемент).

6. Для $S_{0,1,2}$ условие будет состоять из 3-х термов (в соответствии с (6.1.18) и (6.1.19) для $h = 3$ и $i = 2$ количество сочетаний $C_3^{3-2} = 3$), каждый из которых представляет собой конъюнкцию из $h - i = 3 - 2 = 1$ элемента в прямой форме записи (с учетом выполненной минимизации логической функции):

$$S_{0,1,2} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3.$$

Приведенное условие показывает: или все три контролируемые тестом элементы освоены, или какие-либо два из трех элементов освоены, или какой-либо один из трех элементов освоен (что то же самое – или нет неосвоенных элементов, или один неосвоенный элемент, или два неосвоенных элемента).

Варианты 3-6 не дают точной информации о результате освоения контролируемых тестом элементов и нуждаются в уточнении дополнительными тестами поиска.

Апробация метода анализа логических условий проводится при его применении в основе разработанного алгоритма дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения ЭДК. Он дает возможность определить общее логическое условие, которое характеризует состояние (освоение или не освоение) по всем контролируемым элементам дисциплинарных компетенций. После этого проводится анализ общего логического условия с целью выявления, достаточно ли информации для принятия решение об уровне освоения каждого элемента дис-

циплинарной компетенции. При необходимости производится переход к последующим шагам алгоритма, а именно: определяется перечень тестов для повторной или дополнительной проверки, а также список корректирующих мероприятий, учебно-методической литературы для подготовки и т.п.

Предлагаемый метод анализа логических условий и построенный на его основе алгоритм дешифрации реализован в разработанном программном инструментарии, позволяющем автоматизировать процедуру оценивания результатов обучения, заданных в компетентностном формате. Указанные подходы, методы и алгоритмы планируется применить в разрабатываемой автоматизированной системе сопровождения учебного процесса (управления и контроля качества обучения). Последовательность разработки и применение предлагаемого алгоритма дешифрации результатов тестового диагностирования подробно описаны далее.

6.1.3. Алгоритм дешифрации результатов диагностических тестов уровня освоения элементов компетенций

Задачи разработки методик и алгоритмов взаимосвязанных процедур формирования, контроля и оценивания качества реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ являются важным инструментом повышения качества процесса обучения. Одним из возможных направлений исследований является применение адаптированных к рассматриваемой предметной области аппарата и методов смежных, в том числе, технических наук, которые могут дать эффективные, алгоритмизируемые и автоматизированные решения.

Важным этапом, предваряющим оценивание уровня освоения ЭДК, ДК или всей компетенции в целом, является процедура дешифрации результатов контроля. Выше был представлен разработанный метод *анализа логических условий*, построенный на основе аппарат детерминированной логики [56, 167]. Он позволяет использовать формальный аппарат булевой алгебры для определения логических условий, по которым принимается решение об уровне освоения формируемых и контролируемых в данной дисциплине компетенций, их компонентов и элементов. Целью данного раздела является разработка и исследование алгоритма дешифрации результатов тестового диагностирования на основе метода анализа ло-

гических условий. Он даст возможность принятия решения об уровне освоения заданного набора компетенций и их составляющих, определить недостаточно проработанные студентом темы и разделы учебных дисциплин, а также выработать список корректирующих мероприятий и необходимых для повторной реализации диагностических тестов.

Количественные и вероятностные характеристики алгоритма дешифрации. Формируемые в учебной дисциплине элементы дисциплинарных компетенций (ЭДК) проверяются совокупностью средств контроля (тестов обнаружения или поиска). Они вводятся преподавателем при разработке рабочей программы дисциплины. Информация об этом заносится в таблицу диагностирования (соответствия), которая позволяет задать и определить покрывающие свойства ЭДК и тестов:

- какими тестами контролируется каждый ЭДК;
- какие ЭДК проверяет каждый тест.

После реализации всех заданных тестов (при безусловном алгоритме поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения) или на очередном шаге проверки (при условном алгоритме поиска ЭДК с недостаточным уровнем освоения) необходимо проанализировать результаты диагностирования. Для этого предлагается предложенный выше метод *анализа логических условий*. Он позволяет формулировать условия точного определения уровня освоения совокупности ЭДК по принятой двухуровневой шкале оценивания.

Утверждение 1. Если совокупность из h ЭДК контролируется H тестами, и каждый тест контролирует W_j элементов, то общее количество вариантов результатов всех тестов:

$$N_0 = \prod_{j=1}^H (2 \cdot W_j) = 2^H \cdot \prod_{j=1}^H W_j \quad (6.1.21)$$

Доказательство. Мощность множества S_j $N = 2 \cdot W_j$. Поскольку сочетание всех возможных вариантов оценивается через операцию произведения, следовательно, выражение для N_0 справедливо.

Общее логическое условие, описывающее результаты реализации всех заданных тестов, определяется по конъюнкции логических условий соответствующих вариантов:

$$S = S_1 \& S_2 \& \dots \& S_j \& \dots S_{H-1} \& S_H, \quad (6.1.22)$$

где S – общее для всех результатов логическое условие, показывающее результат освоения (освоен или не освоен) каждый из контролируемых тестами ЭДК; S_j – логическое условие для j -го теста ($j \in [1; H]$).

Общее логическое условие S в виде булевой функции в результате расчета и минимизации может быть представлено в одном из следующих вариантов:

Вариант № 1. *Один терм*, представляющий конъюнкцию всех H контролируемых совокупностью тестов ЭДК, что свидетельствует о возможности точного принятия решения (обозначим количество таких вариантов, полученных в результате моделирования, N_1);

Вариант № 2. 0 , что свидетельствует о невозможности появления данного сочетания условий для составляющих общее логическое условие логических условий соответствующих тестов (обозначим количество таких вариантов, полученных в результате моделирования, N_0);

Вариант № 3. *Один терм*, представляющий конъюнкцию части контролируемых совокупностью тестов ЭДК, что свидетельствует о невозможности точного принятия решения для всех ЭДК и необходимости уточнения результатов по не вошедшим в терм ЭДК (обозначим количество таких вариантов, полученных в результате моделирования, N_*);

Вариант № 4. *Несколько термов*, что свидетельствует о невозможности точного принятия решения для всех ЭДК и необходимости уточнения результатов по ЭДК, не вошедшим ни в один терм или вошедшим в несколько термов (обозначим количество таких вариантов, полученных в результате моделирования, N_{**}).

Общее количество вариантов равно сумме указанных вариантов:

$$N_O = 2^H \cdot \prod_{j=1}^H W_j = N_1 + N_0 + N_* + N_{**} \quad (6.1.23)$$

Вероятность точного принятия решения по сочетанию результатов всех поданных тестов определяется следующим образом:

$$P_{\text{ТПР}} = N_1 / (N_1 + N_* + N_{**}). \quad (6.1.24)$$

В частном случае, когда все тесты контролируют одинаковое количество элементов, т.е. $W_j = \text{const} = W$, то формула (6.1.21) имеет следующий вид: $(2 \cdot W)^H$.

Для того чтобы определить различные варианты дешифрации для анализа заданной таблицы соответствия ЭДК и тестов, предлагается следующий алгоритм моделирования.

1. Задать формат таблицы соответствия ЭДК и тестов размера $h \times H$.
2. Задать покрытие таблицы диагностирования (соответствия для каждого теста, какие ЭДК он контролирует).
3. Определить по каждому тесту количество контролируемых им элементов $W_j, j = (1, H)$.
4. Определить общее количество вариантов результатов тестов.
5. Определить количество вариантов с неопределенными значениями.
6. Промоделировать каждое сочетание результатов с целью определить набор элементов, уровень освоения которых требуется уточнить.
7. Для каждого требующего уточнения сочетания результатов теста определить, какой раздел дисциплины нужно дополнительно изучать и какой соответствующий тест пересдать (при условии минимального (не ниже заданного порогового значения) уровня освоения других ЭДК).

Пример выполнения алгоритма дешифрации. Ниже приведен пример использования предлагаемого алгоритма для контроля освоения заданных элементов дисциплинарной компетенции в одном из модулей дисциплины «Общая теория связи» профессионального цикла образовательной программы подготовки бакалавров по направлению. 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Исходные данные:

– дисциплина «Общая теория связи»;

- модуль № 5 «Помехоустойчивое кодирование в системах передачи данных»;
- формируемая в модуле дисциплинарная компетенция ДК₅: «Способность рассчитать параметры и реализовать процедуры кодирования/декодирования избыточных помехоустойчивых кодов»;
- *формируемые ЭДК* (здесь и далее нумерация приведена внутри модуля № 5, формирующего и контролирующего ДК₅):
 - Э₁: «Знать методы расчета параметров и оценки вероятностных характеристик помехоустойчивых кодов»;
 - Э₂: «Уметь применять способы и алгоритмы кодирования, а также выполнять аппаратно-программную реализацию кодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - Э₃: «Уметь применять способы и алгоритмы декодирования, а также выполнять аппаратно-программную реализацию декодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - *виды аудиторной работы*, в рамках которых формируются ЭДК:
 - лекция № 1 «Способы построения и расчета помехоустойчивых кодов»;
 - лекция № 2 «Способы реализации и алгоритмы работы кодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - лекция № 3 «Способы реализации и алгоритмы работы декодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - практическое занятие № 1 «Построение кодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - практическое занятие № 2 «Построение декодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - лабораторная работа № 1 «Исследование алгоритмов кодирования/декодирования и способов аппаратно-программной реализации кодирующих/декодирующих устройств помехоустойчивых кодов»;
 - *виды самостоятельной работы*, в рамках которых формируются ЭДК:
 - индивидуальное задание по тематике практического занятия № 1;

- индивидуальное задание по тематике практического занятия № 2;
- индивидуальное задание по лабораторной работе № 1;
- *средства контроля (тесты)*:
- Т₁: тестовое задание по проверке знания методов расчета параметров, принципов построения и функционирования кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов;
- Т₂: проверка выполнения индивидуального задания по тематике практического занятия № 1;
- Т₃: проверка выполнения индивидуального задания по тематике практического занятия № 2;
- Т₄: проверка выполнения индивидуального задания по лабораторной работе № 1.

Зададим общие параметры решаемой задачи: количество элементов $h = 3$; количество тестов $H = 4$, $O_{\text{пор.}} = 0,5$; таблица диагностирования (таблица 6.1.4):

Таблица 6.1.4 – Таблица диагностирования

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Э ₁	*	*	*	
Э ₂	*	*		*
Э ₃	*		*	*
W	3	2	2	2

Общее количество вариантов результатов тестов:

$$2^H \cdot \prod_{j=1}^H W_j = 2^4 \cdot \prod_{j=1}^4 W_j = 16 \cdot (3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4) = 16 \cdot 24 = 384.$$

При помощи разработанной программы имитационного моделирования проанализируем некоторые варианты сочетаний логических условий для каждого теста (таблица 6.1.5). В таблице 6.1.5 приняты следующие условные обозначения столбцов:

- №: порядковый номер строки, показывает вариант распределения результатов тестирования для конкретного студента;

- T_j : диагностический тест ($j \in [1; H]$);
- R_j : результат реализации теста T_j ($R_j \in [0; 1]$);
- S_j : состояние (подмножество), которому принадлежит результат теста T_j ; определяется по распределению зон на рисунке 6.1.2 или по таблице 6.1.3, построенным для свойств (количество и перечень контролируемых данным тестом ЭДК, заданное $O_{\text{пор.}}$);
- L_j : логическое условие, соответствующее подмножеству, которому принадлежит результат теста T_j (введено в [5]).

В таблицу 6.1.5 занесены примеры сочетаний 4 разных вариантов логических условий тестов, определено общее логическое условие (столбец «Результаты») и сделан вывод (столбец «Выводы»).

Таблица 6.1.5 – Варианты сочетаний логических условий для группы тестов

№	T_j	R_j	S_j	L_j	Общие логические условия	Выводы
1	T_1	0,15	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot$ $\bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot$ $\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 =$ $= \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	Вариант № 1: все контролируемые тестами ЭДК не освоены
	T_2	0,2	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2$		
	T_3	0,1	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3$		
	T_4	0,08	S^-	$\bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$		
2	T_1	0,2	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot$ $\bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 \cdot$ $\cdot (\Theta_2 + \Theta_3) = 0$	Вариант № 2: указанное сочетание условий невозможно, т.е. на практике не встретится и его можно не учитывать
	T_2	0,15	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3$		
	T_3	0,1	S^-	$\bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$		
	T_4	0,55	$S_{0,1}$	$\Theta_2 + \Theta_3$		
3	T_1	0,2	$S_{3,2}$	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	$(\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3) \cdot$ $\cdot (\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2) \cdot (\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3) \cdot (\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2) =$ $= \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3$	Вариант № 3: уровень освоения Θ_2 не определен, требуется дополнительное тестирование
	T_2	0,28	$S_{2,1}$	$\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2$		
	T_3	0,18	S^-	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3$		
	T_4	0,35	$S_{2,1}$	$\bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_3$		
4	T_1	0,2	$S_{3,2}$	$\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	$(\bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3) \cdot$ $\cdot (\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2) \cdot (\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_3) \cdot (\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2) =$ $= \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_3 + \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3$	Вариант № 4: термов больше 1, требуется
	T_2	0,28	$S_{2,1}$	$\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_2$		

	T_3	0,44	$S_{2,1}$	$\bar{\Theta}_1 + \bar{\Theta}_3$		дополнительный анализ и тестирование
	T_4	0,35	$S_{2,1}$	$\bar{\Theta}_2 + \bar{\Theta}_3$		
...

Проведем анализ заполнения таблицы 6.1.5.

1. Результаты тестов (содержание столбца R_j) нормализованы в диапазоне $[0; 1]$.

2. Принадлежность результатов тестов подмножествам S_j определяется с помощью формул, приведенных в [4].

3. Логические условия L_j определяются с помощью (6.1.17) и (6.1.19).

4. Для варианта № 3 необходимо уточнить, освоен ли элемент Θ_2 . С этой целью для повторной реализации нужно выбрать тест, который контролирует указанный элемент и наиболее эффективен (например, исправить результат и повторно защитить индивидуальное задание по теме практического занятия № 1).

5. Для варианта № 4 результат дополнительного анализа представлен в следующем виде: не освоены по два элемента из трех. Поэтому нужно учесть (рассчитать или промоделировать), уточнение результата которого (одного или нескольких) тестов приведет к уточнению всего логического условия. Для рассматриваемого примера уточнение результата любого из тестов T_2 , T_3 или T_4 (их значения будут или S^- , или S^+) приведет к уточнению результата всего логического условия, а уточнение результата теста T_1 – нет. Поэтому целесообразнее дополнительное изучение соответствующего учебного материала (лекций №№ 1-3) и повторная сдача одного из тестов T_2 , T_3 или T_4 по указанным выше соображениям, а которого из них – также необходимо решить, проведя сравнение по выбранным критериям (например, сложность изучения, важность материала для дальнейшего обучения, сложность организации дополнительного тестирования и т.п.).

В таблицу 6.1.5 занесены примеры сочетаний 4 разных вариантов логических условий тестов, определено общее логическое условие (столбец «Результаты») и сделан вывод (столбец «Выводы»).

Вариант № 1 относится к событию N_1 (точное принятие решения), вариант № 2 – к событию N_0 (невозможное сочетание условий), вариант № 3 – к событию N_* (не все элементы определены), вариант № 4 – к событию N_{**} (все элементы не определены).

На практике предложенный алгоритм моделирования реализуется по конкретным (полученным в процессе реального тестирования) данным о результатах тестового диагностирования. Для предварительной оценки корректности составления таблицы диагностирования (например, чтобы избежать ситуации, когда точно определить результат можно будет лишь в малом количестве случаев ($P_{ТПР}$ близко к 0 в формуле (6.1.24)) разработана программа имитационного моделирования.

С использованием разработанного метода предлагается применять условный алгоритм поиска нЭДК. Первый шаг алгоритма:

- реализация всех тестов;
- дешифрация их результатов для определения реакции каждого ЭДК на контролируемые тесты;
- ранжирование результатов;
- формирование логических условий для каждого теста;
- формирование общего логического условия;
- определение множества подозреваемых на недостаточный уровень освоения ЭДК (множество нЭДК);
- выбор тестов, результаты которых нужно скорректировать (и соответствующих фрагментов учебного материала, который нужно дополнительно изучить).

Второй шаг алгоритма – реализация корректирующих мероприятий и дополнительных тестов, получение, дешифрация и логический анализ результатов по этапам, аналогичным этапам первого шага, и т.д. Количество шагов алгоритма регламентируется заданными ресурсными ограничениями (временными, организационными, нормативно-методическими, кадровыми, материально-техническими и т.д.).

Задачи моделирования представляют собой отдельное направление исследования. Указанный класс задач в полном объеме для большеразмерных таблиц эффективно и качественно может быть решен только в рамках автоматизированной информационной системы, алгоритмическое и программное обеспечение которой разрабатывается в настоящее время.

Верификация метода анализа логических условий с помощью разработанного программного инструментария в среде Visual Basic for Applications и его апробация в учебном процессе. Для исследования возможностей и доказательства корректности предложенного алгоритма дешифрации результатов тестового диагностирования по разработанному методу анализа логических условий использовано моделирование. Поэтому была разработана программа имитационного моделирования в среде Visual Basic for Application (VBA), интегрированной в пакет Microsoft Excel. Исходными данными является заданная таблица диагностирования, в которой фиксируются количество ЭДК, тестов и покрытие таблицы. Программа позволяет промоделировать и проанализировать все варианты результатов тестов, определить логические условия точного определения уровня освоения ЭДК или необходимость уточнения. Результаты работы программы моделирования для заданной таблицы диагностирования (таблица 6.1.4), представлены на рисунке 6.1.3. Алгоритм работы программы следующий.

1. Задается таблица диагностирования ЭДК (Θ_i) и тестов (T_j), в том числе расчет покрытия W_j (для каждого теста указывается, какие ЭДК он контролирует).
2. Определяется общее количество вариантов результатов тестов в соответствии с (6.1.21). Это необходимо в рамках данной программы моделирования для доказательства адекватности предлагаемых алгоритмов.
3. Моделируются (методом полного перебора) все сочетания логических условий для каждого теста (столбец «L1»-«L4»), определяется результат в виде логической булевой функции (столбец «L»).
4. Проводится минимизация полученного результата (столбец «Lmin»).
5. Анализируется полученный результат на предмет принадлежности его к состояниям N_1, N_0, N_*, N_{**} по формуле (6.1.23).

6. Рассчитывается вероятность точного принятия решения по формуле (6.1.24).

7. Выделяются варианты с неточным результатом для выявления тех ЭДК, уровень которых не определен (выделены красным цветом), для дальнейшего (пока неавтоматизированного) подбора минимально достижимого варианта, который бы определил уровень освоения всех ЭДК.

A1	B	C	D	E	F	G	
1							
2	31	*	*	*			
3	32	*	*	*			
4	33	*	*	*			
5	W	2	2	2	3		
7	Опор.=0,5	N=384	NO=250	N*=12	N**=24	P=0,73	
8	№ n/n	L1	L2	L3	L4	Lmin	
9	1	0	0	0	0	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32*l33
10	2	0	0	0	S_32	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32*l33
11	3	0	0	0	S_321	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32*l33
15	7	0	0	S_21	0	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32*l33
16	8	0	0	S_21	S_32	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32*l33
17	9	0	0	S_21	S_321	(l31*l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32*l33
33	25	0	S_21	0	0	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32*l33
34	26	0	S_21	0	S_32	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32*l33
35	27	0	S_21	0	S_321	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32*l33
39	31	0	S_21	S_21	0	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32*l33
40	32	0	S_21	S_21	S_32	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
41	33	0	S_21	S_21	S_321	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
42	34	0	S_21	S_21	S_012	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
46	38	0	S_21	S_01	S_32	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
47	39	0	S_21	S_01	S_321	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
48	40	0	S_21	S_01	S_012	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
64	56	0	S_01	S_21	S_32	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
65	57	0	S_01	S_21	S_321	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
66	58	0	S_01	S_21	S_012	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
70	62	0	S_01	S_01	S_32	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
71	63	0	S_01	S_01	S_321	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
72	64	0	S_01	S_01	S_012	(l31*l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
105	97	S_21	0	0	0	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32
106	98	S_21	0	0	S_32	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
107	99	S_21	0	0	S_321	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32*l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
111	103	S_21	0	S_21	0	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32
112	104	S_21	0	S_21	S_32	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
113	105	S_21	0	S_21	S_321	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
114	106	S_21	0	S_21	S_012	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
118	110	S_21	0	S_01	S_32	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32
119	111	S_21	0	S_01	S_321	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
120	112	S_21	0	S_01	S_012	(l31+l32)*(l31*l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
129	121	S_21	S_21	0	0	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32
130	122	S_21	S_21	0	S_32	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l32
131	123	S_21	S_21	0	S_321	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31+l32+l33)	l32
132	124	S_21	S_21	0	S_012	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32*l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32
135	127	S_21	S_21	S_21	0	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32*l33)	l31*l32
136	128	S_21	S_21	S_21	S_32	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31*l32+l31*l33+l32*l33)	l31*l32+l31*l33+l32*l33
137	129	S_21	S_21	S_21	S_321	(l31+l32)*(l31+l33)*(l32+l33)*(l31+l32+l33)	l31*l32+l31*l33+l32*l33

Рисунок 6.1.3 – Экранная форма программы моделирования

Результаты моделирования для заданной таблицы диагностирования:

- общее количество вариантов результатов теста (сочетаний зон): $N = 384$;
- количество невозможных сочетаний результатов тестов: $N_0 = 250$;
- количество сочетаний в виде логического условия, для которых необходимо уточнение результатов $N_* = 12$ и $N_{**} = 24$.

Определим количество сочетаний, по которым можно точно принять решение:

$$N_1 = N - N_0 - N_* + N_{**} = 384 - 250 - 12 - 24 = 98.$$

Вероятность точного принятия решения по сочетанию результатов всех поданных тестов определяется следующим образом:

$$P_{\text{ТПР}} = N_1 / (N - N_0) = 98 / 134 \approx 0,73,$$

что означает, что с вероятностью примерно 73 % результат тестового диагностирования не потребует уточнения дополнительными тестами или повторной проверки.

Для вариантов, по которым требуется уточнение результатов, необходимо провести анализ получившегося логического условия, выбор элементов, уровень освоения которых которые нужно уточнить, а затем – выбор тестов (одного или нескольких), которые решат эту задачу. Некоторые результаты моделирования приведены в таблице 6.1.5, соответственно после нее рассмотрен пример анализа результатов тестирования.

Результаты сравнения разработанного и традиционного подходов к количественной оценке результатов обучения, представленных в компетентностном формате. Количественная оценка результатов обучения, представленных в компетентностном формате, задача новая и недостаточно отраженная в научно-методических публикациях. Поэтому предлагаемый подход, метод и алгоритм *сравнивался с двумя возможными существующими традиционными подходами. Результаты сравнения* приводятся ниже.

1. Формирование простого (индивидуального) теста для каждого ЭДК. Недостатками данного подхода является большое (избыточное) количество тестов и сложность подбора индивидуально теста для формулировки конкретного ЭДК.

2. Усреднение результатов диагностирования – оценка за тест, контролирующей несколько ЭДК, отождествляется с каждым из них. Недостатками данного подхода является возможность компенсации внутри теста, а также отсутствие анализа неопределенности в принятии решения, когда разные тесты дают разные результаты по одному и тому же ЭДК.

Для рассмотренной в примере дисциплины были построены средства контроля по всем трем способам, проведено тестирование, обработаны результаты и сделан вывод, что предлагаемый подход позволяет с большей точностью и за меньшее количество тестов определить уровни освоения контролируемых ЭДК.

