

Старыгина Светлана Дмитриевна

Нуриев Наиль Кашипович

DOI 10.21661/r-114764

ДИДАКТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ: НОВЫЙ ТРЕНД В ОБРАЗОВАНИИ

Ключевые слова: модель деятельности, поле компетенций, пространство проблем, дидактическая система, сложность проблем, дидактическая инженерия, высокоэффективная методология.

Очевидно, что дидактическая система все больше и больше становится человеко-машинной (кибернетической) обучающей системой с привлечением искусственного интеллекта. Дидактическая инженерия – это методология (теория, практика, диагностика) организации деятельности по решению дидактических задач. Поэтому в рамках дидактической инженерии решаются задачи по созданию новых эффективных дидактических систем, средств (технологий) обучения и диагностики качества подготовки с использованием инженерных методов, работающих в виртуально-реальной среде (техногенной образовательной среде). Предложенные в работе методы решения дидактических задач обоснованы. Они опираются на известные в педагогической психологии и в кибернетике фундаментальные закономерности, понятия, принципы. К ним могут быть отнесены: «природосообразное обучение», «зона ближайшего развития», «обучение на высоком уровне трудности», закон Эшби (закон необходимости разнообразия), а также установленная закономерность «решение проблем в три операции». Эта закономерность позволила раскрыть причины быстрого устойчивого развития студента, ключевые инвариантные способности, роль знаний при разрешении проблем, и в целом того факта, почему одни люди решают профессиональные проблемы более успешно чем другие. Разработанную систему и технологию подготовки инженеров в метрическом компетентностном формате можно частично реализовать в типовой оболочке MOODLE или полностью в специально спроектированной системе MYKNITU (myknitu.kstu.ru).

Keywords: *activity model, field of competence, space problems, didactic system, the complexity of the problems, didactic engineering, highly effective methodology.*

It is clear that didactic system, more and more becomes a man-machine (cybernetic) learning system with the assistance of artificial intelligence. Didactic Engineering – a methodology (theory, practice, diagnosis) organization to address didactic problems. Therefore, in the framework of didactic engineering problems are solved by the creation of new and effective teaching systems and equipment (technology) training and diagnostic quality of training using engineering methods, working in virtual and real environment (man-made educational environment). Proposed methods of solving of didactic tasks is justified. They are based on well-known in educational psychology and cybernetics fundamental laws, concepts, principles. These may include: «priorodopodobnosti training», «zone of proximal development», «training on a high level of difficulty," Ashby's law (the law of requisite variety), as well as the established pattern «solution to the problems in three steps». This law allowed to disclose the reasons for the rapid sustainable development of the student, the key invariant ability, the role of knowledge in solving problems, and in general the fact why some people decide to professional problems more successfully than others. Developed can be partially implemented system and technology training of engineers in the metric format competency in a typical shell MOODLE or completely in a specially designed MYKNITU system (myknitu.kstu.ru).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект №15–07–05761).

Введение. Системы развивающего обучения являются классическими и с хорошим преподавателем эффективными при подготовке инженеров в небольших потоках. Как показывает практика, только эти системы могут обеспечить подготовку студентов по специальностям, требующим в профессии творческого начала, т.е. обеспечить достижения высокого уровня развития способностей. Разумеется, это возможно только тогда, когда студент обладает совокупностью качеств: 1) знает, 2) понимает, 3) умеет и 4) имеет навыки решения профессиональ-

ных проблем. В современных условиях необходимо разработать высокоэффективные автоматизированные системы обучения, работающие в виртуально-реальной среде. Построена модель автоматизированной системы, позволяющая организовать эффективное обучение. Фундаментальная часть этой модели сформирована как единое «ядро», основанное на результатах Яна Коменского, С.Л. Рубинштейна, Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева, Л.В. Занкова, У.Р. Эшби. С нашей стороны разработана обобщенная функциональная модель деятельности человека по решению проблем, выявлены ключевые способности, установлена зависимость успешности результата решения проблемы от уровней развития ключевых способностей, сложности проблемы и глубины усвоенных знаний. Обоснованы необходимость введения меры сложности учебных проблем и методики их оценки. Создана модель организации пространства учебных проблем. Разработана модель многоуровневой дидактической системы с технологией быстрого развития ключевых способностей через обучение. Сконструированы метрические шкалы для объективной оценки уровня развития ключевых способностей на фоне усвоения знаний.

В результате, с учетом фундаментальных закономерностей и интеграции перечисленных моделей в единую систему, а также автоматизации всего процесса подготовки, сформировалась новая методологическая платформа, которая с использованием инженерных методов позволило спроектировать дидактические системы качественно нового уровня – дидактические системы нового поколения.

1. Проблема сложности. Очевидно, что один человек отличается от другого не только набором компетенций, которыми он обладает, но и качеством их обладания, т.е. умением разрешать проблемы большой сложности в рамках этих компетенций. В любой области деятельности можно заранее оценить сложность решения любых проблем в метрических единицах (оцифровать сложность проблем), например, на основе заключений экспертов. Исходя из этого, объективной мерой уровня развития способностей человека можно считать сложность проблем, которые он способен (умеет) решать. Из сказанного следует, что на практике в системах образования можно сформировать специальные базы учебные

проблем с указанием их сложности [3; 11; 18], а затем через умения их устойчиво и надежно решать судить об уровне развития специальных способностей обучающегося. Таким образом, в системах, построенных в рамках дидактической инженерии можно и нужно внедрить категорию сложность проблем с метриками их сложности, т.к. впоследствии это дает возможность объективно оценить потенциал будущего инженера. Разумеется, что введения в дидактическую систему понятия учебной проблемы с измеренной сложностью порождает целый ряд сопутствующих вопросов. Например, таких как: какие универсальные специальные способности, необходимо развивать, чтобы научиться разрешать проблемы; как измерить уровень развития этих способностей; каким образом связаны способности и знания; как измерить глубину усвоенных знаний. В целом, можно сказать, что введение в дидактическую систему понятия учебной проблемы с измеренной сложностью порождает новую метрико-ориентированную технологию обучения (технологию быстрого развития через подготовки в метрическом компетентностном формате), которая на практике. является одной из реализаций методологии: «Дидактическая инженерия»

2. *Функциональная модель решения проблемы человеком.* В ходе системного анализа деятельности человека по решению проблем было установлена следующая фундаментальная закономерность, которую назвали «решение проблем в три операции». Суть этой закономерности состоит в следующем. Любую проблему человек решает через свою деятельность в три взаимосвязанных и следующих друг за другом операции. Первая операция (операция А) – формализация проблемы, т.е. человек в меру развития своих способностей (умений), а также глубины знаний преобразует (в когнитивной сфере) решаемую проблему в какой – то аналог известной для него задачи. Вторая операция (операция В) – конструирование плана решения задачи, т.е. человек на основе своих способностей и знаний (в целом, ментальной своей модели) формирует план решения этой задачи. Третья операция (операция С) – исполнение этих планов в реальной (виртуальной) среде. Таким образом, любой человек при решении проблемы проходит путь: проблема; задача; план ее решения; исполнение решения; результат.

Разумеется, результат в зависимости от человеческого фактора, может изменяться от неудачного до успешного.

Опираясь на эту фундаментальную закономерность и используя методологию структурного системного анализа (SADT – *Structured Analysis and Design Technique*), была построена функциональная модель решения проблемы человеком (рис. 1).