Для апробации предлагаемых метода, алгоритма и программы выбраны дисциплины профессионального цикла образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Управление в технических системах» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Для реализации в конкретной дисциплине разработанных подхода, метода и алгоритма были выполнены следующие виды работ:

1. Сформирована контролепригодная (с учетом выбранных для дисциплины средств тестирования) компонентная структура частей компетенций, реализуемых в рассматриваемой дисциплине (дисциплинарных компетенций) на уровне элементов «знать», «уметь», «владеть».

2. Построены матрицы формирования и диагностирования уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций, заданы их покрытия, определены тестовые наборы для проверки уровня освоения каждого элемента.

3. Проведена проверка освоения заявленных элементов дисциплинарных компетенций (тестирование) студентов в течение учебного семестра; результаты занесены в индивидуальные матрицы диагностирования.

4. Выполнены необходимые расчеты с использованием разработанных метода анализа логических условий, алгоритма дешифрации результатов тестирования и программы имитационного моделирования; сделаны выводы об освоении/не освоении студентами заявленных элементов дисциплинарных компетенций; при выявлении недостаточного уровня освоения определены соответствующие фрагменты тематического плана дисциплины, предложены корректирующие и контролирующие мероприятия (тесты) для повторной проверки.

Предлагаемый подход к определению уровня освоения элементов дисциплинарных компетенций в рамках выбранных для апробации учебных дисциплин позволил:

1. Выполнить оценку уровня освоения компетенций через элементы их компонентной структуры, что ранее не проводилось из-за отсутствия соответствующих методик и инструментария.

2. Дать возможность получить более детализированную информацию, чем традиционный подход, основанный на усреднении результатов тестирования.

3. С помощью программной реализации алгоритма дешифрации оперативно определить темы и разделы дисциплин, недостаточно освоенные конкретным студентом, и выбрать перечень тестов для повторной сдачи. Это особенно важно при общем увеличении объемов и роли самостоятельной работы, особенно для очно-заочного обучения и магистратуры.

4. За счет частичной автоматизации процедуры контроля и оценивания студентам самостоятельно промоделировать возможные варианты сочетаний результатов тестирования, что вызвало их интерес к новым образовательным технологиям. Это явилось в каком-то смысле дополнительным стимулирующим фактором к изучению дисциплин, что увеличило количество студентов, успешно выполнивших в срок все тестовые задания, а также в целом улучшило итоговую успеваемость по ним.

В результате апробации были определены области применения метода:

1. Автоматизация процедур обработки информации, принятия решения и указания последующих корректирующих действий для студента и преподавателя, что особенно важно при увеличении размерности решаемой задачи (количества контролируемых элементов и тестов).

2. Использование для многоуровневых шкал оценивания.

3. Учет неравнозначности критериев (составляющих интегральной оценки).

4. Применение предлагаемого подхода для оценки уровня освоения компетенций и их составляющих вне дисциплинарного поля (в рамках разделов образовательной программы – практики, НИР, государственная итоговая аттестация).

5. Портация предлагаемого подхода на задачи определения уровня освоения компетенций в целом (по результатам освоения всей программы).

6. Решение задач оценки качества образовательного процесса с использованием других формальных аппаратов; проведение сравнительного анализа предлагаемых и традиционных подходов по ряду основных критериев.

6.2. Разработка, верификация и применение квалиметрического метода оценки уровня компетентности, построенного на основе математического аппарата нечеткой логики

6.2.1. Применение аппарата нечеткой логики для контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате

Для современной науки характерна диверсификация методов решения сложных задач в смежных областях науки, техники и технологии. Это позволяет найти нетривиальные решения актуальных задач, которые оказываются более эффективными, чем известные и апробированные подходы. Так, например, при решении ряда проблем в социальных и экономических системах находят применение такие «неклассические» для указанных отраслей научные направления, как теория информации, теория автоматического управления, техническая диагностика, теория вероятности, теория систем массового обслуживания, аппарат нечеткой логики, принципы нейронных сетей и т.д. Это позволяет адаптировать отработанные механизмы и алгоритмы к новым объектам и процессам, дать эффективные решения, особенно для многопараметрических и слабоформализуемых задач.

В настоящем разделе предложены подходы к решению задач контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате, с использованием математического аппарата и методов нечеткой логики [68]. Аппарат нечеткой логики был применен, в частности, для решения задач автоматического управления объектами, для которых отсутствует или сложно реализуемо математическое описание [157184]. Объекты управления и контроля в рамках системы образования попадают именно под такое описание из-за «человеческого фактора». Также имеется большое количество взаимосвязанных недетерминированных параметров, учесть которые корректной математической моделью невозможно.

Возникающие неопределенности, например, на этапе дешифрации результатов контроля, предлагается разрешать при помощи методов нечеткого вывода, с последующим преобразованием и приведением к четкому выводу [207]. Это позволит, в частности, получить необходимую информацию о результатах контроля, которую можно использовать для оценки, аттестации, определения недостаточно освоенных вопросов, формирования перечня корректирующих мероприятий и других действий по управлению и контролю качества обучения. Предлагаемые подходы и алгоритмы могут быть использованы в составе методического, информационного и алгоритмического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества обучения. Указанная система находится на этапе проектирования в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Основные понятия аппарата нечеткой логики применительно к предметной области контроля результатов обучения. Нечеткую логику эффективно применять в тех ситуациях, когда нет точного математического описания объекта управления и/или контроля, а также нет детерминированного описания исходных данных (используется интервальное задание области значений переменных). Указанная особенность применения полностью подходит для рассматриваемой предметной области, в которой объектом контроля является совокупность элементов дисциплинарных компетенций (ЭДК), а предметом контроля – уровень (степень) их освоения в соответствии с заданной шкалой оценивания.

Введем основные определения аппарата нечеткой логики применительно к рассматриваемой предметной области. Для этого выберем простейшую задачу контроля – один ЭДК (Э) проверяется индивидуальным (простым) тестом (Т).

Универсальное множество (универсум) в данном случае представляет собой совокупность возможных значений результатов тестирования (оценки за тест) $O(T)$, обозначаемую далее также через T (примем, что оценка нормализована в диапазоне $[0; 1]$). *Выходная лингвистическая переменная* определяет уровень освоения ЭДК, т.е. принадлежность результата к определенному уровню заданной шкалы оценивания (примем двухуровневую шкалу оценивания – по положению

результата тестирования относительно заданного порогового значения принятия решения $O_{\text{пор.}}$) с использованием *функции принадлежности*. Выходная лингвистическая переменная может быть выражена через терм-множество, состоящее, в частности, из двух термов: {«ЭДК не освоен» ($\bar{\Xi}$); «ЭДК освоен» (Ξ)}.

Функция принадлежности каждого терма может быть представлена линейной зависимостью (рисунок 6.2.1) (по результатам моделирования) и описана так:

$$\mu_{\bar{\Xi}}(T) = \frac{O_{\text{пор.}} - T}{O_{\text{пор.}}}, \mu_{\Xi}(T) = \frac{T - O_{\text{пор.}}}{1 - O_{\text{пор.}}}$$

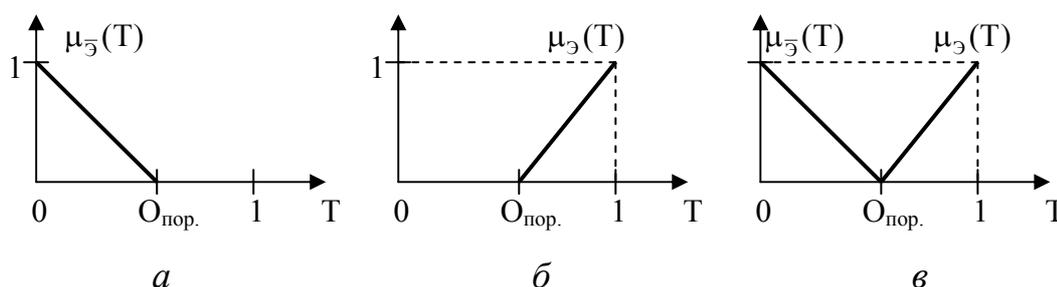


Рисунок 6.2.1 – Функции принадлежности термов:

a – терма «ЭДК не освоен»; *б* – терма «ЭДК освоен»; *в* – терм-множества

Характер функции принадлежности для терма «ЭДК не освоен» обусловлен принятой моделью снижения степени «неосвоения» ЭДК от 1 до 0. Характер функций принадлежности для терма «ЭДК освоен» обусловлен принятой моделью повышения степени «освоения» ЭДК от 0 до 1. Дадим комментарии по некоторым значениям результата тестирования и соответствующим им значениям функции принадлежности (таблица Таблица 6.2.1) для заданного $O_{\text{пор.}}$ (например, выберем $O_{\text{пор.}} = 0,6$). Можно интерпретировать $O_{\text{пор.}}$ следующим образом – менее 60 % ответов на тестовые задания правильные – ЭДК не освоен, 60 % и более ответов на тестовые задания правильные – ЭДК не освоен. Значение функции принадлежности в самой точке $O_{\text{пор.}} = 0,6$ может быть отнесено к любому из термов (для упрощения расчетов и без существенной потери общности результата будем рассчитывать точку $O_{\text{пор.}}$ в обоих термах).

Таблица 6.2.1 – Комментарии к значениям функции принадлежности

T	Комментарии к T	$\mu(T)$	Комментарии к $\mu(T)$
---	-----------------	----------	------------------------

Терм «ЭДК не освоен» ($\mu_{\bar{3}}(T) = \frac{0,6-T}{0,6}$)			
0 (min)	Все ответы не-правильные	1	Макс. степень принадлежности, самое уверенное принятие решения о неосвоении ЭДК
0,2	20 % ответов правильные	0,67	Большая степень принадлежности, более уверенное принятие решения о неосвоении ЭДК
0,4	40 % ответов правильные	0,33	Маленькая степень принадлежности, менее уверенное принятие решения о неосвоении ЭДК
0,6 ($O_{\text{пор.}}$)	60 % ответов правильные	0	Мин. степень принадлежности, самое неуверенное принятие решения о неосвоении ЭДК
Терм «ЭДК освоен» ($\mu_{\bar{3}}(T) = \frac{T-0,6}{1-0,6}$)			
0,6 ($O_{\text{пор.}}$)	60 % ответов правильные	0	Мин. степень принадлежности, самое неуверенное принятие решения об освоении ЭДК
0,7	70 % ответов правильные	0,25	Маленькая степень принадлежности, менее уверенное принятие решения об освоении ЭДК
0,9	90 % ответов правильные	0,75	Большая степень принадлежности, более уверенное принятие решения об освоении ЭДК
1 (max)	Все ответы правильные	1	Макс. степень принадлежности, самое уверенное принятие решения об освоении ЭДК

В модели простого теста неопределенности при локализации значения выходной переменной нет, так как нет области наложения функций принадлежности разных термов. Далее перейдем к моделям более сложных тестов, контролирующим несколько ЭДК.

Применение нечеткого вывода для дешифрации результатов сложного теста. Построим модель для сложного теста, контролирующего два ЭДК: \bar{E}_1 и \bar{E}_2 . *Универсальное множество* в данном случае представляет собой совокупность результатов тестирования в виде оценки $O(T)$, нормализованной в диапазоне $[0; 1]$ и

обозначаемую далее также через T . Выходной лингвистической переменной является информация об уровне освоения всех контролируемых ЭДК S , определяемая количеством неосвоенных ЭДК (нЭДК). Она может быть выражена через термножество, состоящее из трех термов: {«оба ЭДК не освоены» (S_2); «один из ЭДК не освоен» (S_1); «все ЭДК освоены» (S_0)}. Варианты значений выходной лингвистической переменной могут быть представлены в табличном виде через все варианты сочетаний значений уровня освоения каждого из контролируемых ЭДК (таблица 6.2.2). В таблице 6.2.2 приняты следующие условные обозначения: 0 – ЭДК не освоен, 1 – ЭДК освоен.

В общем случае из множества, содержащего h проверяемых тестом ЭДК, i элементов могут быть не освоены, а $(h - i)$ – освоены. Поэтому оценка за тест O при i неосвоенных ЭДК – $O(i)$, с учетом введенных ограничений и допущений, строится в соответствии с аддитивным интегро-дифференциальным критерием, при фиксированных значениях h и $O_{\text{пор}}$ была введена по (6.1.1).

Таблица 6.2.2 – Значения выходной лингвистической переменной

№	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	Состояние	нЭДК	S
1	0	0	$\overline{\mathcal{E}_1} \& \overline{\mathcal{E}_2}$	2	S_2
2	0	1	$\overline{\mathcal{E}_1} \& \mathcal{E}_2$	1	S_1
3	1	0	$\mathcal{E}_1 \& \overline{\mathcal{E}_2}$		
4	1	1	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2$	0	S_0

Можно сделать вывод, что граничные значения оценки при заданном количестве нЭДК (i) определяются общим числом равнозначных ЭДК h и пороговым значением принятия решения $O_{\text{пор}}$. Граничные оценки будут использованы для задания логических условий при дешифрации результатов проверки.

Функция принадлежности для каждого значения выходной переменной характеризует степень принадлежности, может быть представлена линейной зависимостью и описана следующим образом:

$$\mu_{S_2}(T) = \frac{O_{\text{пор.}} - T}{O_{\text{пор.}}}, T \in [0; O_{\text{пор.}}]; \mu_0(T) = \frac{T - O_{\text{пор.}}}{1 - O_{\text{пор.}}}, T \in [O_{\text{пор.}}; 1];$$

$$\mu_{S_1}(T) = \begin{cases} \frac{T - O_{\text{пор.}}/2}{O_{\text{пор.}}/2}, T \in [O_{\text{пор.}}/2; O_{\text{пор.}}) \\ \frac{(1 + O_{\text{пор.}})/2 - T}{(1 + O_{\text{пор.}})/2 - O_{\text{пор.}}}, T \in [O_{\text{пор.}}; (1 + O_{\text{пор.}})/2) \end{cases}$$

Представим функции принадлежности на графике (рисунок 6.2.2). Характеристики функций принадлежности подтверждаются моделированием всех возможных сочетаний значений уровней освоения каждого из контролируемых ЭДК.

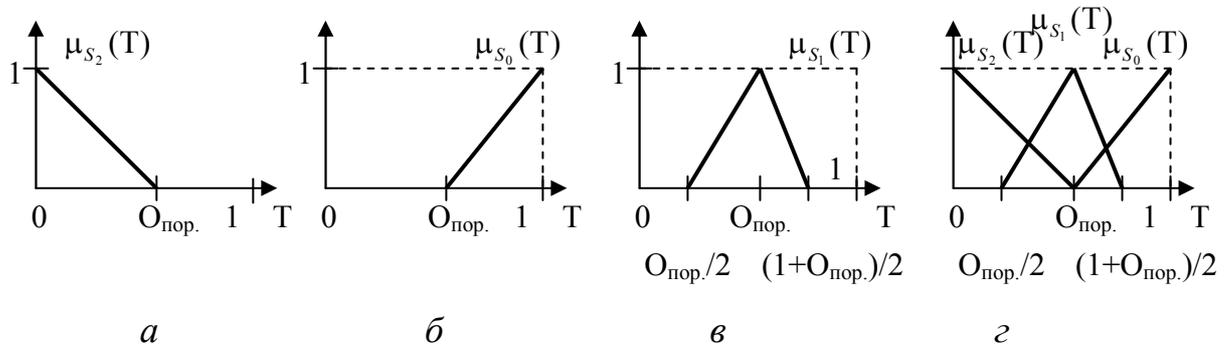


Рисунок 6.2.2 – Функции принадлежности:

a – терма S_2 ; *б* – терма S_0 ; *в* – терма S_1 ; *г* – терм-множества

Применение аппарата нечеткой логики позволяет сделать четкие выводы при решении задач дешифрации результатов реализации совокупности тестов, проверяющих уровень освоения набора элементов дисциплинарных компетенций. Также возможно избежать компенсации оценок на любом уровне иерархической модели результатов обучения (интегральный показатель подготовленности – компетенции – дисциплинарные компетенции – компоненты дисциплинарной компетенции – элементы компонентов дисциплинарной компетенции). Предложенные подходы эффективно алгоритмируются и могут быть использованы в составе информационного и программного обеспечения автоматизированной системы сопровождения учебного процесса.

6.2.2. Разработка метода дешифрации результатов диагностирования с использованием нечеткой логики

Для современной системы образования России актуальными и значимыми являются проблемы контроля и оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате. Однако задачи дешифрации результатов тестового диагностирования имеют неопределенность в принятии решения, возникающую из-за компенсации одних результатов другими в составе применяемого аддитивного интегро-дифференциального критерия оценки (АИДКО). Поэтому для обработки и дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих (компонентов и элементов) было предложено применение аппарата нечеткой логики. В данном разделе предлагается построенный с использованием аппарата нечеткой логики алгоритм дешифрации результатов проверки с использованием сложных тестов, контролирующих несколько ЭДК и приводится развернутый иллюстрирующий пример.

Наличие одного теста не дает возможности сделать четкий вывод (выполнить дефаззификацию) из-за вероятности возникновения компенсации высоких оценок низкими и наоборот. В практике применения нечеткой логики значение переменной дополняют, например, значением ее производной [157]. В нашем случае дополним использование одного теста другим, пересекающимся по одному из контролируемых элементов [176].

Дешифрация результатов реализации совокупности сложных тестов с применением аппарата нечеткой логики. Пусть тест T_1 контролирует элементы \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , а тест T_2 – элементы \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_3 (пересечение тестов по элементу \mathcal{E}_2). Для каждого из них проводится фаззификация и определяются функции принадлежности. Размерность каждого терм-множества равна максимальному количеству возможных значений неосвоенных ЭДК (нЭДК) – $(h_j + 1)$, где h_j – количество ЭДК, контролируемых тестом T_j . Поэтому общее количество продукционных правил, в каждом из которых по выполнению условий вида (IF ... THEN ...) принимается решение о значении выходной переменной [12], определяется как произведение размерностей всех терм-множеств: $(h_1 + 1) \cdot (h_2 + 1) = (2 + 1) \cdot (2 + 1) = 9$.

Выходная лингвистическая переменная принимает значения, определяемые числом сочетаний состояний («освоен»/«не освоен») для каждого из h контролируемых всей совокупностью тестов элементов, т.е. 2^h . Поскольку в нашем случае $h = 3$ ($\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$), то общее количество вариантов значений (состояний) выходной переменной определяется как $2^h = 2^3 = 8$ и может быть представлено в табличном виде (таблица 6.2.3). Значения выходной переменной S зададим в виде десятичного числа, соответствующего двоичному коду, характеризующему состояние освоения элементов (0 – ЭДК не освоен, 1 – ЭДК освоен).

Таблица 6.2.3 – Варианты и значения выходной лингвистической переменной

№	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	L	S
1	0	0	0	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	0
2	0	0	1	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \mathcal{E}_3$	1
3	0	1	0	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	2
4	0	1	1	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \mathcal{E}_3$	3
5	1	0	0	$\mathcal{E}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	4
6	1	0	1	$\mathcal{E}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \mathcal{E}_3$	5
7	1	1	0	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	6
8	1	1	1	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \mathcal{E}_3$	7

Таким образом, значения выходной переменной задаются термами с функциями принадлежности в виде синглетонов (только значения $\mu = 1$) (рисунок 6.2.3).

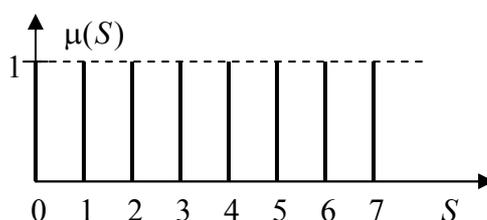


Рисунок 6.2.3 – Функции принадлежности выходной переменной

Запишем продукционные правила. Для этого предлагается ввести логическое описание (L) каждого элемента терм-множества через булевы функции:

– для T_1 : $L_2 = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2, L_1 = \bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 + \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2, L_0 = \Theta_1 \cdot \Theta_2,$

– для T_2 : $L_2 = \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3, L_1 = \bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3 + \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3, L_0 = \Theta_2 \cdot \Theta_3.$

Тогда значение выходной переменной S в каждом правиле будет определяться как логическое произведение выражений для соответствующих термов ($L = L_1 \cdot L_2$) из таблицы 6.2.3.

1. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3; S = 0$: если результаты обоих тестов принадлежит интервалу S_2 , то выходная переменная $S = 0$, что соответствует решению о том, что все контролируемые ЭДК не освоены.

2. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot (\bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3 + \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3) = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3; S = 1.$

3. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = \bar{\Theta}_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_3 = 0^*.$

4. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = (\bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 + \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2) \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 = \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3; S = 4.$

5. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = (\bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 + \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2) \cdot (\bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3 + \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3) =$
 $= \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3 + \bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3; S = 2 \text{ OR } 5^{**}.$

6. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = (\bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 + \Theta_1 \cdot \bar{\Theta}_2) \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_3 = \bar{\Theta}_1 \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_3; S = 3.$

7. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_2 \cdot \bar{\Theta}_3 = 0^*.$

8. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot (\bar{\Theta}_2 \cdot \Theta_3 + \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3) = \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot \bar{\Theta}_3; S = 6.$

9. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_3 = \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot \Theta_3; S = 7.$

Примечание. * – результат не может быть получен; правило не используется;

** – результат не может быть определен; правило записывается в обоих вариантах.

Совокупность всех правил удобно представить в виде *матрицы решений*. В ней столбцы соответствуют условиям одного параметра (T_1), а строки – условиям другого параметра (T_2). На пересечении столбцов и строк записываются выводы, соответствующие указанным условиям (таблица предлагается алгоритм решения задачи дешифрации результатов реализации совокупности тестов с использованием дефаззицикации (по методу Л. Заде [157])).

Таблица 6.2.4).

Далее предлагается алгоритм решения задачи дешифрации результатов реализации совокупности тестов с использованием дефаззификации (по методу Л. Заде [157]).

Таблица 6.2.4 – Матрица решений

		T_1		
		S_2	S_1	S_0
T_2	S_2	0	4	–
	S_1	1	2 or 5	6
	S_0	–	3	7

1. По заданным значениям результатов тестов определяются значения степеней принадлежности (значение функции принадлежности терма для заданного значения универсума, т.е. результата соответствующего теста) для всех термов.

2. Выбираются правила, содержащие условия с ненулевыми степенями принадлежности (термы, которым соответствуют ненулевые значения функций принадлежности для заданных конкретных результатов тестов).

3. На первом шаге логического вывода определяется степень принадлежности всего antecedента каждого правила (по функции минимума).

4. На втором шаге формирования нечеткого вывода определяется степень принадлежности терм выходной переменной (по функции максимума).

5. Для дефаззификации применяется метод центраида, который позволяет определить текущее значение выходной переменной для текущих значений лингвистических переменных. В результате определяется четкий результат, дающий информацию об уровне освоения каждого из контролируемых всей совокупностью тестов ЭДК.

Пример 1. Пусть тест T_1 контролирует элементы \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , а тест T_2 – элементы \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_3 (пересечение тестов по элементу \mathcal{E}_2). После реализации теста (тестирования студента) получены следующие результаты, которые будут использоваться в качестве исходных данных для расчета по предложенному алгоритму: $T_1 = 0,375$; $T_2 = 0,375$. Примем $O_{\text{пор.}} = 0,5$.