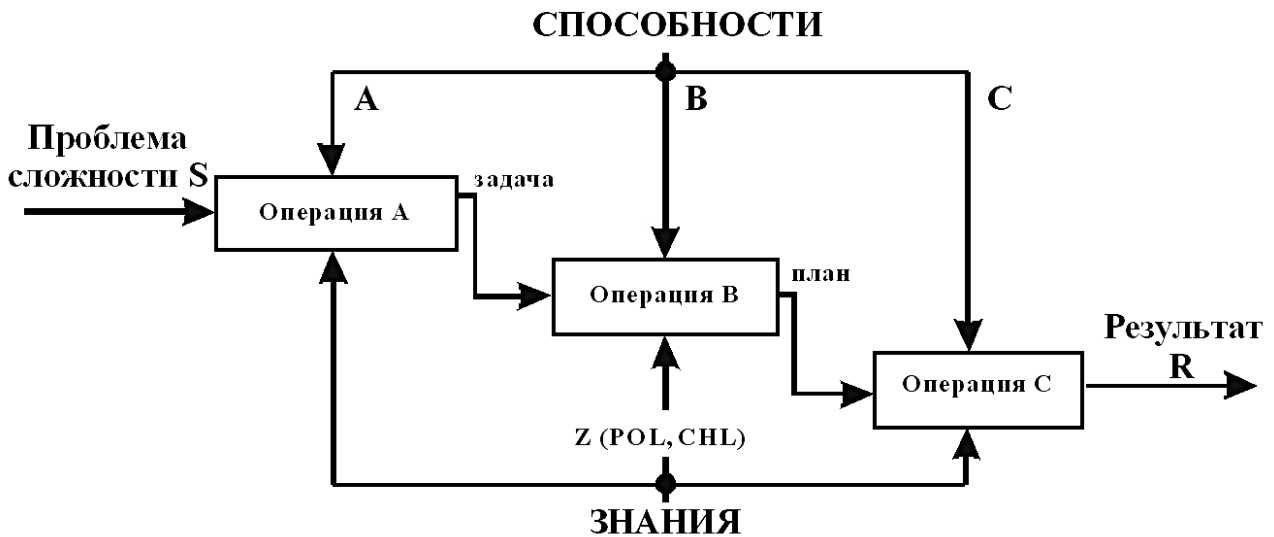


Рис. 1. Функциональная модель решения проблемы человеком

В модели приняты обозначения: через S – величина сложности проблемы; A, B, C – соответственно величины уровней развития формализационных, конструктивных, исполнительских способностей инженера в рамках какой-то компетенции; POL, CHL – величины полноты и целостности усвоенных знаний человека в рамках какой – то компетенции; R – результат решения проблемы (изменяется от неудачного до успешного); Z – величина глубины усвоенных знаний, характеризуемая двумя параметрами POL и CHL .

Модель функционирует следующим образом: через когнитивную сферу человека проблема сложности S преобразуется в успешный результат R с вероятностью $P(усп)$, в зависимости от уровня развития его ABC -способностей и глубины Z его знаний. Поэтому, вероятность $P(усп)$ трансформации проблемы сложности S в успешный результат R формально можно записать как функциональную (стохастическую) зависимость, т.е. $P(усп) = F(A, B, C, POL, CHL, S)$.

Как следует из статистических данных, на качественном уровне можно утверждать, что чем выше уровень развития ABC-способностей человека на фоне его знаний глубиной Z , тем выше вероятность успешного им решения проблемы сложности S . Разумеется, при фиксированных значениях A, B, C, POL, CHL с увеличением сложности S проблемы эта вероятность $P(\text{усп})$ будет уменьшаться. Таким образом, в общем случае можно утверждать, что шанс успешно разрешить проблему конкретным человеком зависит от уровня развития его ABC – способностей, глубины его знаний в области решаемой проблемы и от сложности самой проблемы.

3. Построение квалитетрических шкал для оценки компетентности специалиста. Компетентность инженера, в какой – то области деятельности трактуется как его умение и навыки на базе своих знаний разрешать проблемы до определенной сложности, т.е. имеется некий незримый барьер сложности, преодолев которую он может считаться компетентным. Для кластеризации людей из одной области деятельности, т.е. разделения их на компетентных и некомпетентных инженеров, необходимо построить квалитетрические шкалы. В рассматриваемом случае можно построить две шкалы: пятимерную и трехмерную. Обе эти шкалы строятся исходя из следующей информации: 1. Основываясь на установленную фундаментальную закономерность «решение проблем в три операции». 2. На основе выявленного комплекса параметров $\langle A, B, C, POL, CHL, S \rangle$, определяющего вероятность успешности при разрешении проблем. 3. Опираясь на методику экспертной оценки сложности проблем, которые специалист может (способен) разрешить на практике. 4. Основываясь на результатах тестов на полноту и целостность владения знаниями.

Пятимерная шкала качества владения компетенцией (KBK(5)) представлена на рис.2, а трехмерная шкала качества владения компетенцией (KBK(3)) на рис. 3. Обе эти шкалы построены на пучке векторов.

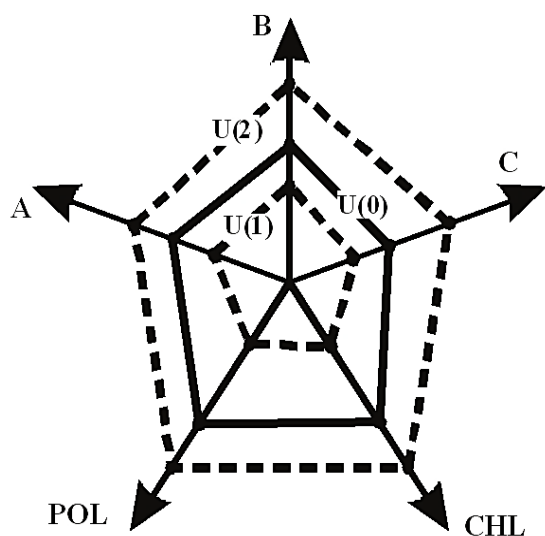


Рис. 2. Шкала KBK(5)

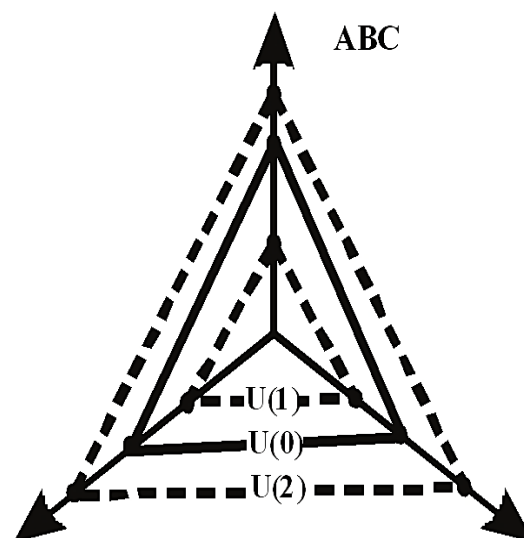


Рис. 3. Шкала KBK(3)

Вектора А, В, С соответственно определяют направления развития формализационных, конструктивных и исполнительских способностей, а вектора POL, CHL характеризуют глубину усвоенных знаний в определенной области деятельности (компетенции). На этих шкалах требуемый барьер сложности (например, исходя из стандарта) определяется экспертом в рамках рассматриваемой компетенции. На рисунках эти экспертные профили обозначены через U(0). Инженеры, профиль которых «больше» (например, профиль U(2) или «близко» к профилю U(0) классифицируются как компетентные.

В реальности эти две шкалы получаются из практических соображений, т.е. как показывает опыт, эксперты часто, исходя из качества выполненных проектов (из прошлых результатов работы инженера) не могут по отдельности оценить уровни развития А-формализационных, В-конструктивных, С-исполнительских способностей специалиста, но могут по сложности их проекта оценить их ABC- способности в совокупности. Это обстоятельство приводит к необходимости использования второй шкалы (KBK(3), в которой ABC-способности инженера оцениваются в комплексе.