Функции принадлежности аналитически описываются следующими выражениями и графически (рисунок 6.2.4):

$$\mu_{S_2}(T) = \frac{0,5 - T}{0,5}; \mu_{S_1}(T) = \begin{cases} \frac{T - 0,25}{0,25} \\ \frac{0,75 - T}{0,25} \end{cases}; \mu_0(T) = \frac{T - 0,5}{0,5}.$$

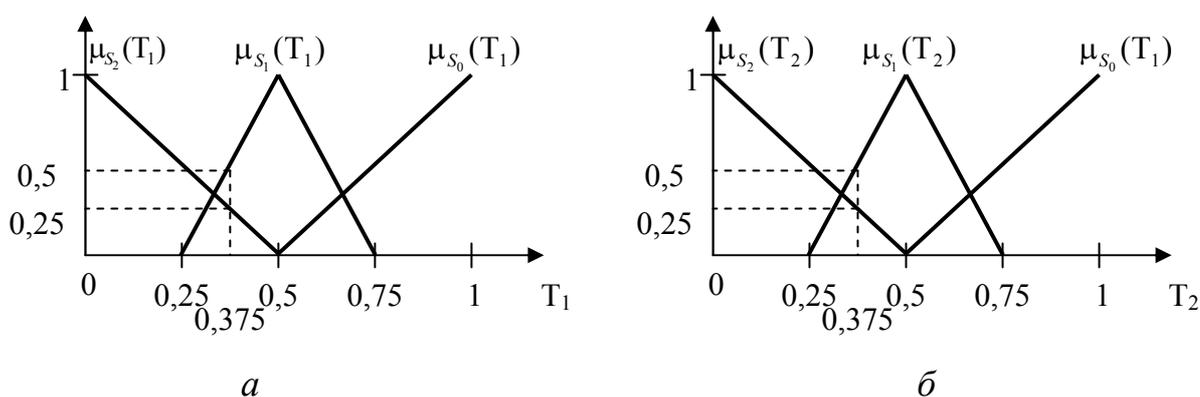


Рисунок 6.2.4 – Функции принадлежности для примера 1

1. Для заданных значений результатов тестов определим функции принадлежности:

$$\mu_{S_2}(T_1) = \frac{0,5 - 0,375}{0,5} = 0,25; \mu_{S_1}(T_1) = \frac{0,375 - 0,25}{0,25} = 0,5; \mu_{S_0}(T_1) = 0;$$

$$\mu_{S_2}(T_2) = \frac{0,5 - 0,375}{0,5} = 0,25; \mu_{S_1}(T_2) = \frac{0,375 - 0,25}{0,25} = 0,5; \mu_{S_0}(T_2) = 0.$$

2. Выберем сформулированные выше продукционные правила, которые имеют ненулевую степень принадлежности: 1, 2, 4, 5 (рисунок 6.2.4, а, б).

3. На первом шаге логического вывода необходимо определить степень принадлежности всего antecedента (логическое условие) каждого правила для $\mu_S(T)$, $S = 0, \dots, 7$ (таблица 6.2.3):

$$\text{Правило 1 : } \mu_0(T) = \min\{\mu_{S_2}(T_1); \mu_{S_2}(T_2)\} = \min\{0,25; 0,25\} = 0,25;$$

$$\text{Правило 2 : } \mu_1(T) = \min\{\mu_{S_2}(T_1); \mu_{S_1}(T_2)\} = \min\{0,25; 0,5\} = 0,25;$$

$$\text{Правило 4 : } \mu_4(T) = \min\{\mu_{S_1}(T_1); \mu_{S_2}(T_2)\} = \min\{0,5; 0,25\} = 0,25;$$

$$\text{Правило 5 : } \mu_5(T) = \min\{\mu_{S_1}(T_1); \mu_{S_1}(T_2)\} = \min\{0,5; 0,5\} = 0,5;$$

$$\mu_2(T) = \min\{\mu_{S_1}(T_1); \mu_{S_1}(T_2)\} = \min\{0,5; 0,5\} = 0,5.$$

4. Второй шаг формирования нечеткого вывода для определения степени принадлежности терм выходной переменной в настоящем примере выполнять не нужно, т.к. все выходные переменные участвуют в выводе по одному разу. При данном состоянии входных переменных степень принадлежности термина выходной переменной S имеют значения:

$$\{\mu_0; \mu_1; \mu_2; \mu_3; \mu_4; \mu_5; \mu_6; \mu_7\} = \{0,25; 0,25; 0,5; 0; 0,25; 0,5; 0; 0\}.$$

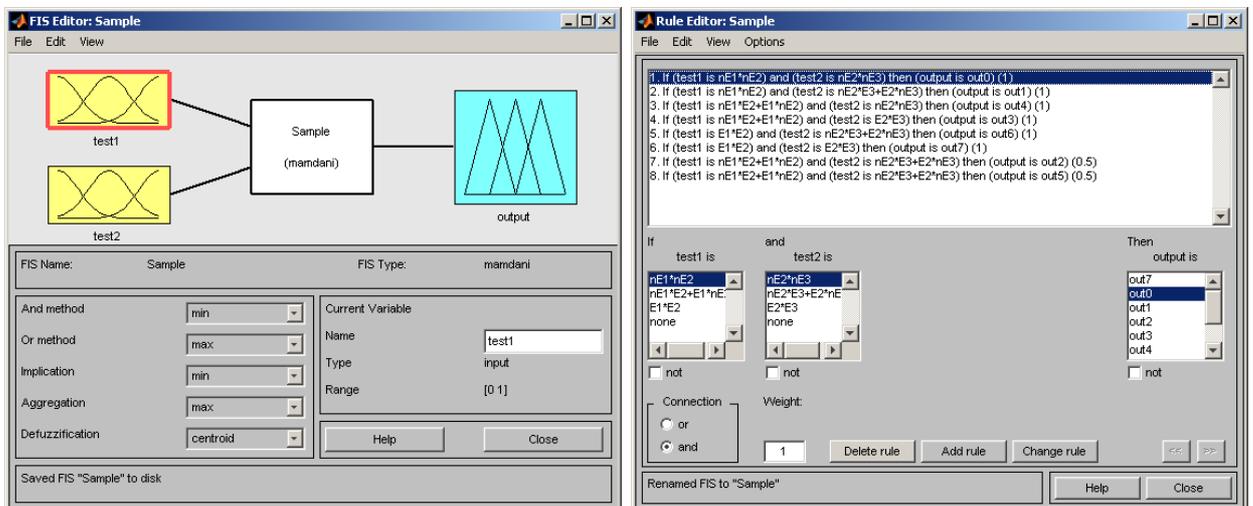
5. Для перехода от нечетких выводов к четким используем метод центрирования:

$$S = \frac{S_0 \cdot \mu_0 + S_1 \cdot \mu_1 + S_2 \cdot \mu_2 + S_3 \cdot \mu_3 + S_4 \cdot \mu_4 + S_5 \cdot \mu_5 + S_6 \cdot \mu_6 + S_7 \cdot \mu_7}{\mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 + \mu_7} =$$

$$= \frac{0 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0 + 7 \cdot 0}{0,25 + 0,25 + 0,5 + 0 + 0,25 + 0,5 + 0 + 0} = 2,7.$$

Поскольку выходное значение находится между значениями выходной переменной $S = 2$ и $S = 3$, а значения $S = 3$ нет в списке выходных переменных выбранных продукционных правил, то принимается решение о значении выходной переменной $S = 2$. Это соответствует состоянию $\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$ (таблица 6.2.3).

Применение аналитической модели весьма трудоемко даже для решения задач дешифрации небольшой размерности. Поэтому необходима автоматизация процедуры дешифрации и оценивания. Далее предлагается вариант реализации предлагаемых подходов и алгоритмов в среде моделирования MatLab, пакет Fuzzy Logic (рисунок 6.2.5).



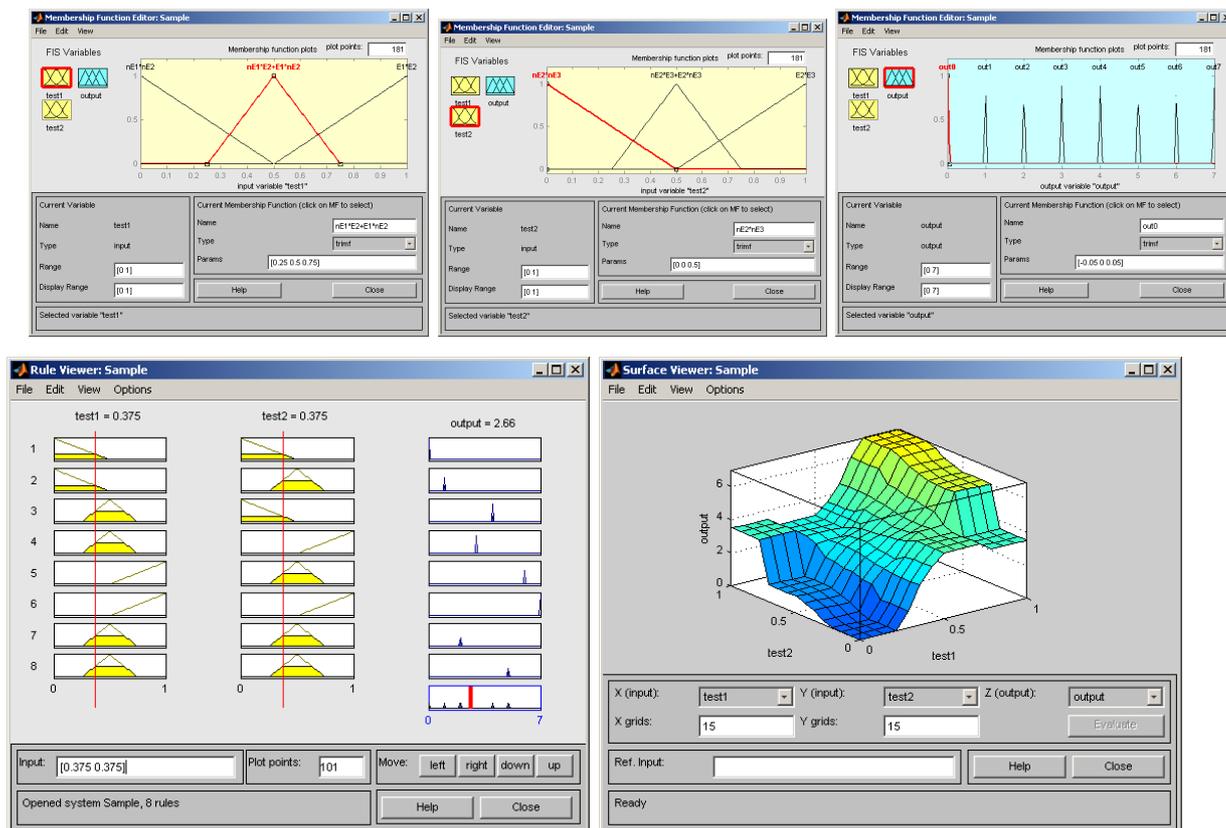


Рисунок 6.2.5 – Реализация модели в среде MatLab Fuzzy Logic

Результат эмуляции в выбранной среде моделирования для исходных данных из примера 1 практически совпадает с результатами аналитического моделирования (небольшие отличия из-за разных способов дефаззификации – Заде и Мамдани). Это позволяет сделать вывод о возможности использования предлагаемых алгоритмов при дешифрации и оценивании результатов тестового диагностирования.

6.3. Выводы по главе

В настоящей главе предложены и проанализированы квалиметрические методы оценки результативности программ подготовки специалистов, построенные на основе различных математических аппаратов.

1. Предложен подход к количественной оценке результатов реализации теста и его применение в рамках разработанного метода анализа логических условий, который позволяет выполнить дешифрацию результатов одного диагностического теста проверки уровня освоения ЭДК.

2. Разработан алгоритм дешифрации результатов реализации полной группы тестов, заданных в таблице диагностирования дисциплины, с использованием предложенного метода анализа логических условий, показан пример и анализ результатов реализации алгоритма дешифрации в рамках апробации на реальной учебной дисциплине.

3. Разработана программа и приведены результаты имитационного моделирования предлагаемого алгоритма реализации метода анализа логических условий в среде Visual Basic for Application (VBA), интегрированной в пакет Microsoft Excel, что позволило подтвердить применимость метода, алгоритма дешифрации и корректность выполненных оценок, а также провести автоматизацию процедур анализа результатов обучения и выработки корректирующих действий.

4. Предложено применение аппарата нечеткой логики для решения задач дешифрации результатов реализации совокупности тестов, проверяющих уровень освоения заданных в модуле (дисциплине, разделе) элементов дисциплинарных компетенций. Также показана возможность снизить эффект взаимной компенсации интегральных оценок на любом уровне иерархической модели результатов обучения (интегральный показатель подготовленности – компетенции – дисциплинарные компетенции – компоненты дисциплинарной компетенции – элементы компонентов дисциплинарной компетенции), что позволяет уменьшить риски ошибочного принятия решения.

5. Проведена верификация предложенного метода и алгоритма в программной среде MatLab Fuzzy Logic, которая подтвердила корректность применения предложенного алгоритма.

Предложенные подходы эффективно алгоритмизируются и используются в составе информационного и программного обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки, рассмотренной в главе 7.

Основные результаты приведены в работах [52, 53, 55, 64, 67, 68, 69, 74, 157, 167, 169, 170, 171, 175, 176, 178].

Глава 7. Информатизация и автоматизация интегрированной системы управления качеством с использованием разработанных моделей, методов и алгоритмов

Данная глава посвящена вопросам информатизации и автоматизации проектирования и внедрения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки в составе интегрированной системы управления качеством продукции. Вследствие масштаба решаемых задач проектирования, контроля, дешифрации и оценивания дифференциальных и интегральных качества и результативности для эффективной организации и реализации указанных процедур необходимо введение элементов информатизации и автоматизации. Системы автоматизации сопровождения учебного процесса в данной предметной области (например, «Галактика», «GosInsp», «1С») ориентированы, в основном, на проектирование основных документов образовательных программ (в частности, учебных планов) и не имеют возможность определения текущих и итоговых показателей результативности обучения, представленных в компетентностном формате. Поэтому задача разработки структуры и функциональности автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки в составе интегрированной системы управления качеством продукции, является актуальной.

Многие вузы РФ (например, Санкт-Петербургский политехнический университет, Томский государственный университет, Московский технический университет связи и информатики, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, Красноярский государственный университет и т.д.) обладают системой, в той или иной степени решающей сходные задачи, и их разработки являются предметом интеллектуальной собственности и коммерческим продуктом. Однако законченный инструментарий для решения задач автоматизации контроля результативности подготовки, представленной в компетентностном формате, с использованием фондов оценочных средств модулей, дисциплин и разделов программ, в указанных системах не реализован. Это доказывает важность и актуальность решаемых в рамках данной главы задач.

7.1. Проектирование и апробация информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки специалистов

7.1.1. Общая структура, требования и задачи проектируемой автоматизированной системы

Для повышения эффективности и качества реализации процесса подготовки необходимо разработать и внедрить автоматизированную систему управления и контроля качества подготовки (АСУККП). Она предназначена для сбора, хранения, обработки и представления информации о реализации программы и является частью автоматизированной системы управления (рисунок 7.1.1.). Субъекты системы – студенты, преподаватели, администрация, супервизоры. Объекты автоматизации – процедуры определения результативности на разных стадиях реализации процесса подготовки.

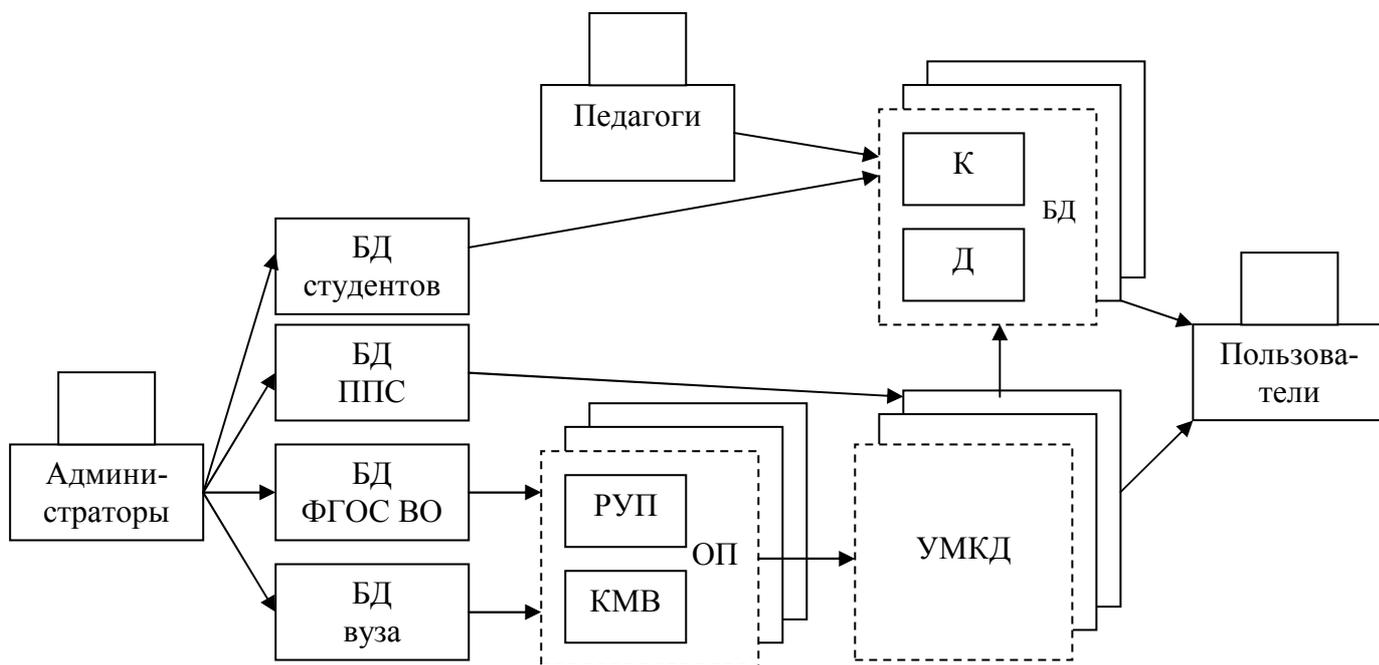


Рисунок 7.1.1 – Общая структура автоматизированной системы

УМКД включает учебно-методическую документацию (рабочую программу, методические указания по выполнению АРС и СРС). БД содержит результаты тестирования и имеет систему управления для обработки и представления информации нужного объема и формата.

Сформулированы и проанализированы основные требования к системе:

- функциональность – возможность решения задач по вводу, хранению, обработке и предоставлению информации в требуемом объеме и виде для пользователя в соответствии с его уровнем доступа и правами (более подробно рассмотрено далее как «Основные задачи системы»);
- расширяемость и масштабируемость – возможность развертывания системы как в масштабах подразделения (кафедры, отдела, службы), так и в масштабах вуза (предприятия, организации), с сохранением требований к функциональности, производительности, безопасности и т.д.);
- безопасность – выполнение требований по информационной безопасности, Закона о защите персональных данных; надежное шифрование; введение многоуровневой иерархической системы пользователей с соответствующими правами и т.п.;
- совместимость – возможность интеграции с информационной автоматизированной системой вуза, портируемость данных; соответствие форматов данных и т.п.;
- удобный интерфейс пользователя – возможность вводить и получать информацию в текстовом, табличном, графическом виде; доступ через Web-интерфейс; предоставление отчетов в популярных текстовых и графических форматах и т.п.

Фрагменты данной системы в разной форме и содержательности присутствуют в структуре вуза, но требуют объединения всех ресурсов в единую автоматизированную систему менеджмента качества. Проектируемая система даст возможность:

1. Студенту – определить необходимый объем дополнительной работы и форм контроля (в том числе самоконтроля) для достижения заданного результата.
2. Преподавателю – построить эффективный график своей работы с учетом системы ограничений ресурсов (временных, пространственных, технических, организационных и т.д.), а также проведения всех форм контроля и оценивания, хра-

нения результатов контроля и коррекции документированной информации по своим дисциплинам.

3. Учебно-методическим службам вуза – управлять и контролировать учебный процесс с возможностью получения интегральных и дифференциальных оценок успеваемости студентов, деятельности педагогов и использования ресурсов образовательного учреждения.

Основные задачи системы:

1. Ввод и хранение данных:

- по студентам, педагогам;
- по ресурсам (аудиторный фонд, нагрузка и т.д.);
- по учебному плану (перечень дисциплин, перечень компетенций, матрица соответствия);

- по каждой дисциплине (из рабочей программы дисциплины (РПД) – формулировки дисциплинарных компетенций и их компонентной структуры (ЗУВ), виды АРС и СРС, средства контроля, таблицы соответствия элементов ДК и способов формирования/средств контроля);

- по формированию ИДК оценки по всем уровням (автоматический расчет плюс возможность коррекции экспертами);

- по результатам проверки.

2. Расчет оценок:

- для текущей, промежуточной и рубежной аттестации (по дисциплине, по разделу, по компетенции и т.д.);

- для прогнозирования оценок;

- для определения оценки (оценок), которые нужно улучшить;

- для выбора корректирующих мероприятий;

- для государственной итоговой аттестации.

3. Предоставление сервисов:

- успеваемость (по студенту, группе, дисциплине, компетенции, ее составляющим и т.д.);

- анализ компетентностной модели выпускника;

- формирование и анализ индивидуальных образовательных траекторий студентов;
- контроль ресурсов системы.

В соответствии с ГОСТ 34.201-89 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем» реализуются следующие виды обеспечения, в которых указано применение разработанных в рамках диссертационного исследования моделей, методов и алгоритмов управления качеством подготовки:

- информационное – контролепригодное проектирование содержания и структуры дисциплины (частей компетенций) [72, 177]; алгоритмы обнаружения и поиска элементов дисциплинарных компетенций с недостаточным уровнем освоения [74, 157, 178] (глава 6);
- математическое – способы дешифрации результатов контроля (тестирования) [64, 56, 58]; определение дифференциальных и интегральных показателей качества подготовки (тест – ЭДК – ДК – К) (глава 3, 4).
- программное – фрагменты разработанных программ моделирования; рекомендации и алгоритмы конфигурирования и использования внешнего инструментария (например, MatLab Fuzzy Logic) [68, 157, 167, 176], программный инструментарий автоматизации проектирования основных документов образовательной программы [170, 174] (глава 5, 7);
- техническое – рекомендации по выбору аппаратной платформы системы и удаленному доступу к ресурсам системы [52, 169, 170];
- организационное – стандарты на проектирование и реализацию документов образовательной программы: (КМВ, РУП, УМКД, включая РПД и ФОС) [52, 86, 87, 103] (глава 1, 2).

Информационное, математическое и организационное обеспечение включает результаты диссертационной работы, которые используются в модуле БД, а именно в процедурах и алгоритмах сбора, хранения, обработки, преобразования и представления информации о результатах обучения в компетентностном формате.

Централизованное хранение собранной и обработанной автоматизированной системой информации позволяет сформировать интегрированные и дифференцированные показатели результативности освоения программы по каждому обучаемому. Для оценки результата освоения программы потенциальным работодателем, а также для самооценки студентом, например, при составлении резюме или анкетировании, необходимо сопровождать интегральные оценки совокупностью формирующих их дифференциальных оценок каждого уровня модели. Для этого разрабатывается методическое, информационное, алгоритмическое и программное обеспечение специализированной базы данных (БД). В ней должна храниться вся информация по результатам освоения элементов всех уровней, с возможностью доступа и фильтрации по заданному критерию.

По завершению теоретического обучения и государственной итоговой аттестации выпускнику наряду с обязательными документами – дипломом и приложением с перечнем оценок за дисциплины и разделы учебного плана, предлагается выдавать комплект *дополнительных документов*. Это может быть приложение с перечнем освоенных компетенций, включая формулировки и оценки уровня их освоения в принятой шкале (например, традиционной 4-хбальной или 100-бальной), а также *электронный диск* с базой данных результатов освоения выпускником элементов и компонентов компетенций. Наличие такой базы данных позволит решить многие актуальные и важные задачи, а именно:

- работодателю – получить детализированную информацию в интересующей его узкой предметной области;
- выпускнику – проанализировать уровень своей подготовки и наметить путь повышения квалификации;
- вузу (организации обучения) – получить статистическую информацию для формирования корректирующих воздействий на структуру и содержание учебного процесса для повышения его качества.

Предложенный подход к построению и реализации информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки специалистов находится на этапе проекти-

рования и апробации для направлений подготовки и специальностей, реализуемой в Пермском национальном исследовательском политехническом университете и в вузах-партнерах по совместно реализуемым образовательным программам.

Далее представлены разделы, в которых описана разработка и применение программного инструментария автоматизации проектирования основных документов образовательной программы, что позволяет упростить процесс подготовки документированной информации и ускорить процесс реализации новых программ.

7.1.2. Автоматизация разработки компетентностных моделей

Образовательная программа содержит большое количество нормативных и методических документов, регламентирующих все этапы реализации учебного процесса. Разработка ОП – сложная и ресурсоемкая задача, для повышения эффективности решения которой необходимо ввести элементы автоматизации [174].

Цель настоящего раздела – предложить вариант автоматизации основных этапов проектирования документов *компетентностной модели выпускника* (КМВ), которая в дальнейшем поможет разработчикам учебно-методических комплексов дисциплин (УМКД), в частности, рабочих программ дисциплин (РПД). Сразу отметим, что анализ ФГОС проводится по стандартам направлений, связанных с автоматизацией, инфокоммуникациями и информационной безопасностью, обладающих типовой структурой для большинства технических направлений и специальностей подготовки, реализуемых в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ).

Разработка методики расширения компетентностной модели и формирования паспортов компетенций. Для формирования паспортов компетенций необходимо расширить компетентностную модель выпускника относительно данных из ФГОС. Необходимость этого вызвана вводом вариативных дисциплин, а также профильно-специализированных компетенций, для которых нужно ввести части, элементы и компоненты формируемых ими компетенций. Ниже будет предложена методика формирования расширенной

компетентностной модели, которая позволит приступить к заполнению паспортов компетенций, а значит, и к разработке рабочих учебных программ дисциплин.

Все дальнейшие действия выполняются в предположении, что уже сформирован рабочий учебный план, т.е. выбраны дисциплины вариативной части, а также составлена матрица отношений между дисциплинами и компетенциями.

Выполнение рекомендаций приведенной методики возможно в произвольном виде, но удобнее в электронном виде в каком-либо редакторе электронных таблиц, например, Microsoft Excel либо Open Office Calc. Для автоматизации автором было разработано приложение на языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде Microsoft Excel. Однако все перечисленные ниже шаги алгоритма могут быть выполнены вручную либо без использования специализированных программных средств.

Можно представить компетентностную модель в виде перечня компетенций, тогда дальнейшая разработка представляется в следующем виде. Сначала у каждой компетенции формулируются *части компетенции (дисциплинарные компетенции)* – по количеству учебных дисциплин и разделов, участвующих в ее формировании.

Затем каждая дисциплинарная компетенция разделяется на *элементы* (например, по количеству модулей в составе дисциплины). Это делается для более точного закрепления результатов освоения компетенции за конкретными видами занятий. Однако разработчики ОП могут и не прибегать к указанному разделению части на элементы, если в этом нет необходимости.

После этого этапа по каждой дисциплинарной компетенции (или ее элементу) компетенции формулируются *компоненты* (знания, умения, владения – ЗУВ). Некоторое количество ЗУВ приведено в ФГОС в описании базовой части учебных циклов и разделов, но оно должно быть разделено между частями (элементами частей) компетенции и поэтому может быть дополнено и расширено разработчиками ОП и РПД. Главное, чтобы после окончания формирования компетентностной модели выпускника в результате обратной свертки можно было выявить пе-

речень ЗУВ, дисциплин и компетенций, фиксированных в ФГОС по базовым частям учебных циклов или разделов.

Ниже представлен формализованный алгоритм формирования компетентностной модели выпускника.

1. Сформировать таблицу, аналогичную Таблице 2 ФГОС «Структура ОП подготовки ...» (... обозначает вид обучения – бакалавриат, специалитет или магистратура).

1.1. Перенести фрагмент ФГОС (Таблица 2 «Структура ООП», рисунок 7.1.2).

Профессиональный цикл				
Базовая часть				
Знания, умения, владения			Дисциплины	
4	знать		Вычислительная техника и информационные технологии	ОК-7
5	БЗ.Б.3.1	основы цифровой вычислительной техники, структуры и функционирования локальных вычислительных сетей и глобальной сети Интернет,	Общая теория связи	ОК-11
6	БЗ.Б.3.2	основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах,	Цифровая обработка сигналов	ПК-1
7	БЗ.Б.3.3	основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах,	Основы построения инфокоммуникационных и информационно-управляющих систем и сетей	ПК-2
8	БЗ.Б.3.4	особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем,	Электромагнитные поля и волны	ПК-3
9	БЗ.Б.3.5	принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов;	Электроника	ПК-4
10	БЗ.Б.3.6	принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи,	Теория электрических цепей	ПК-5
11	БЗ.Б.3.7	современные и перспективные направления развития телекоммуникационных сетей и систем,	Схемотехника	ПК-6
12	БЗ.Б.3.8	особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромагнитной энергии и объёмных резонаторах,	Электропитание устройств и систем	ПК-7

Рисунок 7.1.2 – Таблица с данными из ФГОС ВПО

1.2. Слева сформировать столбец **ЗУВ**, разместив каждый компонент из столбца «Учебные циклы (разделы) и проектируемые результаты их освоения» (знания, умения, владения) в отдельной ячейке (строке). Компоненты в соответствующей ячейке ФГОС отделены знаком «;» (или в некоторых случаях «,»). Каждую ячейку в соответствующем столбце снабдить уникальным идентификатором типа **Ц.Ч.К.Н**, где **Ц** – идентификатор цикла (Б1-Б6 – для бакалавров, М1-М4 – для магистров, С1-С6 – для специалистов); **Ч** – часть цикла (Б – базовая, В – вариативная); **К** – компонент (З – знания, У – умения, В – владения); **Н** – порядковый номер в составе текущего компонента.

1.3. Сформировать столбец дисциплин, перенеся его из столбца «Перечень дисциплин для разработки примерных программ, а также учебников и учебных пособий» ФГОС. Каждую ячейку в соответствующем столбце снабдить уникальным идентификатором дисциплины или раздела, взятым из учебного плана.

1.4. Сформировать столбец компетенций, перенеся его из столбца «Коды формируемых компетенций».

1.5. Из учебного плана заполнить столбец дисциплин вариативной части, снабдив их соответствующими идентификаторами.

1.6. Ориентируясь на названия и содержание дисциплин, сформировать ЗУВ для вариативной части.

1.7. Дополнить столбец компетенций теми, которые не были упомянуты, ориентируясь на информацию из столбца «Перечень реализуемых компетенций» учебного плана по каждой из дисциплин (каждая из компетенций должна фигурировать в списке только один раз).

2. Заполнить таблицу соотношений компонентов компетенций (знаний, умений, владений) и дисциплин. В нем указать соответствие элементов ЗУВ и соответствующих дисциплин. При этом стараться придерживаться следующей логики: один компонент ЗУВ – одна дисциплина (рисунок 7.1.3).

		Базовая часть							
1	2	Вычислительная техника и информационные технологии	Общая теория связи	Цифровая обработка сигналов	Основы построения инфокоммуникационных и информационно-управляющих систем и сетей	Электромагнитные поля и волны	Электроника	Теория электрических цепей	Схемотехника
3	Знания, умения, владения								
4	Знания, умения, владения								
5	Б3.Б.3 знать								
6	Б3.Б.3.1 основы цифровой вычислительной техники, структуры и функционирование локальных вычислительных сетей и глобальной сети Интернет	+							
7	Б3.Б.3.2 основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах		+						
8	Б3.Б.3.3 основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах		+						
9	Б3.Б.3.4 особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем		+						
10	Б3.Б.3.5 принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов			+					
11	Б3.Б.3.6 принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи				+				
12	Б3.Б.3.7 современные и перспективные направления развития телекоммуникационных сетей и систем				+				

Рисунок 7.1.3 – Таблица соответствия ЗУВ и дисциплин

После формирования данной таблицы разработчики рабочих программ дисциплин совместно с разработчиками ОП формулируют и редактируют наименования дисциплинарных компетенций (а в случае необходимости и их элементов). Наименования дисциплинарных компетенций должны формулироваться, чтобы в результате свертки (семантической или логической) можно было из них получить формулировку самой компетенции (рисунок 7.1.6).

Разработчик рабочей программы дисциплины сам сформулирует название дисциплинарной компетенции (*части компетенции*, а в случае необходимости разобьет ее на *элементы части компетенции*), а также наименование части ЗУВ, формируемой конкретной дисциплинарной компетенцией.

2			ПК-1					ПК-2		
3										
4		<i>Знания, умения, владения</i>								
5	<i>Б3.Б.3</i>	<i>знать</i>								
6	<i>Б3.Б.3.1</i>	<i>основы цифровой вычислительной техники, структуры и функционирования локальных вычислительных сетей и глобальной сети Интернет</i>								
7		Вычислительная техника и информационные технологии (ПК-2.1)							+	
8		Вычислительная техника и информационные технологии (ПК-1.1)	+							+++
9	<i>Б3.Б.3.2</i>	<i>основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах</i>								
10		Общая теория связи (ПК-18.1)								
11		Общая теория связи (ПК-17.1)								
12		Общая теория связи (ПК-16.1)								
13		Общая теория связи (ПК-2.2)								+++
14		Общая теория связи (ПК-1.2)							+++	
15	<i>Б3.Б.3.3</i>	<i>основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах</i>								
16		Общая теория связи (ПК-18.1)								
17		Общая теория связи (ПК-17.1)								
18		Общая теория связи (ПК-16.1)								
19		Общая теория связи (ПК-2.2)								+++
20		Общая теория связи (ПК-1.2)							+++	

Рисунок 7.1.5 – Фрагмент таблицы соответствия ЗУВ и частей компетенций

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	Цифровая обработка сигналов																			
2	ПК-2: иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях; способен к компьютерному моделированию устройств, систем и процессов с использованием																			
3	П.Б.3.5 принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов																			
4	П.Б.У.1 проводить анализ и синтез логических устройств, синтезировать с использованием современной микроселектронной элементной базы цифровые устройства, обеспечивающие заданное фун																			
5	П.Б.В.1 начальными навыками разработки и отладки с использованием соответствующих отладочных средств программного обеспечения сигнальных процессоров и микроконтроллеров																			
6	ПК-16: готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования																			
7	П.Б.3.5 принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов																			
8	П.Б.У.1 проводить анализ и синтез логических устройств, синтезировать с использованием современной микроселектронной элементной базы цифровые устройства, обеспечивающие заданное фун																			
9	П.Б.В.1 начальными навыками разработки и отладки с использованием соответствующих отладочных средств программного обеспечения сигнальных процессоров и микроконтроллеров																			

Рисунок 7.1.6 – Фрагмент таблицы с указанием частей компетенций и ЗУВ для дисциплины (заготовка для рабочей программы дисциплины)

5. Выполнить проверку покрытия:

- всех ЗУВ базовой части дисциплинами из базовой части,
- всех ЗУВ базовой части компетенциями из базовой части,
- всех ЗУВ вариативной части дисциплинами из базовой и вариативной частей,
- всех ЗУВ вариативной части компетенциями из базовой и вариативной частей,

При необходимости внести коррекцию в матрицы и провести новое заполнение таблицы соответствия ЗУВ и частей компетенций.

6. Сформировать **фрагменты паспортов компетенций**, в которых для каждой компетенции указываются дисциплины, а по каждой дисциплине – ЗУВ (рисунок 7.1.7).

A1	A	B	ПК-17: способностью применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики, организовывать и проводить их испытания с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов
1	ПК-17: способностью		
2	Общая теория связи		
3	П.Б.3.2	основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах	
4	П.Б.3.3	основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах	
5	П.Б.3.4	особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем	
6	П.Б.У.3	проводить математический анализ физических процессов в аналоговых и цифровых устройствах формирования, преобразования и обработки сигналов, оценивать реальные и предельные возм	
7	П.Б.В.2	навыками практической работы с лабораторными макетами аналоговых и цифровых устройств, методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации	
8	Теория электрических цепей		
9	П.Б.3.12	основы теории, методы и средства теоретического и экспериментального исследования линейных и нелинейных электрических и радиотехнических цепей при гармонических и негармонически	
10	П.Б.3.13	основы теории четырехполюсников и цепей с распределенными параметрами, устойчивости электрических цепей с обратной связью, электрических аналоговых, дискретных и цифровых фильт	
11	П.Б.У.7	проводить самостоятельный анализ физических процессов, происходящих в электронных телекоммуникационных устройствах, проектировать и рассчитывать их	
12	П.Б.В.4	навыками экспериментального определения статических характеристик и параметров различных электронных приборов и их компьютерного исследования по электрическим моделям	
13	П.Б.В.5	навыками экспериментального исследования электрических цепей в рамках физического и математического моделирования	
14	Системы коммутации в инфокоммуникационных системах		

Рисунок 7.1.7 – Фрагмент таблицы с указанием ЗУВ и дисциплин конкретной компетенции (заготовка для паспорта компетенции)

В данном разделе проиллюстрирован подход к решению задач автоматизации основных этапов разработки компетентностной модели выпускника в рамках разработки новых основных образовательных программ в соответствии с Федеральными образовательными стандартами третьего поколения. Данный подход находится в процессе реализации и апробации при разработке компетентностных моделей выпускников по направлениям и специальностям подготовки, заявленным на кафедре «Автоматика и телемеханика» ПНИПУ.

7.1.3. Автоматизация проектирования учебных планов

Важным этапом в проектировании образовательной программы является разработка учебного плана (базового (БУП) – для направления подготовки или специальности, рабочего (РУП) – для профилей, специализаций и магистерских программ). При этом ФГОС ВПО (ВО) задают совокупность требований, которые сильно усложняют алгоритм проектирования, сводя задачу к переборной. Поэтому важно проанализировать исходные данные, а также разработать рекомендации для направленного перебора вариантов, чтобы упростить задачу проектирования. Очевидно, что для этого необходимо внедрять элементы автоматизации.

Для разработки учебных планов вузы обязаны применять программный комплекс GosInsp, который унифицирует формат документов и обеспечивает проверку

в рамках аккредитации образовательных программ в Рособннадзоре РФ. Однако на начальном этапе использование указанного программного продукта затруднительно, поскольку он не дает возможность быстрого и удобного перебора вариантов для выполнения заданных макропоказателей учебного плана. Поэтому автором была разработана программа в среде Microsoft Excel, которая позволяет в удобном для пользователя интерфейсе задать и проанализировать варианты построения учебного плана, чтобы затем полностью реализовать его в пакете GosInsp.

Укажем, что в утвержденных и опубликованных ФГОС ВО основным отличием от ФГОС ВПО (для проектирования учебного плана) является объединение циклов дисциплин (ГСЭ, МиЕН, П) в блок 1, а также существенное уменьшение прописанных в стандарте обязательных дисциплин в базовой части (полагая, что остальные дисциплины в базовую часть добавит вуз). Это замечание не оказывает существенное влияние на предложенный алгоритм проектирования, который был разработан для ФГОС ВПО. К тому же по многим направлениям подготовки и специальностям ФГОС ВО не разработаны, что делает предлагаемый алгоритм и разработанный программный инструментальный актуальным и востребованным.

Предлагается следующий алгоритм проектирования:

1. Анализ требований (трудоемкость – общая и по циклам (блокам) дисциплин, объем базовой части, доля дисциплин по выбору, ограничения по семестру, объем аудиторной работы в неделю и т.п. и т.п.) – из ФГОС ВПО (и ВО).

2. Унификация дисциплин (как правило, базовой части) с другими направлениями подготовки и специальностями (например: по вузу – Философия, История, Иностранный язык и пр.; по факультету – Электроника, Метрология, Вычислительная техника и информационные технологии и пр.; по кафедре – Основы построения сетей передачи данных, Программирование и основы алгоритмизации, Специальные главы математики, физики, Информационная безопасность и т.п.) – пример приведен на рисунке 7.1.8.

Microsoft Excel - Стандарт АТ.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

R23C6

		Информационные технологии и системы связи	Управление в технических системах	Информационная безопасность	Информационная безопасность автоматизированных систем
Наименование/кредиты		Направление (специальность)			
		210700.62	220400.62	090900.62	090303.65
71	Цикл П	112	109	117	148
72	Базовая часть	55	59	61	106
73	Инженерная и компьютерная графика	3	3	3	3
74	Безопасность жизнедеятельности	3	3	3	3
75	Основы информационной безопасности	55-61	52-62	52-61	102-108
76	Криптографические методы защиты информации			6	6
77	Организационное и правовое обеспечение информационной			8	8
78	Техническая защита информации			4	4
79	Техническая защита информации 2 (Технические средства охраны)			4	4
80	Управление информационной безопасностью			4	4
81	Вычислительная техника и информационные технологии	4	4	4	4
82	Метрология, стандартизация и сертификация	4	4	4	4
83	Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей	5	5	5	5
84	Электроника и схемотехника	11	11	11	11
85	- Электроника	*	*	*	*
86	- Схемотехника	*	*	*	*
87	- Электропитание устройств и систем	*	*	*	*
88	Программно-аппаратные средства обеспечения защиты информации			3	3
89	Программно-аппаратные средства обеспечения информационной				3
90	Языки программирования			2	2
91	Технологии и методы программирования			3	3
92	Программирование и основы алгоритмизации				3
93					
94	Теория электрических цепей	8	8		
95	Электромагнитные поля и волны	4			
96					
97	Дисциплины 210700.62				
98	Общая теория связи	9			
99	Цифровая обработка сигналов	4			
100					
101	Дисциплины 220400.62				
102	Теоретическая механика		4		
103	Теория автоматического управления		6		
104	Технические средства автоматизации и управления		4		
105	Моделирование систем управления		3		
106	Программирование и основы алгоритмизации в инфокоммуникационных и информационно-управляющих системах		4		
107					
108	Дисциплины 090900.62				

Рисунок 7.1.8 – Рабочие планы направлений подготовки, реализуемых на кафедре 3. Составляется график учебного процесса (рисунок 7.1.9).

ГРАФИК УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА
 Направление подготовки: 210700.62 - «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».
 Профиль: «Сети связи и системы коммутации».

Форма обучения очная. Срок обучения 4 года.

Семестр	Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь		Июль		Август	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1																								
2																								
3																								
4																								

Обозначения:
 - теор. обуч., - экз. сессия, - практика, - каникулы, - выполнение ВКР,
 - гос. экзамены, - защита ВКР.

Курс	Теоретические занятия	Экспериментальные занятия	Учебная практика	Производственная/профессиональная	ИГА	Каникулы	Всего
1	36	6	2			8	52
2	36	7				9	52
3	34	6		4		8	52
4	30	3		2	8	9	52
Итого:	136	22	2	6	8	34	208

Практика				Государственная итоговая аттестация	
Каф.	Название практики	Семестр	Продолжительность, недели	Выпускная квалификационная работа	Государственный экзамен
АТ	Учебная	2	2		Междисциплинарный экзамен по направлению подготовки
АТ	Производственная	6	4		
АТ	Преддипломная	8	2		

Рисунок 7.1.9 – Календарный график учебного процесса

4. Заполнение дисциплинами (рисунок 7.1.10) проводится с учетом логики построения образовательной программы, требований унификации, а также огра-

ничений и требований (например, в семестре 60 з.е., экзаменов не более 4, курсовых проектов (работ) не более 1 в семестр и т.п.). При необходимости производится коррекция исходной таблицы (рисунок 7.1.8), с последующей проверкой выполнения требований исходных данных.

Кафедра	Индекс	Наименование циклов, разделов, дисциплин и практик	Распределение по семестрам				Распределение по семестрам			
			экзамен	зачет	КР	КР	1 курс		2 курс	
							9 сем. 18 нед.	10 сем. 16 нед.	11 сем. 18 нед.	12 сем. 10 нед.
M1. Общенаучный цикл			2	7	2	30	20	4	6	
Базовая часть			1	2	1	9				
ФилП	M1.1	Философские и психологические проблемы творчества	9			3	3			
ПВНО	M1.2	Психология и педагогика (высшей школы)		9		2	2			
АТ	M1.3	Методы моделирования и оптимизации		9	9	4	4			
Вариативная часть						21				
Б1.Д в Дисциплины, устанавливаемые вузом (факультетом)			1	3	1	13				
ИЯ/иМК	M1.4	Иностранный язык	9			3	3			
АТ	M1.5	Компьютерные технологии в инфокоммуникационных и информационно-управляющих системах		9	9	4	4			
АТ	M1.6	Распределенные системы хранения информации		В		3		3		
АТ	M1.7	Система качества производства		В		3		3		
Б1.Д в Дисциплины по выбору студента				2		8				
АТ	ДВ1.1	Дисциплина 1		9		4	4			
АТ	ДВ1.2	Дисциплина 2		А		4		4		
M2. Профессиональный цикл			2	6	1	1	30	9	11	10
Базовая часть			1	1		8				
АТ	M2.1	Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем	А			5		5		
АТ	M2.2	Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем		В		3			3	
Вариативная часть						22				
Б2.Д в Дисциплины, устанавливаемые вузом (факультетом)			1	3	1	1	14			
АТ	M2.3	Методология проектирования и планирования инфокоммуникационных сетей		В	В	4			4	
АТ	M2.4	Современные технологии беспроводной связи		С		4			4	
АТ	M2.5	Общие принципы технической эксплуатации инфокоммуникационных сетей		С		3			3	
АТ	M2.6	Современные принципы и технологии управления инфокоммуникационными сетями		С	С	3			3	
Б2.Д в Дисциплины по выбору студента				2		8				
АТ	ДВ2.1	Дисциплина 1		А		4		4		
АТ	ДВ2.2	Дисциплина 2		В		4			4	
Итого по циклам M1, M2:			4	13	1	3	60			
M3. Практики и НИР						57				
АТ	M3.1	Научно-исследовательская работа в семестре		9 А В С		30	9	9	9	3
АТ	M3.2	Производственная практика		А		9		9		
АТ	M3.3	Научно-исследовательская практика		С		18			18	
M4. Итоговая государственная аттестация						3				
АТ	M4.1	Междисциплинарный государственный экзамен и защита выпускной квалификационной работы		С		3			3	
Итого з.е. специализированной подготовки бакалавра:			120			29	31	26	34	
Распределение з.е. по учебным годам:			120			60			60	
Экзаменов:			4			2	1	1		
Зачетов:						17	6	2	5	4
в том числе:										
курсовых проектов:						1			1	
курсовых работ:						3	2		1	
Дисциплины и частей дисциплин по семестрам:			24	7	5	6	6	6	6	
Распределение з.е. по дисциплинам, закрепленные за кафедрой АТ:			112	21	31	26	34			

Рисунок 7.1.10 – Учебный план

5. Проверка часов аудиторной нагрузки (рисунок 7.1.11) проводится с целью соответствия требованиям ФГОС ВПО (ВО), например, для бакалавров – 27 часов, для магистров – 14 часов и т.п. Поскольку значение зачетной единицы связано с часами аудиторной нагрузки (1 з.е. – от 32 (34) до 38 часов, рекомендуемое значение – 36 часов), то может потребоваться коррекция (изменения трудоемкости дисциплин), перенос между семестрами, изменение вида аттестации (например, дифференцированный зачет вместо экзамена и наоборот) и т.д. Это потребу-

ет пересмотра ранее заполненных и сбалансированных таблиц (рисунок 7.1.8 и рисунок 7.1.10)

Семестр	Nнед	Nчфк,ч	Nфк,зет	Nпр,зет	Nига,зет	Nэ	N≤	Nсем≤
1	18	4				4	25,0	29,0
2	18	4	1	3		3	25,0	32,0
3	18	4				4	25,0	29,0
4	18	4	1			4	25,0	30,0
5	18	3				4	25,5	29,5
6	16	4		6		4	22,2	32,2
7	18					4	27,0	31,0
8	12			3	12		18,0	33,0
	406	2	12	12				

Рисунок 7.1.11 – Распределение и проверка аудиторной нагрузки

6. Проверка выполнения макропоказателей учебного плана и, при необходимости, коррекция и повторная проверка по всем вышеуказанным этапам алгоритма. Разработанный программный инструментарий позволяет автоматически выполнить все необходимые проверки и «подсказать» пользователю (например, выделение цветом) параметр, который нужно скорректировать.