4. *Дидактическая инженерия как инновационная методология.* Как уже отмечалось в работе [2; 7; 11; 12; 16], методологию можно рассматривать как науку об организации, ведении и оценки результатов какой-либо деятельности. В этом

контексте дидактическая инженерия, как методология призвана ответить на вопросы: как проектировать эффективные, надежные, самоактуализируемые дидактические системы и технологии, а также поддерживающие их в виртуальном пространстве программное обеспечение. С этой точки зрения (на стратегическом уровне), дидактическую инженерию можно представить как общее руководство по ведению в особом формате совокупности взаимосвязанных работ включающих: анализ, проектирование, конструирование дидактических объектов (учебников, учебных пособий, уроков, реальных и виртуальных учебных курсов, систем диагностики, технологий, методик и т. д.). Эти объекты в комплексе позволяют добиться эффективного результата обучения, используя системно (в интеграции) достижения педагогики, психологии с программной инженерией и информационными технологиями. Следует особо отметить, что именно такая интеграция породила качественно новую методологию, которую называли дидактической инженерией, в рамках которой уже имеется возможность разрабатывать обучающие «умные» системы, т.е. smart- системы. Очевидно, в этом направлении у дидактической инженерии неограниченные возможности для развития. На рис. 4 приводится одна ветвь эволюционной модели развития технологии подготовки инженеров в метрическом компетентностном формате (МКФ).

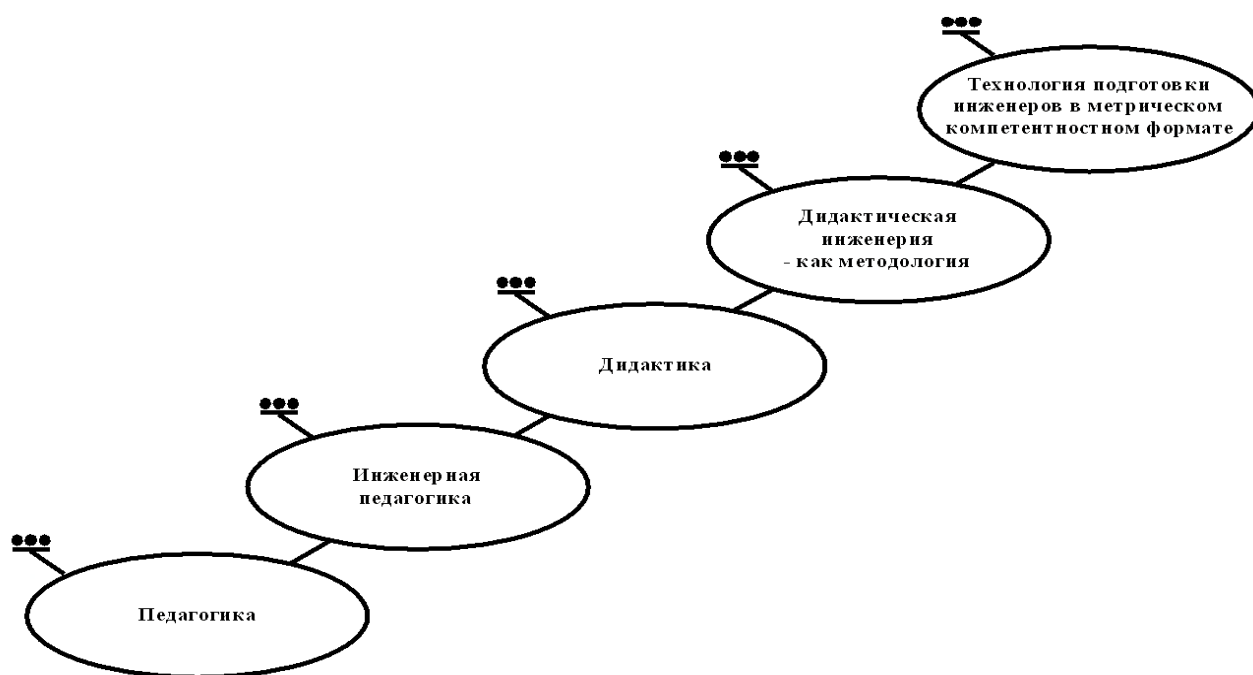


Рис. 4. Ветвь эволюционной модели технологии подготовки в МКФ

5. *Фундаментальные закономерности педагогической психологии и кибернетики: «природосообразное обучение», «зона ближайшего развития», «обучение на высоком уровне трудности», закон Эшби.* Из статистики следует, что современный обучаемый более 50% своего активного времени проводит в виртуальной среде, т.е. мир, как правило, для него уже стал виртуально – реальным в отличие от преподавателя у которого мир более медленно становится виртуальным. Поэтому для обучаемого техногенная образовательная среда (ТОС) стало «родной», как бы уже, природосообразной. Разумеется, чтобы в техногенной среде успешно заниматься деятельностью требуется высокий уровень развития АВС-способностей и обладание глубокими в больших объемах усвоенными знаниями. Очевидно, достичь высокого уровня развития АВС- способностей можно только через интенсивное высокоэффективное обучение, которое студенту (при его желании) может обеспечить: 1) знания; 2) понимание; 3) умения; 4) навыки. На практике, при проектировании таких дидактических систем для быстрой подготовки обучаемых, педагоги сталкиваются с четырьмя фундаментальными закономерностями, которые являются «тормозами» быстрого развития студента через обучение в дидактических системах. Первая закономерность сформулирована в виде принципа Яном Коменским: «Обучение должно быть природосообразным». Вторая фундаментальная закономерность (Л.С. Выготский [5]) гласит, что обучение только тогда хороша, когда проходит впереди развития (обучение через «зону ближайшего развития»). Третья фундаментальная закономерность (Л.В. Занков [14]) утверждает, что наиболее быстрое развитие происходит при «обучении на высоком уровне трудности» и, наконец, закон Эшби (закон необходимости разнообразия [21]), которая гласит, что при создании проблеморазрешающей системы (данном случаи дидактической системы) необходимо, чтобы эта система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать такое разнообразие. Иначе говоря, возможности дидактической системы научить всегда должны быть менее ограничены, чем возможности студента научиться. Можно сказать и по-другому, т.е. возможности

дидактической системы научить всегда должны превосходить возможности студента научиться.

В целом, три первые закономерности «ограничивают» возможную предельную скорость развития обучаемого по его природе. Поэтому, в дидактических системах с «большими» возможностями обучить, на проектном уровне должно быть заложена возможность для каждого обучаемого природосообразное развитие через обучение на собственных предельных режимах.

Следует отметить, что эти первые три закономерности в совокупности также порождают проблему доступности учебного курса по сложности, которая возникает перед каждым обучаемым. В результате в дидактических системах возникает задача синхронизации скорости развития АВС – способностей (на фоне усвоения знаний) студента с темпом его обучения. Разумеется, предельные скорости развития АВС-способностей у каждого обучаемого индивидуальны, также различаются уровни их развития и глубина, усвоенных им знаний. Все это приводит к необходимости проектирования многоуровневых по сложности курсов, развернутых в дидактических системах, работающих в реально-виртуальной среде или так называемых оцифрованных дидактических систем с технологией подготовки в метрическом компетентностном формате.

6. Метрическое пространство учебных проблем на поле компетенций. Рассмотрим множество (ПК-профессиональных, ОК-общекультурных) компетенций, определенных по ФГОС ВПО для подготовки инженеров по конкретному направлению подготовки. Разумеется, на уровне модели не принципиально, что в ФГОС 3+ их уже три: ПК, ОПК, ОК). Построим модель, в которой каждое направление с названием компетенции изображается в виде вектора. В совокупности пучок векторов с центром в точке 0 организует векторное поле компетенций, в целом, определяющих профиль подготовки будущего инженера (рис. 5).