7. Проектирование учебного плана в программном комплексе GosInsp. В нем выполняется распределение учебной работы по аудиторной и самостоятельной, заполнение перечня компетенций для каждой дисциплины. После окончательной проверки возможно выявление несоответствия по какому-либо показателю, что приводит к возврату на предшествующие этапы

Применение разработанного программного инструментария позволило автоматизировать проектирование учебных планов, что позволило значительно уменьшить трудоемкость и повысить их качество проектирования.

7.2. Проектирование и внедрение стандартов системы менеджмента качества университета

Для информационного и методического обеспечения учебного процесса проведена разработка методик проектирования фондов оценочных средств по дисциплинам и разделам образовательной программы, на основе которых по-

строены стандарты университета в рамках системы менеджмента качества. В данной работе приводится пример структуры и содержания стандарта на проектирование фонда оценочных средств государственного экзамена по направлению подготовки (специальности). Остальные разработанные стандарты имеют сходную структуру и отличаются спецификой содержательной части.

Приводится структура и содержание разработанного и внедренного в учебный процесс самостоятельно установленного образовательного стандарта (СУОС) по направлению подготовки 11.04.02 (210700.68) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Апробация предложенных в работе моделей, методов и алгоритмов управления качеством подготовки специалистов была проведена в рамках проектирования и реализации сетевых образовательных программ совместно с несколькими университетами РФ. Приводится описание проведенной разработки, которая планируется в качестве основы для разработки стандартов вуза по проектированию сетевых образовательных программ.

7.2.1. Разработка стандарта на построение ФОС государственного экзамена

Стандарт на проектирование фонда оценочных средств государственного экзамена государственного экзамена по направлению подготовки (специальности) разработан в рамках группы стандартов университета, система образовательных стандартов СТУ СОС 02.09-20XX [106]. Стандарт включает следующие разделы (дадим расширенное описание наиболее значимых).

1. Область применения.
2. Нормативные требования.
3. Определение и сокращения.
4. Ответственность.
5. Общие положения – определение государственного экзамена как вида государственной итоговой аттестации; объекты контроля; результаты контроля; материалы контроля; объектами оценивания; предметы оценивания; индикаторы освоения компетенций; состав Фонда оценочных средств ГЭ (ФОС ГЭ), цель и результаты его использования.

6. Состав ФОС ГЭ – контрольно-оценочные средства и методические материалы.

7. Требования к контрольно-оценочным средствам (индивидуальным заданиям; агрегированной компетентностной модели выпускника (АКМВ); спецификации контролируемых компетенций; критериям степени соответствия достигнутых выпускниками уровней освоения контролируемых компетенций требованиям ФГОС ВПО, шкалам оценивания) и методическим материалам ФОС ГЭ (Программе ГЭ; методическим материалам по подготовке ФОС ГЭ; методическим материалам по процедуре проведения ГЭ).

8. Методика разработки ФОС ГЭ (предварительный этап – определение множества контролируемых компетенций; разработка агрегированной компетентностной модели выпускника; определение отношений базовой КМВ и АКМВ; формирование требований к результатам освоения ОП; разработка спецификаций контролируемых компетенций; основной этап – формирование содержания индивидуального задания; разработка шкалы оценивания; разработка оценочного листа).

9. Список литературы.

10. Приложения (макет программы ГЭ; макет перечня вопросов; макет перечня задач; макет агрегированной компетентностной модели выпускника; макет общей спецификации агрегированных компетенций; макет индивидуального задания; макет оценочного листа; макет процедуры государственного экзамена).

Структура и содержание стандарта университета обсуждалась на заседании Учебно-методического совета ПНИПУ и представлена к утверждению.

Результаты диссертационной работы нашли применение в разделах стандарта, которые касаются методик построения ФОС (глава 3, 4).

7.2.2. Проектирование самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта университета по направлению подготовки 11.04.02

«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Цель и задачи проекта. Разработка самостоятельно устанавливаемого стандарта ПНИПУ по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные техноло-

гии и системы связи» (квалификация (степень) «магистр-инженер») была выполнена в рамках вузовского гранта и мела цель обеспечить развитие системы новых механизмов подготовки высокопрофессиональных кадров для создания и реализации инноваций в области планирования, проектирования, внедрения и эксплуатации систем связи как важного элемента городской среды [159, 103, 146].

Задачи проекта (формируются в формате направленности образовательного стандарта):

- определение области применения, характеристик направления подготовки, области, объекта и видов профессиональной деятельности, предусмотренных программой подготовки магистров с инновационной направленностью (далее – магистров-инженеров) в сфере применения инфокоммуникационных технологий и систем связи в городе;

- разработка требований к результатам освоения ОП подготовки магистров-инженеров в форме структурированной базовой компетентностной модели, включающей множество базовых компетенций, составленное из базовых компетенций ФГОС ВПО по направлению подготовки и базовых компетенций СУОС, обеспечивающих инновационную направленность подготовки магистров-инженеров; разработки иерархической структуры КМВ и паспортов компетенций;

- разработка требований к структуре ОП подготовки магистров-инженеров, включающей основные элементы (циклы М1, М2, разделы: практика и НИРС, ИГА);

- определение состава базовых дисциплин ОП, обеспечивающих ее инновационную направленность; распределение базовых агрегированных компетенций по циклам, дисциплинам, разделам структуры ОП;

- разработка требований к условиям реализации ОП подготовки магистров-инженеров;

- разработка требований к оценке качества освоения ОП магистратуры с инновационной направленностью.

Область практического применения и использования результатов выполнения проекта распространяется на направления магистров-инженеров, обеспечи-

вающих развитие и решение аналогичных рассмотренным выше проблем в рамках ПНР-4 ПНИПУ «Урбанистика».

Общие требования к результатам работы. Требования к разработке СУОС по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» были сформулированы в техническом задании (ТЗ) на выполняемые работы. Далее приведем основные требования.

СУОС ПНИПУ на подготовку магистров-инженеров по ПНР-4 университета, реализуемых в ПНИПУ, должен быть разработан:

- на основе макета СУОС ПНИПУ, введенного в действие приказом ректора от 05.04.2013 г., № 687в [145];
- на основе принципа единства научного и образовательного процессов;
- на основе компетентного подхода, при котором целью обучения становится достижение обучающимися определенного набора компетенций по данному направлению подготовки ВПО;
- на основании исследования актуальности компетентной модели выпускника (КМВ) с привлечением основных работодателей;
- на основании выявления структурно-логических связей между компетенциями и дисциплинами;
- с учетом требований основных работодателей и отраслевых профессиональных стандартов (при наличии);
- с учетом междисциплинарных отношений;
- с учетом реализации современных (в том числе компьютерных и интерактивных) образовательных технологий.

СУОС ПНИПУ на подготовку магистров-инженеров должен обеспечивать:

- инновационную направленность подготовки;
- интеграцию науки, образования и бизнеса при подготовке магистров-инженеров к инновационной деятельности;
- индивидуализацию образования при подготовке к профессиональной деятельности;
- практическую и исследовательскую направленность подготовки;

- эффективную организацию самостоятельной работы;
- гарантированное достижение требуемого результата обучения за счет применения современных образовательных технологий и фондов оценочных средств контроля уровня сформированности заявленных компетенций.

СУОС ПНИПУ на подготовку магистров-инженеров должен соответствовать:

- требованиям Федеральных государственных образовательных стандартов по направлениям ВО;
- требованиям вузовских образовательных стандартов на разработку СУОС ВО;
- требованиям международных образовательных стандартов;

Разработанный СУОС ПНИПУ по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (квалификация (степень) «магистр-инженер») должен быть согласован с УМО вузов РФ по образованию в области инфокоммуникационных технологий и систем связи.

СУОС ПНИПУ на подготовку магистров-инженеров к инновационной деятельности по ПНР-4 университета, реализуемых в ПНИПУ в рамках мероприятия 1.1, должен включать:

- общеуниверситетские цели высшего профессионального образования при подготовке магистров-инженеров по приоритетным направлениям развития ПНИПУ;
- область применения;
- требования к характеристике направления подготовки и профессиональной деятельности магистров-инженеров (специалистов);
- требования к результатам освоения основных образовательных программ с инновационной направленностью, включая перечень агрегированных базовых общекультурных и инновационных компетенций;
- требования к структуре основных образовательных программ с инновационной направленностью;
- требования к условиям реализации основных образовательных программ;

– требования к оценке качества освоения основных образовательных программ с инновационной направленностью;

– общие требования к государственной итоговой аттестации выпускников (включая вузовские требования к фонду оценочных средств контроля уровня сформированности инновационных компетенций в рамках междисциплинарного государственного экзамена и защиты выпускной квалификационной работы).

Полнота разработки всех разделов СУОС должна быть не ниже соответствующих разделов ФГОС ВПО. Требования к результатам освоения программ подготовки магистров-инженеров (специалистов) должны быть не ниже требований, устанавливаемых ФГОС ВПО по соответствующим направлениям подготовки.

В результате был разработан и утвержден самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт ПНИПУ по направлению подготовки 11.04.02 (210700.68) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». На его основе была разработана и введена в учебный процесс с 2104 г. магистерская программа 21070053.68 «Инфокоммуникационные технологии и системы современного города». Востребованность магистерской программы у студентов (наличие конкурса при зачислении) и у работодателей (распределение магистров по работодателям) подтверждают актуальность проведенной разработки.

Предлагаемые в работе методы и алгоритмы управления качеством подготовки были использованы при проектировании структуры и содержания образовательной программы (главы 1, 2, 6), а в требованиях к оценке качества освоения модулей, дисциплин и разделов образовательных программ и государственной итоговой аттестации.

7.2.3. Проектирование стандарта университета по разработке сетевых образовательных программ

Стандарт на проектирование сетевых образовательных программ по направлению подготовки (специальности) разрабатывается и планируется к внедрению в рамках группы стандартов университета, система образовательных стандартов СТУ СОС 02.09-20XX [98, 99]. Проект стандарта предполагает следующие разделы (дадим расширенное описание наиболее значимых).

1. Область применения.
2. Нормативные требования.
3. Определение и сокращения.
4. Ответственность.
5. Общие положения – особенности сетевых структур, принципы построения образовательных сетей, варианты реализации.
6. Описание и требования к модели сетевой образовательной программы – дается характеристика положения участников; ресурсов; направления взаимодействия участников, потоков ресурсов; разделяемой общей цели взаимодействия, сопоставимой с индивидуальными целям и ожидаемыми выгодами каждого участника; форм совместной деятельности; системы управления и координации деятельности.
7. Описание и требования к сетевому модулю образовательной программы – свойства и характеристик, требования к результатам освоения, структура, особенности содержания и реализации.
8. Требования к реализации и управлению сетевой образовательной программой.
9. Требования к разработке основных документов образовательной программы – компетентностная модель выпускника, учебный план, документы сетевого модуля, учебно-методические комплексы дисциплин и разделов, программа и фонды оценочных средств государственной итоговой аттестации.
10. Список литературы.
11. Приложения (макет компетентностной модели выпускника, учебного плана, документов учебно-методических комплексов дисциплин и разделов и т.п.).

Основанием для разработки проекта стандарта послужил опыт практической реализации сетевых образовательных программ по направлениям подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 27.04.04 «Управление в технических системах», что подтверждено соответствующими актами внедрения. При проектировании и реализации сетевых образовательных

программ были использованы подходы, алгоритмы и инструментарий, предложенные и рассмотренные в главах 2, 5, 6, 7.

7.3. Выводы по главе

В настоящей главе проиллюстрировано применение разработанных моделей, методов, алгоритмов и способов автоматизации в системе менеджмента качества и стандартизации университета.

1. Выполнено проектирование структуры автоматизированной системы управления и контроля качества подготовки специалистов, указаны требования, функциональность основных подсистем, алгоритмы работы системы в разных режимах. Показано место результатов диссертационной работы в составе информационного, математического и программного обеспечения проектируемой системы.

2. Предложен подход и проиллюстрированы результаты автоматизации разработки основной документированной информации программы подготовки: компетентностной модели выпускника и учебного плана, с использованием разработанного программного инструментария. Он использован при проектировании образовательных программ в ПНИПУ и вузах-партнерах, а также может быть применен для решения задач построения программ подготовки на предприятии или курсов повышения квалификации специалистов.

3. Проиллюстрированы процедура разработки и результаты внедрения стандартов университета на проектирование фондов оценочных средств дисциплин и разделов образовательной программы, приведен пример разработанного и внедренного стандарта на проектирование фонда оценочных средств государственного экзамена.

4. Показана процедура и результаты разработки и внедрения самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта ПНИПУ по направлению подготовки 11.04.02 (210700.68) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В нем нашли практическое применение предложенная методология про-

ектирования и реализации, а также алгоритмы проектирования основных учебно-методических документов программы подготовки.

5. Представлен проект стандарта университета по разработке сетевых образовательных программ, которые являются инновационной формой обучения и начинают активно применяться в системе Высшего образования РФ. Использование разработанного стандарта позволит обеспечить эффективную процедуру проектирования, а разработанный сопутствующий инструментарий – автоматизировать процедуры разработки основных учебно-методических документов.

Основные результаты исследований, рассмотренные в главе, опубликованы в работах [52, 61, 62, 64, 67, 71, 154, 155, 158, 161, 169, 170, 174, 179, 180, 97, 98, 99].

Заключение

Представленная диссертационная работа посвящена решению важной научно-технической проблемы обеспечения качества продукции на основе создания интегрированной системы управления, позволяющей оценить соответствие показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов; реализовать методы и автоматизировать процедуры построения и реализации программ подготовки специалистов, а также оценки компетентности как основного показателя их результативности. В диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи исследования.

1. Впервые предложены модели и методы оценки соответствия заданных требованиями стандартов качества продукции и уровня компетентности (результативности подготовки) специалистов, которые дают возможность учесть и количественно оценить влияние такого значимого фактора, как компетентность персонала, на показатели качества продукции.

2. Построены модели и предложен метод оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов, что позволило разработать операторы соответствия между должностными обязанностями персонала (трудовыми функциями) и результатами программ подготовки, представленными в компетентностном формате.

3. Проведен критический анализ существующих подходов к управлению и контролю качества построения и реализации программ подготовки специалистов на разных этапах жизненного цикла продукции. Предложена методология проектирования и реализации программ подготовки специалистов, основанная на комплексном системном подходе и учете стандартов, регламентирующих требования к качеству продукции, системы менеджмента качества, образовательных и профессиональных стандартов, квалификационных требований работодателей и вектора развития направления науки, техники и технологии.

4. Разработана и исследована модель управления и контроля качества на различных стадиях реализации программ подготовки специалистов, дающая воз-

возможность определить подходы к формированию и контролю результативности с учетом особенностей каждого этапа, требований к качеству и «риск-ориентированного мышления», а также представить результаты подготовки в необходимом для потребителя формате.

5. Предложены способы управления качеством на этапе проектирования программ подготовки, которые позволяют создавать эффективные программы за счет применения предложенных подходов к совместному проектированию основных учебно-методических документов; учета рекомендаций по выбору эффективных сочетаний способов и средств формирования и контроля уровня компетентности как основного показателя результативности процессов обеспечения качества продукции.

6. Проведен синтез и анализ математических моделей и методов определения количественной оценки качества подготовки, позволяющие учесть риски ошибочного принятия решения и использовать предложенные рекомендации по применению многоуровневых шкал оценивания на разных этапах аттестации для соответствия потребностям работодателей и стандартам, определяющим требования к качеству продукции.

7. Впервые разработаны квалиметрические методы, процедуры и алгоритмы диагностирования уровня компетентности с использованием адаптированного математического аппарата и методов технической диагностики. Это дало возможность реализовать безусловные и условные алгоритмы поиска недостаточно освоенных элементов компетенций и соответствующих им разделов тематического плана программы подготовки, что в условиях увеличения объема и значимости самостоятельной работы повышает организованность и эффективность самоподготовки обучаемых. Разработана методология построения контролепригодной компонентной структуры компетенций, которая взаимосвязанной с методами и средствами диагностирования, что позволяет повысить качество и точность оценивания результативности подготовки.

8. Разработаны и исследованы оригинальные квалиметрические методы дешифрации и оценки результативности и компетентности как фактора обеспечения

качества продукции на основе математического аппарата алгебраической логики и нечеткой логики. Они дают возможность выполнить автоматизацию вычисления оценок показателей компетентности, а при недостаточном объеме информации для принятия решение – определить условия перехода к последующим корректирующим действиям.

9. Выполнено проектирование информационного, алгоритмического и методического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества программ подготовки специалистов в составе интегрированной системы управления качеством продукции, что дало возможность использовать предлагаемые процедуры, методы и алгоритмы для автоматизации процессов управления и контроля качества в университете, вузах-партнерах по совместно реализуемым программам, а также на предприятиях и организациях региона. Проведена разработка и внедрение в систему менеджмента качества вуза стандартов по проектированию и реализации фондов оценочных средств контроля качества результатов обучения по дисциплинам и разделам, а также результатов освоения программ подготовки.

Применение разработанной методологии построения и реализации программ подготовки специалистов обосновано и проиллюстрировано на конкретных примерах решения задач в сфере управления качеством продукции на основании формирования и оценки результативности подготовки специалистов:

- при оценке влияния уровня квалификации на качество конечного результата деятельности специалиста, включая установление соответствия между требованиями профессиональных и образовательных стандартов;
- при проектировании основных документов программы подготовки специалистов на разных этапах жизненного цикла продукции: компетентностной модели выпускника и учебного плана;
- при разработке внутренних стандартов по проектированию фондов оценочных средств дисциплин и разделов программы подготовки специалистов;
- при разработке нормативных документов системы менеджмента качества по проектированию и реализации процесса подготовки;

- при проектировании учебно-методических комплексов дисциплин и разделов программ подготовки специалистов;

- при реализации и оценивании результатов текущего контроля, промежуточного и итоговой (государственной итоговой) аттестации для контроля качества и результативности обучения по модулям и разделам программ подготовки специалистов в компетентностном формате, согласованном с квалификационными требованиями работодателей.

Проведена апробация предлагаемого комплексного системного подхода при проектировании и реализации программ подготовки бакалавров, магистров и специалистов, реализуемых в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, в вузах-партнерах по совместно реализуемым образовательным программам, предприятиях-партнерах в рамках программ подготовки кадров. Введенные элементы автоматизации процедур формирования, контроля, дешифрации и оценивания результатов обучения позволили повысить результативность подготовки, внедрить технологии оценки уровня компетентности (квалификации), повысить эффективность принятия решений при управлении и мониторинге качества процесса подготовки, что в итоге позволяет обеспечить заданные требования к качеству продукции.

Список литературы

1. Аванесов В.С. Применение педагогических измерений и новых образовательных технологий для модернизации образования // Педагогические измерения. – 2015. – № 1. – С. 3-28.
2. Аванесов В.С. Применение образовательных технологий и педагогических измерений для модернизации образования // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2015. – № 1. – С. 63-88.
3. Азгальдов Г.Г., Азгальдова Л.А. Количественная оценка качества (квалиметрия). Библиография. – М.: Издательство стандартов, 1971. – 176 с.
4. Азгальдов Г.Г., Гличев А.В., Панов В.П. Что такое качество? – М.: Экономика, 1968. – 254 с.
5. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Смирнов В.В. Квалиметрия в высшей школе: монография. – М.: ЮНИПРАВЭКС, 2012. – 258 с.
6. Александров А.А., Коршунов С.В., Цветков Ю.Б. Образовательные стандарты МГТУ им. Н.Э. Баумана – новое качество инженерного образования // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 12. – С. 966–983. DOI: 10.7463/1214.0752249.
7. Антохина Ю.А., Варжапетян А.Г., Иняц Н., Оводенко А.А., Семенова Е.Г., Смирнова М.С. Интеграция моделей, методов и инструментов управления проектами: монография. – СПб.: Политехника, 2015. – 360 с.
8. Ассоциация инженерного образования России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aeer.ru>.
9. Белкин А.С., Вербицкая Н.О. Инновационные процессы в образовании // Образование и наука. – 2007. – № 1. – С. 113-121.
10. Болонский процесс: Результаты обучения и компетентностный подход (книга-приложение 1) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В.И. Байденко. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 536 с.

11. Варжапетян А.Г., Антохина Ю.А. Новый метод оценивания качества проектов технического университета // Экономика и управление. – 2012. – № 1 (75). – С. 58-60.

12. Варжапетян А.Г., Антохина Ю.А., Тисенко В.Н. Применение нечеткой логики противоположностей для оценивания уровня компетентности обучающихся // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 4 (83). – С. 32-37.

13. Варжапетян А.Г., Нырков А.П. Риски образовательной деятельности в современных рыночных условиях // Экономика и управление. – 2012. – № 8 (82). – С. 35-41.

14. Варжапетян А.Г., Семенова Е.Г., Ястребов А.П. Создание СМКО в проектно-ориентированном университете // Сборник трудов международной конференции «КИН». – 2009..

15. Варжапетян А.Г., Антохина Ю.А., Тисенко В.Н. Оценка уровня компетентности обучающихся // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 2 (81). – С. 31-36.

16. Васильев В.Н., Лисицына Л.С. Планирование и оценивание ожидаемых результатов освоения компетенций ФГОС ВПО // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 142–148.

17. Васильев В.Н., Лисицына Л.С., Шехонин А.А. Концептуальная модель для извлечения результатов обучения из избыточного содержания образования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 4 (68). – С. 104–108.

18. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая российская энциклопедия, 2003. – 912 с.

19. Выпускная квалификационная работа бакалавров по направлениям «Автоматизация и управление» и «Телекоммуникации»: подготовка, оформление, защита: учеб.-метод. пособие / Сост.: М.С. Волковой, В.И. Фрейман, Ю.Н. Хижняков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 49 с.: ил.

20. Всеобщий менеджмент качества: учеб. пособие / Колесников А.А. [и др.]; под общей ред. С.А. Степанова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. – 200 с.

21. Гаврилов А.В., Кавалеров М.В., Фрейман, В.И. Разработка методики применения мультимедийных технологий для проведения учебных занятий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2009. – № 3. – С. 38-46.

22. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман, В.И. Системы управления телекоммуникационных систем информационно-вычислительных сетей. Стандарты, модели, протоколы: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2005. – 101 с.: ил. (гриф УМО вузов РФ по образованию в области телекоммуникаций).

23. Гличев А.В., Панов В.П., Азгальдов Г.Г. Что такое качество? – М.: Экономика, 1968. – 135 с.

24. Гитман М.Б., Данилов А.Н., Лобов Н.В., Столбов В.Ю. Образовательные стандарты ПНИПУ: концепция разработки и опыт проектирования // Высшее образование в России. – 2014. – № 3. – С. 108-117.

25. Гитман М.Б., Кузнецова Т.А., Матушкин А.А., Столбов В.Ю., Южаков А.А. Механизмы и инструменты подготовки научных кадров к инновационной деятельности // Высшее образование в России. – 2012. – № 10. – С. 120-126.

26. Гладких Б.А. Опыт реорганизации учебного процесса в соответствии с направлениями Болонской декларации // Проблемы управления в социальных системах. – 2009. – № 2. – Т. 1. – С. 75-92.

27. ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009 Менеджмент риска. Термины и определения. – Введ. 2011-11-16. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

28. ГОСТ Р 52614.2-2006 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ГОСТ Р ИСО 9001:2001 в сфере образования». – 70 с.

29. ГОСТ Р ИСО 31000-2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Введ. 2010-12-21. – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.

30. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 26 с.
31. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартиформ, 2015. – 54 с.
32. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 21 с.
33. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 31 с.
34. ГОСТ Р ИСО 9001-2011. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартиформ, 2012. – 78 с.
35. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартиформ, 2015. – 32 с.
36. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 45 с.
37. Данилов А.Н., Овчинников А.А., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Об одном подходе к оцениванию уровня сформированности компетенций выпускника вуза // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 7.
38. Ерунов В.П. Квалиметрическая основа системы качества вуза: монография. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2009. – 313 с.
39. Ефремова Н.Ф. Подходы к оцениванию компетенций в высшем образовании: учеб. пособие. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – 216 с.
40. Ефремова Н.Ф. Формирование и оценивание компетенций в образовании. Монография. – Ростов-на-Дону, «Аркол», 2010. – 386 с.
41. Заводчиков Д.П., Зеер Э.Ф., Реньш М.А., Лебедева Е.В. Развитие личности в системе непрерывного профессионального образования: монография / Под редакцией Э.Ф. Зеера, Д.П. Заводчикова. – Екатеринбург: Изд-во Росс. гос. проф.-пед. ун-та, 2013. – 197 с.

42. Загвязинский В.И., Закирова А.Ф. Творческое ядро в структуре научного исследования проблем образования // Образование и наука. – 2014. – № 10 (119). – С. 4-18.

43. Загвязинский В.И. Российское образование: роль науки в его дальнейшем развитии // Народное образование. – 2014. – № 3. – С. 9-16.

44. Звонников В.И., Челышкова М.Б. Оценка качества результатов обучения при аттестации (компетентностный подход): учеб. пособие. – М.: Логос, 2012. – 279 с.

45. Зеер Э.Ф., Сыманюк Э.Э. Реализация компетентностного подхода в системе инновационного образования // Инновационные проекты и программы в образовании. – 2014. – Т. 4. – С. 15-20.

46. Зеер Э.Ф. Фундаментальные и прикладные исследования психологии образования в уральском регионе // Образование и наука. – 2006. – № 2. – С. 36-44.

47. Зимняя И.А. Компетентностный подход. Каково его место в системе современных подходов к проблеме образования? (теоретико-методологический аспект) // Высшее образование сегодня. – 2006. – № 8. – С. 20-26.

48. Зимняя И.А., Лаптева М.Д. Об инновациях в образовательном процессе (на примере компетентностно-ориентированной образовательной программы) // Акмеология. – 2009. – № 1 (29). – С. 32-36.

49. Зимняя И.А. Формирование и оценка сформированности социальных компетентностей у студентов вузов при освоении нового поколения ООП ВПО: Образовательный модуль. Для программы повышения квалификации преподавателей вузов в области проектирования ООП, реализующих ФГОС ВПО. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – 42 с.

50. К вопросу о подготовке и оценке компетенций выпускников высшей школы с использованием модулей «Вектор развития направления» и «Квалификационные требования работодателей» / А.Н. Данилов [и др.] // Открытое образование. – 2012. – № 3. – С. 20-32.

51. Ключевые компетенции и образовательные стандарты: обсуждение программного доклада А.В. Хуторского в Российской академии образования / А.В. Хуторской [и др.] // Эйдос. – 2014. – № 4. – С. 18.

52. Кон Е.Л., Матушкин Н.Н., Фрейман В.И., Южаков А.А. Проектирование и реализация сетевых магистерских программ по перспективным направлениям науки, техники и технологии // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2014. – № 08 (86). – С. 79-89.

53. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. 2012. № 4. С. 231-241.

54. Кон Е.Л., Фрейман, В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 317 с.: ил. (гриф УМО вузов РФ по образованию в области телекоммуникаций).

55. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Анализ возможности применения аппарата и методов технической диагностики для контроля и оценки результатов освоения компетентностно-ориентированных образовательных программ // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – № 7. – С. 66-71.

56. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Анализ и количественная оценка результатов реализации образовательных программ с использованием диагностических тестов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. № 4 (98). – С. 756-763.

57. 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.

58. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Количественная оценка результатов обучения, представленных в компетентностном формате // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Том 19. № 1 (67). – С. 206-212.

59. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А., Кон Е.М. К вопросу о формировании компетенций при разработке основной образовательной программы // Открытое образование. – 2013. – № 2. – С. 4-10.

60. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А., Кон Е.М. Подход к формированию компонентной структуры компетенций // Высшее образование в России. – 2013. – № 7. – С. 37-41.

61. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. К вопросу о проектировании основных образовательных программ в технических вузах // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+S&E`13): XLI международная конференция, XI международная конференция молодых ученых, майская сессия, Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 25 мая по 04 июня 2013 г., сб. науч. тр. междунар. конф. – 2013. – С. 143-145.

62. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. К вопросу о реализации сетевых образовательных программ (на примере технических направлений подготовки) [Электронный ресурс] // Образовательные ресурсы и технологии. – 2013. – № 2 (3). – С. 21-27. – Режим доступа: <http://www.muiv.ru/vestnik/pp/chitalyamyam/poisk-po-statyam/6947/29535/>.

63. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. К вопросу об управлении и контроле качества образовательного процесса в рамках компетентностно-ориентированных программ подготовки выпускников технических направлений // Труды XIII Международной научно-методической конференции образовательных организаций, реализующих направление подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»: «Учебно-методическое обеспечение образовательных организаций в условиях модернизации ФГОС 3-ого поколения», г. Ярославль, 25-27 июня 2014 г. – С. 289-294.

64. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Новые подходы к подготовке специалистов в области инфокоммуникаций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2015. – № 1 (25). – С. 73-89.

65. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Обработка и дешифрация результатов контроля составляющих компонентной структуры компетенций // Образовательные ресурсы и технологии [Электронный ресурс]. – 2015. – № 1(9). – С. 50-56. – Режим доступа: http://www.muiiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2015_1_50-56.pdf.

66. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Оценка качества формирования компетенций студентов технических вузов при двухуровневой системе обучения // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., 2–12 октября 2012 г. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – Т. 9. – с. 39-41.

67. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Практический подход к формированию компетентностной модели выпускника технического университета // Университетское управление: практика и анализ. – 2013. – № 2 (84). – С. 52-58.

68. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Применение аппарата нечеткой логики для контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 12. – С. 20-25.

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

70. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Проблема оценки качества обучения в вузах с системой подготовки «бакалавр-магистр» (на примере технических направлений) // Открытое образование. – 2013. – № 1. – С. 23-31.

71. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Разработка и исследование подходов к управлению, контролю и оцениванию качества реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2015. – № 3. – С. 356-372.

72. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Разработка подходов к формализованному описанию контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции // Образование и наука. – 2015. – № 4. – С. 52-68.

73. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Разработка подходов к управлению качеством реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ // Информационные технологии в науке, образовании и управлении под редакцией проф. Е.Л. Глориозова. – 2015. – С. 324-329.

74. 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.

75. Коршунов Г.И. Управление процессами и инновациями при обеспечении качества приборов и систем. – СПб.: Изд-во ГУАП, 2008. – 163 с.

76. Коршунов Г.И., Фрейман В.И. Модели и методы оценки соответствия показателей качества продукции и результативности подготовки специалистов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12. – С. 649-653.

77. Краткий терминологический словарь в области управления качеством высшего и среднего профессионального образования / В.В.Азарьева и [др.]. – СПб.: ПИФ.com, 2007. – 44 с.

78. Лучшие практики по созданию систем качества в образовательных учреждениях РФ / Азарьева В.В. [и др.]. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. – 544 с.

79. Матушкин Н.Н., Столбова И.Д. Прагматизм как лейтмотив отношений в формировании компетентностной модели выпускника с учетом требований регионального рынка труда (на основе исследовательских материалов Пермского государственного технического университета) // Аккредитация в образовании. – 2008. – № 27. – С. 58-61.

80. Матушкин Н.Н., Пахомов С.И., Столбова И.Д. Оценка качества подготовки выпускников аспирантуры к инновационной деятельности // Регионоведение. 2011. № 2. С. 135-139.

81. Матушкин Н.Н., Фрейман В.И., Южаков А.А. Техническая эксплуатация инфокоммуникационных сетей городской инфраструктуры: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 200 с.: ил.

82. Менеджмент качества в образовательных учреждениях: материалы курса повышения квалификации / Д.В. Пузанков [и др.], части 1 и 2. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 508 с.

83. Менеджмент качества и инновации в образовании: региональный аспект. Том 1. Коллективная монография. В 2 т. / Ю.Н. Клещевский, Л.В. Хасбутдинова [и др.]; под общ. ред. С.Н. Бабурина, Ю.Н. Клещевского. – М.: Изд-во РГТЭУ, 2010. – 480 с.: ил.

84. Менеджмент качества и инновации в образовании: региональный аспект. Том 2. Коллективная монография. В 2 т. / О.В. Власова, Л.В. Хасбутдинова [и др.]; под общ. ред. С.Н. Бабурина, Ю.Н. Клещевского. – М.: Изд-во РГТЭУ, 2010. – 376 с.: ил.

85. Методические рекомендации по внедрению типовой модели системы качества образовательного учреждения / Авторский коллектив: Азарьева В.В., Круглов В.И., Пузанков Д. В., Соболев В.С., Соловьев В. П., Степанов И.В., Степанов С.А., Ященко В. В. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2006. – 408 с.

86. Методические указания по выполнению выпускной квалификационной работы дипломированного специалиста (инженера) специальностей 220201 «Управление и информатика в технических системах», 210406 «Сети связи и системы коммутации» / Сост.: М.С. Волковой, Т.С. Леготкина, В.И. Фрейман. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 59 с.: ил.

87. Методические указания выполнению выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации) на степень (квалификацию) магистра техники и технологии по направлениям: 220200.68 «Автоматизация и управление», 210400.68 «Телекоммуникации» / Сост. Е.Л. Кон, В.И. Фрейман. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 52 с.: ил.

88. Методические рекомендации по применению стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9000:2001 в высших учебных заведениях / Д.В. Пузанков [и др.]. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 220 с.

89. Новиков А.М., Новиков Д.А. Как оценивать качество образования? [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: [http://www.anovikov.ru/artikle/kacth obr.htm](http://www.anovikov.ru/artikle/kacth_obr.htm) (дата обращения 22.10.2015).

90. Новиков Д.А. Теория управления образовательными системами. – М.: Народное образование, 2009. – 416 с.

91. Образовательные стандарты и учебные планы | ВМК МГУ. URL: <http://cmc.msu.ru/studies/curricula> (дата обращения: 28.02.2014).

92. Образовательные стандарты НИТУ «МИСиС». URL: <http://www.misis.ru/tabid/2824/Default.aspx> (дата обращения: 28.02.2014).

93. Образовательные стандарты – Санкт-Петербургский государственный университет. URL: <http://spbu.ru/structure/documents/mm19xm7g> (дата обращения: 28.02.2014).

94. Орлов А. И. Теория принятия решений. – М.: Экзамен, 2005. – 656 с.

95. Основные тенденции развития высшего образования: глобальные и Болонские измерения / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В.И. Байденко. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – 352 с.

96. Основы технической диагностики. В 2-х книгах. Кн. I. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Карибский В.В. [и др.], под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия. 1976. – 464 с.

97. Отчет о выполнении работ по разработке самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта университета в рамках мероприятия 1.1 «Разработка и модернизация вузовских образовательных стандартов и программ высшего, послевузовского и дополнительного профессионального образования по ПНР университета», направление подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», степень (квалификация) «магистр-инженер» / Разр. А.А.

Южаков, Е.Л. Кон, Н.Н. Матушкин, В.И. Фрейман. – Пермь, 2013. – 33 с. (с приложениями).

98. Отчет о выполнении работ по разработке сетевой образовательной программы в рамках мероприятия 1.1 «Разработка и модернизация вузовских образовательных стандартов и программ высшего, послевузовского и дополнительного профессионального образования по ПНР университета», направление подготовки 220400 «Управление в технических системах», магистерская программа 22040056.68 «Информационные технологии в проектировании управляющих систем реального времени», степень (квалификация) «магистр (магистр-инженер)» / Разр. А.А. Южаков, Н.Н. Матушкин, Е.Л. Кон, В.И. Фрейман. – Пермь, 2013. – 38 с. (с приложениями).

99. Отчет о выполнении работ по разработке сетевой образовательной программы в рамках мероприятия 1.1 «Разработка и модернизация вузовских образовательных стандартов и программ высшего, послевузовского и дополнительного профессионального образования по ПНР университета», направление подготовки 11.04.02 (210700.68) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», магистерская программа 11.04.02.54 (21070054.68) «Инфокоммуникационные технологии и сети городской инфраструктуры», степень (квалификация) «магистр (магистр-инженер)» / Разр. А.А. Южаков, Н.Н. Матушкин, Е.Л. Кон, В.И. Фрейман. – Пермь, 2014. – 38 с. (с приложениями).

100. Пахомов Г.И., Фрейман, В.И. Теория электрической связи. Основные понятия: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 115 с.: ил.

101. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений: учеб. пособие. – М.: Физматлит, 2007. – 64 с.

102. Поташник М.М. Качество образования: проблемы и технология управления. – М.: Педагогическое общество России, 2002. – 351 стр.

103. Практика разработки и применения самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов и программ высшего образования / Н.Н. Матушкин [и др.] // Высшее образование в России. – 2014. – № 6. – С. 5-13.

104. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2013 г. № 1367 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, г. Москва.

105. Профессиональный стандарт «Специалист по радиосвязи и телекоммуникациям». Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 19 мая 2014 г. № 318н. – 17 с.

106. Разработка и апробация фонда оценочных средств уровня сформированности компетенций выпускников университета в соответствии с требованиями ФГОС ВО: отчет по НИР // Разр. Южаков А.А., Матушкин Н.Н., Кон Е.Л., Фрейман В.И. [и др.]. – Пермь, 2015. – 238 с.

107. Рожков Н.Н. Квалиметрические методы и модели в задачах управления качеством в сфере образования: монография. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2011. – 218 с.

108. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радиоисвязь, 1993. – 278 с.

109. Сазонов Б.А. Балльно-рейтинговые системы оценивания знаний и обеспечение качества учебного процесса // Высшее образование в России. – 2012. – № 6. – С. 28-40.

110. Селезнева Н.А. Качество высшего образования как объект системного исследования: лекция-доклад. – М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2003. – 68 с.

111. Семенова Е.Г., Смирнова М.С., Фролова Е.А. Интеграция научно-производственных предприятий и вузов при магистерской подготовке // Вопросы радиоэлектроники, сер. Радиолокационная техника. – 2013. – С. 161-168.

112. Семенова Е.Г., Смирнова М.С., Фролова Е.А. Направления интеграционной и сетевой подготовки кадров для инновационной экономики // Инновации. – 2014. – № 1 (183). – С. 9-12.

113. Семенова Е.Г., Смирнова М.С., Фролова Е.А. Повышение качества подготовки магистрантов в рамках сетевого взаимодействия // Сборник материалов тринадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством», 12-13 марта 2014 года / ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского». – 2014. – С. 237-238.

114. Семенова Е.Г., Смирнова М.С., Фарафонов В.Г., Фролова Е.А. Реализация адаптивной системы подготовки кадров в условиях современной экономики // Качество жизни и устойчивое развитие. – 2015. – С. 55-61.

115. Семенова Е.Г., Степанов А.Г. Оценочные средства как показатели качества компетенций выпускников высшей школы // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2015. – № 3(7). – С. 53-66.

116. Семенова Е.Г., Фомина А.В., Воробьева Е.С. Модели и инструменты прогнозирования и управления качеством в сфере высшего образования России. – СПб, Изд-во ГУАП, 2013. – 300 с.

117. Системы гарантии качества образования / В.А. Азарьева и [др.]. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. – 44 с.

118. Соболев В. С., Степанов С. А. Концепция, модель и критерии эффективности внутривузовской системы управления качеством высшего профессионального образования//Университетское управление: практика и анализ. – 2004. – , № 2 (30). – С. 102-110.

119. Средства оценивания результатов обучения студентов вуза: метод. рекомендации / Автор-сост. Е. Ю. Игнатьева; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2014. – 62 с.

120. Степанов С.А. Управление качеством в технических вузах. – СПб.: Технолит, 2008 г. – 256 с.

121. СТУ СМК 01-2009. Требования к структуре, содержанию, изложению, обозначению и оформлению стандартов университета системы менеджмента качества. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

122. СТУ СМК 02-2015. Управление документами. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

123. СТУ СМК 03-2011. Требования к структуре, содержанию, изложению, обозначению и оформлению положений о подразделениях и должностных инструкций. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2011.

124. СТУ СМК 04-2009. Правила построения, изложения, оформления, содержания и обозначения положений ПГТУ. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

125. СТУ СМК 05-2013. Управление записями. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2013.

126. СТУ СМК 06-2015. Внутренний аудит. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

127. СТУ СМК 07-2009. Управление несоответствующими образовательными услугами. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

128. СТУ СМК 08-2009. Корректирующие и предупреждающие действия. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

129. СТУ СМК 10-2009. Управление системой менеджмента качества университета. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

130. СТУ СМК 11-2015. Взаимодействие с потребителями и другими заинтересованными сторонами. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

131. СТУ СМК 12-2015. Управление материально-техническим обеспечением, закупками. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

132. СТУ СМК 13-2009. Управление персоналом. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2009.

133. СТУ СМК 14-2015. Оказание образовательных услуг. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

134. СТУ СМК 15-2015. Мониторинг и измерение образовательных услуг. Управление средствами контроля и измерения. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

135. СТУ СМК 19-2015. Разработка новых образовательных услуг или совершенствование существующих. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

136. СТУ СМК 20-2012. Управление несоответствующими научными и инновационными работами и услугами. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2012.

137. СТУ СМК 21-2015. Выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг. Мониторинг и измерение результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

138. СТУ СМК 22-2012. Взаимодействие с потребителями научных и инновационных работ и услуг. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2012.

139. СТУ СМК 23-2012. Разработка новых видов научных и инновационных работ и услуг. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2012.

140. СТУ СМК 27-2015. Взаимодействие с заказчиками и управление заказом. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

141. СТУ СМК 29-2015. Производство продукции. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

142. СТУ СМК 30-2015. Мониторинг и измерение продукции. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

143. СТУ СМК 31-2015. Управление несоответствующей продукцией. – Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2015.

144. СТУ СУОС 02.04-2013. Стандарт университета. Система образовательных стандартов ПНИПУ // Компетентностная модель выпускника. Правила разработки и оформления. – Пермь, Перм. национальн. исслед. политехн. ун-т, 2013.

145. СТУ СУОС 03.02.2-2012. Стандарт университета. Система самостоятельно устанавливаемых стандартов ПНИПУ // Макет стандарта (магистр). Пермь. Перм. национальн. исслед. политехн. ун-т, 2012.

146. СТУ СУОС 03.02.2.01-2012. Стандарт университета. Система самостоятельно устанавливаемых стандартов ПНИПУ // Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», квалификация (степень) «магистр», специальное звание «магистр-инженер». Пермь. Перм. национальн. исслед. политехн. ун-т, 2013.

147. Субетто А.И. Квалитология образования. – СПб.-М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2000. – 220 с.

148. Субетто А.И. Система управления качеством в вузе (модель) / Под науч. ред. Н.А. Селезневой, А.И. Субетто. – М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2002. – 25 с.

149. Типовая модель системы качества образовательного учреждения. Руководство по качеству / В.В.Азарьева [и др.]. – СПб.: Технолит, 2009. – 39 с.

150. Управление качеством образования на основе новых информационных технологий и образовательного мониторинга / Д.Ш. Матрос [и др.]. – М.: Педагогическое общество России, 2001. – 128 стр.

151. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, уровень высшего образования магистратура, направление подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 октября 2014 г. № 1403.

152. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». – 404 с.

153. Фокин Ю.Г. Количественные способы сравнения или оценки изменений качественных объектов и освоения компетенций // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 12. – С. 1000–1012.

154. Фрейман В.И. Анализ структуры и содержания федеральных образовательных стандартов третьего поколения для разработки основной образовательной программы // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. Материалы VI Международной интернет-конференции. – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2012. – С. 339-349.

155. Фрейман В.И. Исследование подходов к проектированию инфокоммуникационных сетей // Prospero. – 2014. – № 7. – С. 18-23.

156. Фрейман В.И. Контроль и оценивание результатов обучения, заданных в компетентностном формате, с использованием методов технической диагностики // Материалы XVII Международной заочной научно-практической конференции «Теория и практика современной науки», 8-9 апреля 2015 г. – С. 74-80.

157. Фрейман В.И. Квалиметрические модели, методы и алгоритмы контроля, дешифрации и оценки результативности подготовки: монография. – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 140 с.: ил.

158. Фрейман В.И. К вопросу о формировании компетентностной модели выпускника // Научные исследования и инновации. – 2012. – № 1-4. – С. 43-55.

159. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. К вопросу о разработке и внедрении университетами самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов // Forming and qualitative development of modern educational systems. Materials digest of the LXIV International Research and Practice Conference and III stage of the championship in Pedagogical Sciences (London, September 26 – October 01, 2013). – PP. 23-25.

160. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Контроль результатов реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ с использованием некоторых положений технической диагностики // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Тенденции и перспективы развития современного научного знания», 6-7 апреля 2015 г. – С. 50-56.

161. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Организация сетевых образовательных программ для реализации современных тенденций развития информационного общества // Education as the basis of the humanity evolution in conditions of the information environment of the society domination. Materials digest of the LII International Research and Practice Conference and II stage of the championship in Pedagogical Sciences (London, May 21 – May 26, 2013). – PP. 97-99.

162. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Особенности формирования содержания компонентной структуры компетенций для разных уровней системы образования // Сборник материалов международной научной конференции «Актуальные проблемы развития образования в России и за рубежом» [Электронный ресурс], г. Москва, 29-30 апреля 2014. – С. 117-122.

163. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Подход к разработке образовательных программ подготовки магистров // Материалы XLII Международной конференции XII Международной конференции молодых ученых «Информаци-

онные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT + SE`2014», Крым, Ялта-Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2014 г. – С. 143-146.

164. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Подход к разработке образовательных программ подготовки магистров [Электронный ресурс] // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2 (5). – С. 29-34. – Режим доступа: <http://www.muiiv.ru/vestnik/pp/chitatelyam/poisk-po-statyam/7111/33100/>.

165. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Подход к разработке основной образовательной программы с учетом требований международных образовательных стандартов в области инженерной деятельности // Problems of modern pedagogics in the context of international educational standards development. Materials digest of the XL International Research and Practice Conference and I stage of the championship in Pedagogical Sciences (London, January 31–February 05, 2013). – PP. 75-77.

166. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Построение и анализ компонентной структуры компетенций // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Теоретические и методологические проблемы современного образования», г. Москва, 25-26 марта 2014 г. – С. 290-293.

167. Фрейман В.И. Метод анализа логических условий для дешифрации результатов диагностического теста уровня освоения элементов компетенций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. № 6 (100). – С. 1169-1176.

168. Фрейман В.И. Модели и методы оценки соответствия требований профессиональных стандартов и результативности подготовки как показателя компетентности специалистов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12. – С. 654-658.

169. Фрейман В.И. Организация изучения подходов к проектированию телекоммуникационных сетей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 254-257.

170. Фрейман В.И. Организация профильной дисциплины на примере изучения подходов к проектированию телекоммуникационных сетей // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. Материалы VI Международной интернет-конференции. – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2012. – С. 318-329.

171. Фрейман В.И. Применение методов и процедур технической диагностики для контроля и оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». – 2014. – № 6. – С. 79-85.

172. Фрейман В.И. Проектирование и планирование телекоммуникационных сетей: метод. указания к лабораторным работам [Электронный ресурс]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 16 с.: ил. – 1 CD-R. Свидетельство о госрегистрации № 0321000617.

173. Фрейман В.И. Проектирование и планирование телекоммуникационных сетей: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 54 с.: ил.

174. Фрейман В.И. Подход к автоматизации основных этапов разработки компетентностной модели выпускника // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. Материалы VI Международной интернет-конференции. – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2012. – С. 330-338.

175. 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, 2000. 114 с.

176. Фрейман В.И. Разработка метода дешифрации результатов диагностирования уровня освоения элементов компетенций с использованием нечеткой логики // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 12. – С. 26-30.

177. Фрейман В.И. Разработка методики контролепригодного проектирования компонентной структуры дисциплинарной компетенции // Образование и наука. – 2014. – № 10. – С. 31-46.

178. Фрейман В.И. Реализация одного алгоритма условного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2 (69). – С. 93-102.

179. Фрейман В.И. Разработка компетентностной модели выпускника (бакалавра) по направлению 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» («Телекоммуникации») // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2010. – № 4. – С. 93-98.

180. Фрейман В.И. Разработка учебно-методического комплекса дисциплины в соответствии с ФГОС нового поколения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2009. – № 3. – С. 47-50.

181. Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивое кодирование в телекоммуникационных системах: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 72 с.: ил. – 1 CD-R. Свидетельство госрегистрации № 0321102891.

182. Фрейман В.И. Техническая эксплуатация систем телекоммуникаций. Практический подход: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 107 с.: ил.

183. Фрейман В.И. Техническая эксплуатация систем телекоммуникаций [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Электрон. дан. (8,93 Мб). – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

184. Хижняков Ю.Н. Нечеткое, нейронное и гибридное управление: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 303 с.

185. Хуторской А.В., Король А.Д., Андрианова Г.А. Компетентностный подход в образовании: фрагменты дискуссий на форумах научной школы // Эйдос. – 2014. – № 4. – С. 19.

186. Чучалин А.И. Уровни компетенций выпускников инженерных программ // Высшее образование в России. – 2009. – № 11. – С. 3-13.

187. Чучалин А.И., Герасимов С.И. Компетенции выпускников инженерных программ: национальные и международные стандарты // Высшее образование в России. – 2012. – № 10. – С. 3-13.

188. Шихова О.Ф., Шихов Ю.А. Квалиметрический подход к диагностике компетенций выпускников высшей школы // Образование и наука. – 2013. – № 4 (103). – С. 40-57.

189. Шихов Ю.А. Мониторинг качества подготовки специалистов // Высшее образование сегодня. – 2006. – № 2. – С. 54-55.

190. Шихов Ю.А., Шихова О.Ф. Качество высшего образования как системная категория // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2014. – № 2 (62). – С. 191-194.

191. Adomian G. On integral, differential, and integro-differential equations, perturbation and averaging methods // Kybernetes. – 1995. – V. 24. – N 7. – P. 52–60.

192. Anderson L.W., Krathwohl D.R. A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of bloom's taxonomy of educational objectives. – NY: Longman, 2000. – 336 p.

193. Feigenbaum A.V. Total Quality Control. – New York: McGraw-Hill, 1983. – p. 267.

194. Freyman V., Kon E., Yuzhakov A. Approach to the development of the main educational program with consideration of requirements of international educational standards in the field of engineering [Электронный ресурс] // GISAP: EDUCATIONAL SCIENCE. – 2013. – № 2. – PP. 43-45. – Режим доступа: <http://journals.gisap.eu/index.php/Educational/article/view/274/259>.

195. Freyman V., Kon E., Yuzhakov A. Concerning the development and implementation of independently established educational standards by universities [Электронный ресурс] // GISAP: EDUCATIONAL SCIENCE. – 2014. – № 4. – PP. 12-15. – Режим доступа: <http://journals.gisap.eu/index.php/Educational/article/view/608/592>.

196. Freyman V., Kon E., Yuzhakov A. Organization of network educational programs for implementation of modern tendencies of development of information society [Электронный ресурс] // GISAP: EDUCATIONAL SCIENCE. – 2014. – № 4. – PP. 9-11. – Режим доступа: <http://journals.gisap.eu/index.php/Educational/article/view/616/600>.
197. Functions of upbringing and education in conditions of the accelerated socialization of the personality in the modern society: collective monograph / O. Revutska, ..., В.И. Фрейман [и др.]. – London: IASHE, 2015. – PP. 27-31.
198. Gulikers J., Biemans H., Mulder M. Developer, teacher, student and employer evaluations of competence-based assessment quality // Studies in Educational Evaluation. – 2009. – V. 35. N 2-3. – P. 110–119.
199. Heywood J. Assessment in higher education: student learning, teaching, programmes and institutions. Higher Education Policy Series 56. – London: Jessica Kingsley Publishers, 2000. – 448 p.
200. Interpersonal mechanisms of knowledge and experience transfer in the process of public relations development: collective monograph / N. Vovchasta, ..., В.И. Фрейман [и др.]. – London: IASHE, 2014. – PP. 17-19.
201. Krathwohl D., Bloom B., Masia B. Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals. – NY: Longman, 1984. – 196 p.
202. Patil A., Gray P. Engineering education quality assurance: a global perspective. London: Springer Science+Business Media LLC, 2009. 316 p.
203. Peculiarities of development of public production means and material resources ensuring the activity of the person in early XXI century: collective monograph / В.И. Фрейман [и др.]. – London: IASHE, 2015. – PP. 47-51.
204. Podrigues F., Oliveira P. A system for formative assessment and monitoring of students' progress // Computers & Education. – 2014. – V. 76. – P. 30–41.
205. Pressing problems of interpersonal communications in the educational process and the social practice: collective monograph / В.И. Фрейман [и др.]. – London: IASHE, 2015. – PP. 13-17.

206. Reimanna P., Kickmeier-Rustb M., Albertb D. Problem solving learning environments and assessment: a knowledge space theory approach // *Computers & Education*. – 2013. – V. 64. – P. 183–193.

207. Technical progress of mankind in the context of continuous extension of the society's material needs: collective monograph / В.А. Омеляненко, ..., В.И. Фрейман [и др.]. – London: IASHE, 2015. – PP. 13-17.

208. Wakimotoa D., Lewisb R. Graduate student perceptions of eportfolios: uses for reflection, development, and assessment // *The Internet and Higher Education*. – 2014. – V. 21. – P. 53–58.

209. Yorke M. Formative assessment in higher education: moves towards theory and the enhancement of pedagogic practice // *Higher Education*. – 2003. – V. 45. – № 4. – P. 477–501.

Приложение А

Применение предлагаемой методологии проектирования на примере построения программ подготовки по направлению 11.03.02 и 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Для направления подготовки 11.03.02 и 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» в качестве вектора развития направления (ВРН) выбрана общая архитектура и концепция эволюционного развития сетей следующего (нового) поколения (NGN – Next Generation Networks), утвержденная в качестве Концепции развития ВСС РФ Министерством РФ по связи и информатизации и описанная в рекомендациях ITU-T (МСЭ) Y.100, Y.1001, Y.1291 (05/2004) и др. Общая архитектура мультисервисной конвергентной инфокоммуникационной сети, построенная в соответствии с концепцией NGN, приведена на рисунке А.1. В концепции NGN заложена идея конвергенции (постепенного сближения, обеспечивающего возможность совместного функционирования) существующих и новых сетей, технологий и сервисов, поддерживаемых единой инфраструктурой для передачи любых видов информации (речи, данных, видео).

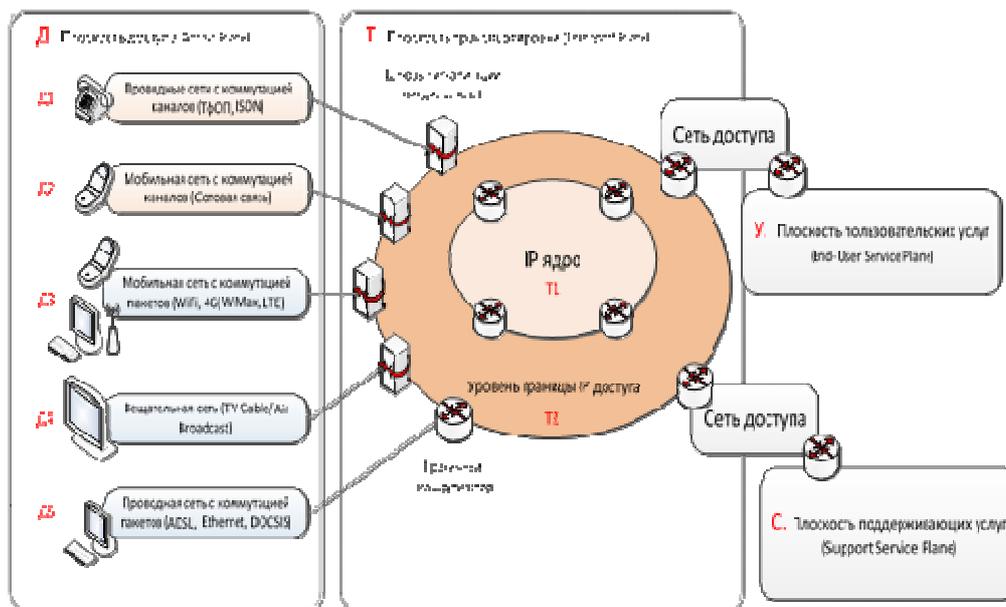


Рисунок А.1 – Общая архитектура конвергентной мультисервисной сети следующего (нового) поколения NGN

На рисунке А.2 приведена обобщенная структура произвольной инфокоммуникационной системы (ИКС). Предложенная обобщенная структура ИКС позволяет выделить структурные компоненты любой ИКС и связанные с ними проблемы на всех этапах жизненного цикла ИКС, т.е. определить объекты и предметы изучения профильной дисциплины.

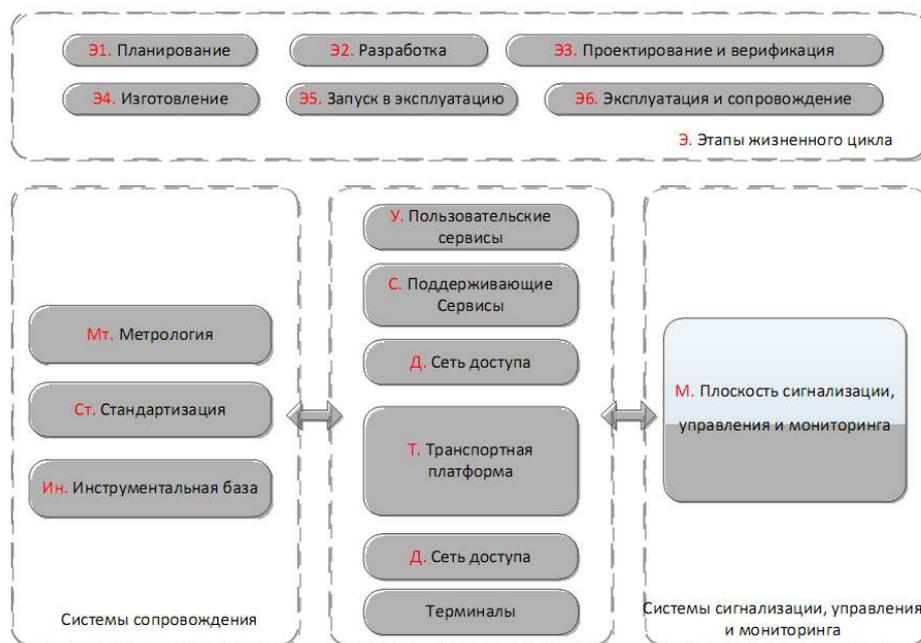


Рисунок А.2 – Обобщенная структура произвольной инфокоммуникационной системы

Решение вопросов, связанных с позиционированием профильной дисциплины (ПД) в учебном плане, в частности, анализ объема знаний, даваемых предшествующими дисциплинами и необходимых для усвоения материала разрабатываемой ПД и круг задач, которые делегируются последующим дисциплинам, должен разработчик РППД. Таким образом, разработчик РППД обязан знакомиться и анализировать содержание программ других профильных дисциплин, выделяя информацию, необходимую для разрабатываемой профильной дисциплины (суть системного подхода).

Ниже, в качестве примера, приведен фрагмент учебного плана бакалавриата направления 11.03.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и сети связи» с корректным позиционированием профильных дисциплин и учтенными изложенными выше рекомендациями.

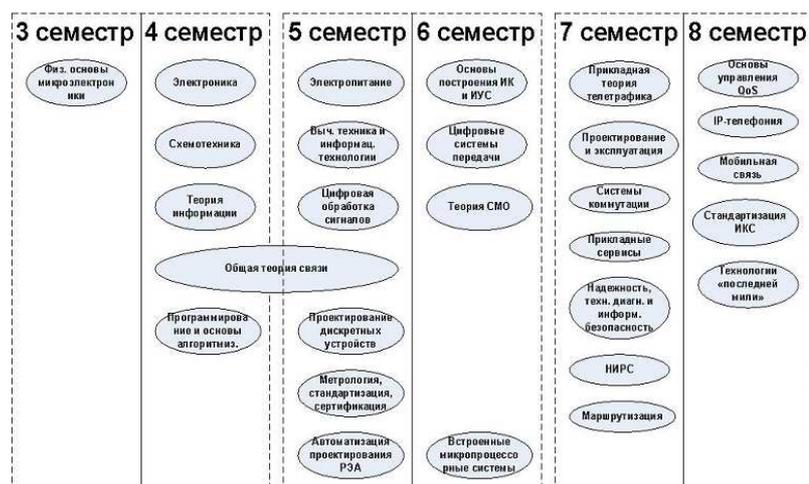


Рисунок А.3 – Фрагмент учебного плана с позиционированием профильных дисциплин

Для обоснования необходимости, актуальности и отсутствия дублирования разделов профильных дисциплин, все разделы РППД могут быть помечены многоступенными идентификаторами, ступени которых фиксируют выбранные для изучения структурные и проблемные единицы.

Ниже приведены одноступенные идентификаторы структурных единиц, (компоненты многоступенных идентификаторов) для структур ВРН, предназначенные для выделения основных структурных элементов при их обозначении в РППД, а также задач и проблем, решаемых в ИКС (таблица А.1):

Таблица А.1 – Одноступенные идентификаторы структурных единиц

Плоскость доступа	
Д.1	Проводные сети с коммутацией каналов (PSTN и др.)
Д.2	Мобильные сети с коммутацией каналов (GSM и др.)
Д.3	Мобильные сети с коммутацией пакетов (WiFi, WiMax и др.)
Д.4	Вещательная сеть (ATV, DTV, Radio и др.)
Д.5	Проводные сети с коммутацией пакетов (ADSL, Ethernet, DOCSIS и др.)
Плоскость транспортировки	
Т.1	Магистральные сети. IP ядро
Т.2	Уровень границы IP доступа

Плоскость поддерживающих услуг (примеры)	
С.1	Авторизация/Аутентификация
С.2	Биллинг
С.3	Шифрование
С.4	Туннелирование
С.5	Определение местоположения
С.6	Управление качеством и др.
Плоскость пользовательских услуг (примеры)	
У.1	Голосовая телефония
У.2	Видеотелефония
У.3	Телевидение/Видео по запросу
У.4	Передача данных
У.5	Мгновенные сообщения
У.6	Справочные службы
У.7	Электронная коммерция
У.8	Дополненная реальность
У.9	Управление домом и др.
Плоскость сигнализации, мониторинга и управления	
М.1	Выявление неисправностей и обеспечение отказоустойчивости (F)
М.2	Сигнализация, управление и мониторинг (C)
М.3	Обеспечение учета (A)
М.4	Обеспечение производительности (P)
М.5	Обеспечение безопасности (S)
Этапы жизненного цикла	
Э.1	Планирование
Э.2	Разработка
Э.3	Проектирование и верификация
Э.4	Изготовление
Э.5	Запуск в эксплуатацию

Э.6	Эксплуатация и сопровождение
Сопровождение	
Мт	Метрология
Ст	Стандартизация
Ин	Инструментальная база

Ниже приведен фрагмент рабочей программы профильной дисциплины «Управление качеством сервисов в сетях NGN» с использованием многоступенных идентификаторов разделов программы (бакалавриат).

Id	Общие вопросы. Введение в управление качеством в NGN инфраструктуре
У1- У4	Пакеты TRIPLEPLAY/QUADRUPLEPLAY. Краткое описание составляющих пакет услуг
У1 С6	Голосовой трафик реального времени. Факторы, влияющие на качество передачи голоса. Основные виды помех в аналоговой и цифровой телефонии
У2 У3 С6	Передача цифрового видео. Видеоуслуги реального времени (видеотелефония), Видеоуслуги с промежуточным накоплением (кабельное ТВ, видео по запросу) Факторы, влияющие на качество предоставляемой услуги. Основные виды помех в аналоговом и цифровом КТВ
У4 С6	Произвольный пакетный трафик. Предоставление широкополосного доступа. Факторы, влияющие на качество предоставляемой услуги. Основные виды помех
II	Принципы построения конвергентных пакетов TRIPLEPLAY с использованием существующей инфраструктуры
Id	Общие вопросы. Введение в управление качеством в NGN инфраструктуре
У1 Д1-2	Использование услуг традиционной ТфОП как составной части пакета TRIPLEPLAY. Использование последней мили ТфОП в качестве базы для остальных услуг пакета. Технология ADSL (Уралсвязьинформ/Ростелеком)
У2-3 Д2 Д5	Использование услуг существующей системы аналогового КТВ как составной части пакета TRIPLEPLAY. Использование последней мили ана-

	логового КТВ в качестве базы остальных услуг пакета. Технология DOCSIS (МТС/Стрим)
У4 Д2	Пакет TRIPLEPLAY на базе IP-инфраструктуры. Использование сети Ethernet, как универсальной базы для пакета услуг (Дом.ру)

Взаимосвязь разрабатываемой РППД с ВРН и КТР позволяет аргументировано выбрать профильную дисциплину, разработать содержание РППД, указать ее место (позиционировать) в учебном плане, показать ее связи с подсистемами и задачами, решаемыми традиционными или перспективными инфокоммуникационными технологиями и системами, приобретать компетенции, реально способствующие трудоустройству выпускников на современном рынке специалистов в области инфокоммуникационных технологий и систем (ИКС).

Приложение Б

Примеры разработки основных документов образовательной программы

Пример разработки шаблона учебного плана

Далее приведен пример шаблона учебного плана, который применяется для разработки рабочих учебных планов магистерских программ по направлению 11.04.02 (210700.68) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», реализуемому на кафедре «Автоматика и телемеханика» ПНИПУ (таблица Б.1). Условные обозначения: ЭКЗ – экзамен, ЗАЧ – зачет, КП – курсовой проект, КР – курсовая работа, ЗЕ – зачетная единица, 1, 2, 3, 4 – учебные семестры, «...» – наименование дисциплины, которое нужно заполнить в разрабатываемом новом РУП.

Таблица Б.1 – Пример шаблона учебного плана

Индекс	Циклы, разделы, дисциплины	Виды аттестации				Распределение по семестрам				
		ЭКЗ	ЗАЧ	КП	КР	ЗЕ	1	2	3	4
M1	Общenaучный цикл					30				
	Базовая часть					9				
M1.B1	Философские и психологические проблемы творчества	1				3	3			
M1.B2	Психология и педагогика (высшей школы)		1			2	2			
M1.B3	Методы моделирования и оптимизации		1		1	4	4			
	Вариативная часть					21				
M1.B1	...	1				3	3			
M1.B2	...		1		1	4	4			
M1.B3	...	2				3		4		
M1.B4	...		3			3			3	
M1.ДВ1	...		1			4	3			

M1.ДВ2	...		2			4		4		
M2	Профессиональный цикл					30				
	Базовая часть					8				
M2.Б1	Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем	2				5		5		
M2.Б2	Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем		3			3			3	
	Вариативная часть					22				
M2.В1	...	3		3		4			4	
M2.В2	...	3				4			4	
M2.В3	...		4			3				3
M2.В4	...		4			3				3
M2.ДВ1	...		2			4		4		
M2.ДВ2	...		3			4			4	
M3	Практики и научно-исследовательская работа					51				
M3.1	Научно-исследовательская работа		1 2 3			36	9	9	9	9
			4							
M3.2	Учебная (научно-исследовательская) практика		2			6		6		
M3.4	Производственная (преддипломная) практика		4			9				9
M4	Государственная итоговая аттестация					9				9
M4.1	Государственный экзамен	4				1,5				1,5
M4.2	Выполнение выпускной квалификационной работы	4				6				6
M4.3	Защита выпускной квалификационной работы	4				1,5				1,5
	Итого:	6	11	1	2	120	28	32	27	33

Данный вариант шаблона отвечает требованиям по макропоказателям ОП и используется для разработки новых РУП по выбранному в качестве примера направлению подготовки.

Пример заполнения таблицы соотношения компетенций и дисциплин

Рассмотрим пример составления таблицы соотношения компетенций и дисциплин одного произвольного цикла. Примем следующие исходные данные:

- базовая часть цикла (БЧЦ) содержит 2 дисциплины (БД);
- вариативная часть цикла (ВЧЦ) содержит 4 обязательные дисциплины (ОВД) и 2 дисциплины по выбору (ДВ, по два варианта в каждом случае);
- за циклом закреплено 8 компетенций из ФГОС (К) и 2 профильно-специализированные компетенции (ПСК).

Вариант покрытия представлен в таблица Б.2. В ней также произведен подсчет емкости каждой дисциплины (ЕД) как количества формируемых компетенций (дисциплинарных компетенций) и емкости каждой компетенции (ЕК) как количества закрепленных, т.е. формирующих ее, дисциплин. Емкость конкретной компетенции может быть увеличена, если она входит в обязательный перечень другого цикла и/или раздела. Для получения полной картины покрытия таблица соотношения компетенций и дисциплин должна быть сформирована для всех циклов и разделов ОП.