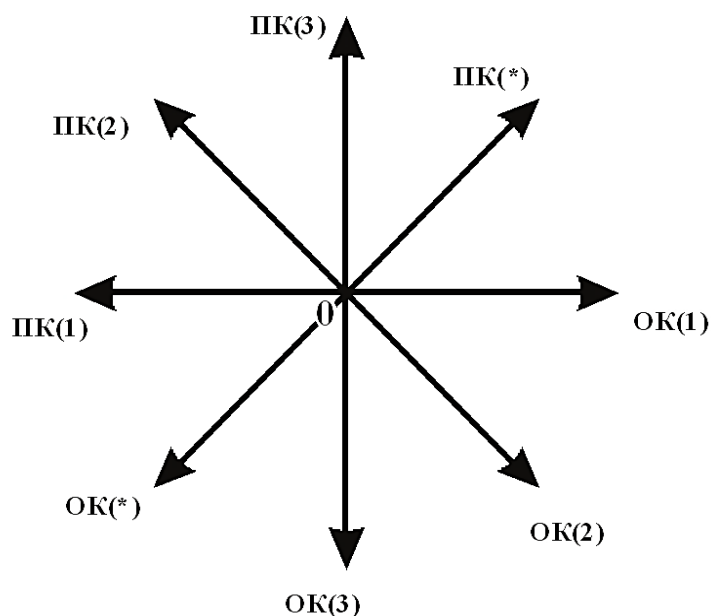


Рис. 5. Модель векторного поля компетенций, определяющих
профиль подготовки инженера

На поле компетенций, рассмотрим множество учебных проблем различной сложности, на основе которых ведется подготовки будущего инженера по освоению каждой компетенции. Расположим это множество учебных проблем на поле компетенций по возрастанию сложности. Причем, чем сложнее проблем, тем она дальше будет находиться от центра. Таким образом, сортированное по возрастанию сложности, множество учебных проблем, построенное на поле компетенций, назовем метрическим пространством учебных проблем (МПУП) специальности. На рис. 6 приводится модель МПУП специальности с выделенными там абстрактными «зонами ближайшего развития (ЗБР)» студента [1; 9; 17].