Таблица Б.2 – Пример таблицы соотношения компетенций и дисциплин

		К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	К ₆	К ₇	К ₈	ПСК-1	ПСК-2	ЕД
БЧЦ	БД ₁	+	+	+	+							4
	БД ₂					+	+	+	+			4
ВЧЦ	ОВД ₁	+	+							+		3
	ОВД ₂			+	+					+		3
	ОВД ₃					+	+				+	3
	ОВД ₄							+	+		+	3
	ДВ _{1.1} ДВ _{1.2}	+		+						+		3
	ДВ _{2.1} ДВ _{2.2}					+		+			+	3
ЕК		3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	

Как видно из анализа таблицы Б.2, параметр ЕД находится в пределах от 3 до 4, что обуславливает достаточно оптимальное соотношение между трудоемкостью и количеством закрепленных за дисциплиной компетенций. Также обеспечивается приемлемая сложность структуры РПД в плане реального количества способов формирования и средств контроля уровня освоения закрепленных дисциплинарных компетенций. Допустимо увеличение параметра ЕК, ориентировочно, не более чем в 2 раза, что тоже вполне реализуемо в формате паспорта компетенции.

В настоящее время предложенные подходы находятся на этапе апробации методического обеспечения процесса разработки основных документов ОП в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Приложение В

Пример компонентной структуры одной дисциплинарной компетенции

Рассмотрим пример компонентной структуры одной дисциплинарной компетенции [180] в формате «4–2–1», формируемой дисциплиной «Общая теория связи» (шифр дисциплины по учебному плану БЗ_Б11) образовательной программы бакалавриата направления подготовки 11.03.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (таблицы В.1, В.2, В.3).

Таблица В.1 – Пример описания компетенции

Индекс	Формулировка компетенции
ПК-18	Способен спланировать и провести необходимые экспериментальные исследования, по их результатам построить адекватную модель, использовать ее в дальнейшем при решении задач создания и эксплуатации инфокоммуникационного оборудования

Таблица В.2 – Пример описания дисциплинарной компетенции

Индекс	Формулировка дисциплинарной компетенции
ПК-18-1. БЗ_Б11	Способен обосновать и применить способы обеспечения требуемых вероятностных характеристик достоверности передачи данных в инфокоммуникационных сетях

Таблица В.3 – Пример описания элементов дисциплинарной компетенции

Индекс	Формулировка элементов дисциплинарной компетенции
ПК-18-1. БЗ_Б11-3 ₁	Знать способы оценки вероятностно-временных характеристик достоверности систем передачи с заданной статистикой ошибок.
ПК-18-1. БЗ_Б11-3 ₂	Знать основные соотношения для расчета параметров систем передачи, использующих различные способы повышения помехоустойчивости.
ПК-18-1. БЗ_Б11-3 ₃	Знать структурные методы повышения помехоустойчивости.

ПК-18-1. БЗ_Б11-З ₄	Знать подходы к реализации кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов.
ПК-18-1. БЗ_Б11-У ₁	Уметь рассчитать параметры и вероятностно-временные характеристики систем передачи, использующих помехоустойчивое кодирование.
ПК-18-1. БЗ_Б11-У ₂	Уметь построить и промоделировать работу кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов.
ПК-18-1. БЗ_Б11-В ₁	Владеть навыками проектирования систем передачи с требуемыми показателями достоверности в заданном аппаратно-программном базисе.

В приведенном примере в рамках рассматриваемой дисциплинарной компетенции формируется 4 элемента «знать», 2 элемента «уметь», 1 элемент «владеть».

Пример формирования иерархии тестовых заданий проверки элементов одной дисциплинарной компетенции

Проиллюстрируем изложенные в данном разделе рекомендации по, используя иерархическую модель представления дисциплинарной компетенции. Сделаем это на примере формирования тестовых заданий для элементов дисциплинарной компетенции, закрепленной за профильной дисциплиной «Общая теория связи» учебного плана направления подготовки 11.03.02 (210700) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (бакалавриат) [180].

Компетенция ПК-18: Способен спланировать и провести необходимые экспериментальные исследования, по их результатам построить адекватную модель, использовать ее в дальнейшем при решении задач создания и эксплуатации инфокоммуникационного оборудования.

Дисциплинарная компетенция ПК-18-1: Способен обосновать и применить способы обеспечения требуемых вероятностных характеристик достоверности передачи данных в инфокоммуникационных сетях.

Элементы дисциплинарной компетенции:

Знать:

Z_1 – Способы оценки вероятностно-временных характеристик достоверности систем передачи с заданной статистикой ошибок.

Z_2 – Основные соотношения для расчета параметров систем передачи, использующих различные способы повышения помехоустойчивости.

Z_3 – Структурные методы повышения помехоустойчивости.

Z_4 – Подходы к реализации кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов в заданном аппаратно-программном базисе.

Уметь:

U_1 – Рассчитать параметры и вероятностно-временные характеристики систем передачи, использующих помехоустойчивое кодирование.

U_2 – Построить и промоделировать работу кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов.

Владеть:

B_1 – навыками проектирования систем передачи с требуемыми показателями достоверности в заданном аппаратно-программном базисе.

На рисунке В.1 показан вариант модели иерархической структуры формирования элементов дисциплинарной компетенции для рассматриваемого примера. Также возможен вариант структуры, когда имеют места разветвления (один элемент участвует в формировании нескольких элементов следующего уровня иерархии). Очевидно, что формулировки элементов могут быть подобраны для реализации обеих топологий. Первая структура представляется более удобной для формирования тестовых заданий, однако вторая позволит уменьшить количество элементов (укрупнить формулировки), что приведет к соответствующему уменьшению количества тестов. Выбор модели структуры выполняет разработчик рабочей программы дисциплины.

В соответствии с рассматриваемым примером и рисунком В.1 проиллюстрируем модель формирования тестовых заданий для контроля элементов дисциплинарной компетенции. Отметим, что приведенные модели могут быть дополне-

ны за счет добавления новых связей между первым и вторым, вторым и третьим уровнями.

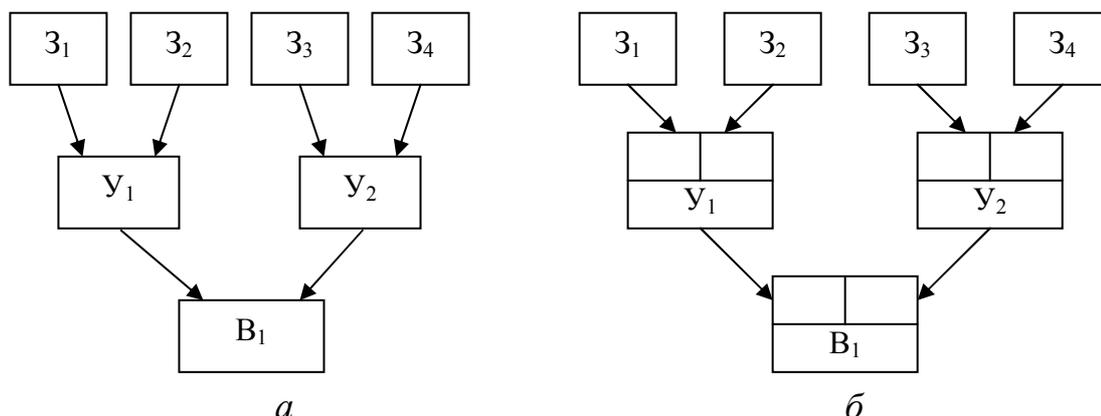


Рисунок В.1 – Граф модели формирования: *а* – ЭДК; *б* – системных тестовых заданий для контроля ЭДК

При формировании тестовых заданий для умений и владений, кроме составляющих их из предыдущего уровня иерархии слоя элементов, используются элементы собственно данного уровня. Очевидно, что умения требуют не только знаний, но и их правильного использования для решения учебных задач (например, выбрать нужную формулу, методику, критерий, выполнить расчет, сравнить результаты и т.п.). Владения предусматривают применение знаний и умений при решении сформулированных в предметной области практических задач, с элементами внедрения и реализации (например, выбрать базис реализации, разработать схему, написать программу, провести моделирование, обосновать выбор и т.п.). Следовательно, процедура построения тестовых заданий является итеративной. В ней нулевая итерация строится с использованием упрощенных строго структурированных моделей типа представленных на рисунке В.1.

Для построения тестовых заданий для каждого объекта контроля необходимо выделить параметры, которые подвергаются проверке, а также разработать критерии их количественной оценки. Далее приведем примеры содержания тестовых заданий.

Содержание тестовых заданий для проверки элементов Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 представляют собой проверку знания определений, теорем, параметров, характеристик, формул и т.д.

Содержание тестового задания для проверки элемента Y_1 :

- определить вероятностно-временные характеристики системы передачи с заданными параметрами (используются знания из Z_1 плюс числовые исходные данные);

- рассчитать параметры заданного способа повышения помехоустойчивости (используются знания из Z_2 плюс числовые исходные данные).

Содержание тестового задания для проверки элемента Y_2 :

- сравнить результаты применения различных структурных методов повышения помехоустойчивости (используются знания из Z_3 плюс числовые исходные данные);

- построить, промоделировать и оценить сложность аппаратно-программной реализации кодирующих и декодирующих устройств помехоустойчивых кодов (используются знания из Z_4 плюс числовые исходные данные).

Содержание тестового задания для проверки элемента B_1 :

- обосновать выбор метода повышения помехоустойчивости по техническим, временным и вероятностным критериям, удовлетворяющих заданным требованиям (используются знания и умения предшествующих уровней, в частности, Y_1 плюс числовые исходные данные плюс критерии сравнения);

- спроектировать и реализовать структурную и функциональные схемы системы передачи, реализующих выбранный метод обеспечения помехоустойчивости, и ее основных компонентов в заданном элементном базисе реализации, а также промоделировать ее работу (используются знания и умения предшествующих уровней, в частности, Y_2 плюс числовые исходные данные плюс умения применить заданный элементный базис).

Из рассмотренного примера видно, что в содержание каждого тестового задания входят фрагменты тестовых заданий составляющих его элементов. Это облегчает формирование тестового задания, увеличивает количество вариантов заданий, позволяет оценить каждый компонент.

Приложение Г

Пример реализации контролепригодного проектирования компонентной структуры учебной дисциплины

Рассмотрим пример разработки контролепригодной компонентной структуры и соответствующий ей вариант диагностического обеспечения проверки качества формирования ДК (освоения ЭДК) для абстрактной учебной дисциплины в соответствии с предлагаемым выше общим итеративным подходом. Исходные данные (достаточно типовой случай для дисциплин технических направлений подготовки):

- общая трудоемкость – 3 зачетные единицы, 108 академических часов (ч), вид аттестации – зачет (из рабочего учебного плана);

- аудиторная работа студентов, включающая: лекции (18 ч), практические занятия (16 ч), лабораторные работы (16 ч), контроль самостоятельной работы студентов (4 ч) – всего 54 ч;

- самостоятельная работа студентов, включающая подготовку к промежуточному тестированию (Т) и написание рефератов (РФ), всего 18 ч; выполнение 5 индивидуальных заданий по тематике практических занятий (ИЗ, $4 \text{ ч} \times 5 = 20 \text{ ч}$); подготовку к защите отчетов по 4 лабораторным работам (ОЛР, $4 \text{ ч} \times 4 = 16 \text{ ч}$) – всего 54 ч;

- планируемые средства контроля (по компонентам ЗУВ):

- тесты знаний (ТЗ): тестирование и защита рефератов;

- тесты умений (ТУ): выполнение индивидуальных заданий по темам практических занятий;

- тесты владений (ТВ): защита отчетов по лабораторным работам.

- дисциплина формирует 2 дисциплинарные компетенции (их наименования сформулированы при разработке паспортов компетенций в составе компетентностной модели выпускника);

- график учебного процесса (распределение аудиторных занятий по неделям);
- требования к выбору методов диагностирования, например, по заданной глубине локализации (мощность множества нЭДК); количеству шагов проверки; сложность и размерность множества тестов; характер процедуры (безусловный/условный) и т.д.;
- требования к шкалам оценивания и способом принятия решения об уровне освоения ЭДК;
- требования к логическим условиям, по которым осуществляются переходы к следующему шагу проектирования, повторению этапов данного шага или возврат на предыдущий шаг, заданные нормативно-методической документацией, выбранными методами диагностирования, профессиональным опытом разработчика и т.д.

Далее рассмотрим реализацию предлагаемого итеративного подхода, включающего 4 шага проектирования – {1, 2, 3, 4}.

Шаг № 1. Предположим, что в соответствии с содержанием и структурой дисциплины тематический план разделен на два раздела, в каждом из которых – по две темы. Также будем считать, что каждая из формируемых дисциплинарных компетенций реализуется в одном соответствующем разделе (этапы 1 и 2 общего подхода).

Часть средств контроля (тестов) задана структурой дисциплины (например, тесты умений (ТУ) – 4 индивидуальных задания по тематике практических занятий, тесты владений (ТВ) – 4 отчета по лабораторным работам), а другая часть (тесты знаний (ТЗ)) – определяется преподавателем по содержанию и тематическому плану дисциплины (например, на каждую тему – по одному ТЗ). Тогда начальный вариант (0 версия) компонентной структуры формируемых элементов дисциплинарных компетенций и таблица диагностирования для данного шага (полного единичного покрытия) представлена в таблица Г.1. Все тесты – простые (этап 3). Выбран метод безусловного поиска нЭДК, который заключается в реализации всех тестов, сбора и дешифрации результатов, построении интегро-

дифференциального критерия оценки уровня освоения каждого ЭДК и принятие решения о его освоении или не освоении в соответствии с выбранной шкалой оценивания (этап 4).

Таблица Г.1 – Таблица диагностирования для шага № 1

	СК ЭДК	Тесты знаний				Тесты умений				Тесты владений				<i>V</i>
		T_1^1	T_2^1	T_3^1	T_4^1	ИЗ ₁	ИЗ ₂	ИЗ ₃	ИЗ ₄	ОЛР ₁	ОЛР ₂	ОЛР ₃	ОЛР ₄	
ДК ₁	Z_{11}^1	*												1
	Z_{21}^1		*											1
	Y_{11}^1					*								1
	Y_{21}^1						*							1
	B_{11}^1									*				1
	B_{21}^1										*			1
ДК ₂	Z_{12}^1			*										1
	Z_{22}^1				*									1
	Y_{12}^1							*						1
	Y_{22}^1								*					1
	B_{12}^1											*		1
	B_{22}^1												*	1
	<i>W</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

Условные обозначения: Z_{11}^0 – элемент (ЭДК) «знать» № 1 для ДК-1, шаг № 1.

V – анализ покрытия по элементам, который показывает, сколько тестов контролирует данный ЭДК. *W* – анализ покрытия по тестам, который показывает, сколько ЭДК контролирует данный тест.

Каждая ДК задана следующей компонентной структурой (множеством ЭДК): 2 элемента «знать», 2 элемента «уметь», 2 элемента «владеть» (что является нетипичным и не соответствует рекомендациям вуза, например, заданным как: $N_z \geq N_y \geq N_B$). Таким образом, общее количество контролируемых ЭДК определяется так: $2 \cdot (2 + 2 + 2) = 12$. При этом общее количество средств контроля при полном единичном покрытии определяется количеством соответствующих ЭДК: тестов знаний – 4, тестов умений – 4 и тестов владений – 4, всего – 12. В дальнейшем количество средств контроля может быть изменено, поскольку оно определяется структурой и содержанием дисциплины, а также планируемыми для реализации методами диагностирования (этапы 5–9).

Шаг № 2. На данном шаге в качестве примера рассмотрим два равноправных варианта реализации процедуры, отличающиеся выбором разных форматов таблицы диагностирования.

Вариант 1. Допустим, что в результате анализа компонентной структуры педагог принял решение, что необходимо изменить компонентную структуру ДК (перейти к 1 версии), повысив ее контролепригодность. Например, формулировки элементов «знать» получились достаточно «объемные» (например, затрагивающие несколько тем дисциплины), и их необходимо декомпозировать, введя дополнительные средства контроля (рефераты – РФ). И наоборот, показалось логичным объединить два элемента «владеть» в один (укрупнить ЭДК), который будет тестироваться двумя тестами (или составным тестом ОЛР₁₋₂, скомпонованным из двух тестов – ОЛР₁ и ОЛР₂). Тогда компонентная структура формируемых ДК и таблица диагностирования для данного шага (полное единичное покрытие (еПЭ & еПТ) для всех элементов и тестов, кроме «владеть» (неПЭ & еПТ)) представлена в таблица Г.2. Все тесты – простые.

Таблица Г.2 – Таблица диагностирования для шага № 2 (вариант 1)

	СК	Тесты знаний								Тесты умений				Тесты владений		V
		T ₁ ^{2.1}	T ₂ ^{2.1}	T ₃ ^{2.1}	T ₄ ^{2.1}	РФ ₁ ^{2.1}	РФ ₂ ^{2.1}	РФ ₃ ^{2.1}	РФ ₄ ^{2.1}	ИЗ ₁	ИЗ ₂	ИЗ ₃	ИЗ ₄	ОЛР ₁₋₂	ОЛР ₃₋₄	
ДК ₁	З ₁₁ ^{2.1}	*														1
	З ₂₁ ^{2.1}		*													1
	З ₃₁ ^{2.1}					*										1
	З ₄₁ ^{2.1}						*									1
	У ₁₁ ^{2.1}									*						1
	У ₂₁ ^{2.1}										*					1
	В ₁₁ ^{2.1}													*		1
ДК ₂	З ₁₂ ^{2.1}			*												1
	З ₂₂ ^{2.1}				*											1
	З ₃₂ ^{2.1}							*								1
	З ₄₂ ^{2.1}								*							1
	У ₁₂ ^{2.1}										*					1
	У ₂₂ ^{2.1}												*			1
	В ₁₂ ^{2.1}														*	1
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14

Условные обозначения: З₁₁^{1.1} – элемент «знать» № 1 для ДК-1, шаг № 2, вариант 1.

Каждая ДК задана следующей компонентной структурой: 4 элемента «знать», 2 элемента «уметь», 1 элемент «владеть», что соответствует рекомен-

дациям. Таким образом, общее количество контролируемых ЭДК определяется так: $2 \cdot (4 + 2 + 1) = 14$. При этом общее количество средств контроля равно 14 (этапы 5–9).

Шаг № 2. Вариант 2. В процессе дальнейшего контролепригодного проектирования и в результате анализа текущей версии компонентной структуры педагога принял решение ввести дополнительные средства контроля для элементов «знать» (РФ). При анализе формулировок «уметь» принято решение, что их можно контролировать и при защите лабораторных работ (например, при выполнении расчетной части). Также из соображений, приведенных при анализе варианта 1, выполнено укрупнение ЭДК «владеть» путем объединения двух элементов «владеть» в один, который будет тестироваться двумя тестами. При этом объединение двух простых тестов в один составной тест нецелесообразно из-за их участия в проверках других ЭДК («уметь»). Это потребует изменить и компонентную структуру ДК, и перечень средств контроля (тестов). Тогда компонентная структура формируемых дисциплинарных компетенций и таблица диагностирования для данного шага (неединичное покрытие для всех элементов) представлена в таблица Г.3. Тесты знаний и умений – простые, тесты владений сложные (или составные).

Таблица Г.3 – Таблица диагностирования для шага № 2 (вариант 2)

	СК ЭДК	Тесты знаний								Тесты умений и владений								V
		T ₁ ^{2.2}	T ₂ ^{2.2}	T ₃ ^{2.2}	T ₄ ^{2.2}	РФ ₁ ^{2.2}	РФ ₂ ^{2.2}	РФ ₃ ^{2.2}	РФ ₄ ^{2.2}	ИЗ ₁	ИЗ ₂	ИЗ ₃	ИЗ ₄	ОЛР ₁	ОЛР ₂	ОЛР ₃	ОЛР ₄	
ДК ₁	Z ₁₁ ^{2.2}	*				*												2
	Z ₂₁ ^{2.2}		*				*											2
	Y ₁₁ ^{2.2}								*				*					2
	Y ₂₁ ^{2.2}									*				*				2
	B ₁₁ ^{2.2}												*	*				2
ДК ₂	Z ₁₂ ^{2.2}			*				*										2
	Z ₂₂ ^{2.2}				*			*										2
	Y ₁₂ ^{2.2}										*				*			2
	Y ₂₂ ^{2.2}											*				*		2
	B ₁₂ ^{2.2}														*	*		2
	W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	20

Условные обозначения: Z₁₁^{1.2} – элемент «знать» № 1 для ДК-1, шаг № 2, вариант 2.

Каждая ДК задана следующей компонентной структурой: 2 элемента «знать», 2 элемента «уметь», 1 элемент «владеть», что также соответствует рекомендациям. Таким образом, общее количество контролируемых ЭДК определяется так: $2 \cdot (2 + 2 + 1) = 10$. При этом общее количество средств контроля равно 16 (этапы 5–9).

При количестве недель обучения в семестре, равным 18, получается примерно одна проверка в неделю, что хорошо согласуется с требованием равномерного распределения загрузки студентов с учетом других дисциплин, реализуемых в текущем семестре.

Шаг № 3. Выбранный педагогом метод безусловного поиска не требует коррекции компонентной структуры дисциплинарных компетенций и таблицы диагностирования (при выборе других методов диагностирования возможно изменение и компонентной структуры, и таблицы диагностирования) (этап 9). Он также обеспечивает требуемую глубину локализации (до каждого нЭДК).

В качестве средств контроля используются как простые, так и составные (сложные) тесты. Для дешифрации результатов и определения оценки уровня освоения ЭДК используется формат интегро-дифференциального критерия оценки. Так, например, оценка уровня освоения элемента $У_{11}^{2,2}$ складывается из взвешенных оценок тестов в виде индивидуального задания ИЗ₁ и защиты отчета по лабораторной работе ОЛР₁.

При безусловной процедуре диагностирования результат определяется после реализации всех тестов в рамках соответствующих контролируемых мероприятий. Положительные результаты тестов знаний (например, Т₁, РФ₁) могут являться необходимым условием для допуска к занятиям и средствам контроля умений, а положительные результаты тестов умений (например, ИЗ₁, ИЗ₂) могут являться необходимым условием для допуска к занятиям и средствам контроля владений. Применение условной процедуры диагностирования рассмотрено в [178].

Шаг № 4. Рекомендациям и ограничениям спроектированная компонентная структура дисциплинарных компетенций и таблица диагностирования соответствует (этап 10).

Итогом применения данного подхода является сформированная контроле-пригодная компонентная структура дисциплинарных компетенций, реализуемых в конкретной дисциплине, построенная с учетом требований к эффективным способам формирования ЭДК, методам построения тестов, процедурам реализации проверок, алгоритмам сбора и дешифрации результатов, шкалам оценивания и методам принятия решения об уровне освоения ЭДК.

Таблицы диагностирования формируются преподавателем при разработке дополнительных материалов учебно-методического комплекса дисциплины (например, «Методические указания по оцениванию уровня освоения элементов компетенций, формируемых дисциплиной»). Распределение (покрытие) имеет, как правило, общий характер (комбинированный вариант покрытия (вариант 4) таблицы диагностирования).

Автор надеется, что предлагаемые результаты решения поставленных задач будут способствовать повышению эффективности обучения, выбору адекватных средств контроля, точности оценивания, а также рациональному использованию образовательных ресурсов (кадровых, временных, материально-технических и т.д.) вуза. Кроме того, следует отметить, что предлагаемые алгоритмы, методы и подходы к организации и проведению процедуры контроля результатов освоения компетенций и их составляющих могут быть использованы как методическая основа при построении автоматизированной системы управления и контроля качества формирования компетенций выпускников в процессе обучения.

Учитывая увеличение объема и роли самостоятельной работы в соответствии с ФГОС ВО, предлагаемые подходы к контролю уровня освоения сформированных компонентов дисциплинарных компетенций будут способствовать повышению эффективности самоконтроля студентов.