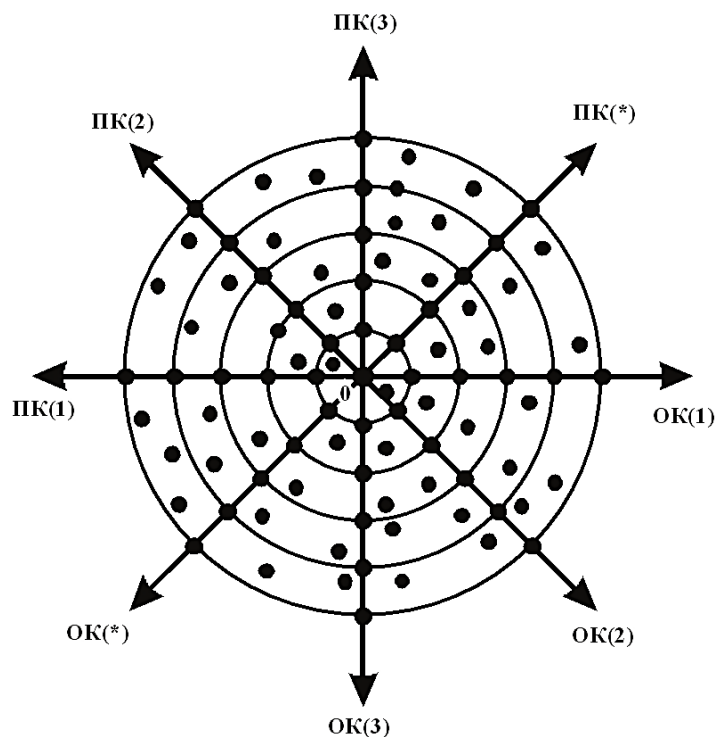


Рис. 6. Модель пространства учебных проблем специальности с выделенными ЗБР

Очевидно, наличие специально организованного МПУП в составе дидактической системы позволяет организовать учебный процесс по технологии подготовки в метрическом компетентностном формате (МКФ) с учетом ЗБР студента. На практике это означает, что в ходе подготовки на актуальный момент времени у каждого специалиста имеется свой профиль достижений в преодолении сложности учебных проблем. На рис. 7 приводятся профили $S1$ и $S2$ достижений студента в ходе его профессионального развития на разные моменты времени. На этом же рисунке, через $S3$ обозначен требуемый абстрактный профиль достижений инженера, который востребован в индустриальной инженерии на сегодняшний день (формируется экспертом). Таким образом, в дидактических системах с технологией подготовки в МКФ задается «порок» достижений (академическая компетентность) которая, свидетельствует о конкурентоспособности инженера на рынке труда.

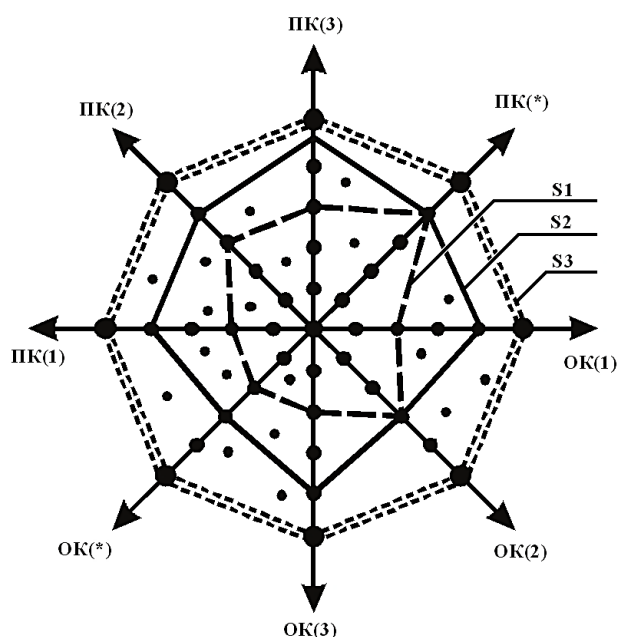


Рис. 7. Профили S1, S2 – характеристики профессиональных достижений студента на поле компетенций, профиль S3 – порог достижения академической компетентности

7. *Экспертная оценка сложности учебных проблем.* В индустрии, инженер предназначен для решения потока профессиональных проблем разной сложности. При этом, каждый инженер оценивает сложность проблемы субъективно через трудность решения им этой проблемы. Это означает, что у каждого инженера в зависимости от уровня его профессионального развития своя субъективная оценка сложности проблемы. Например, некомпетентный инженер несложную проблему из-за недостаточности уровня усвоенных знаний и развитости способностей субъективно может посчитать сложной. В этой ситуации, на практике, возникает необходимость в наиболее объективной оценке сложности проблемы. Накопленный опыт показывает, что сложность проблемы можно оценить (в метриках) трудоемкостью (час/раб) разрешения этой проблемы лучшим специалистом (чемпионом-экспертом).

Как было сказано ранее, из функциональной модели деятельности инженера, при крупномасштабной декомпозиции процесс разрешения проблемы состоит из трех взаимосвязанных операций и соответствующих им трудностей:

1. Операция формализации проблемы, при которой инженер на основе своих знаний и умений (способностей) строит модель проблемной ситуации и далее преобразует проблему в комплекс известных ему задач. Очевидно, на этой операции у него возникает трудность формализации проблемы (А-трудность).

2. Операция конструирования (планирования) решения задач, полученных в результате первой операции. На этой операции из-за недостаточности усвоенных знаний и неразвитости способностей (умений) возникает трудность (В – трудность) планирования решения.

3. Операция исполнения, полученного на предыдущей операции, плана в реальной среде. На этой операции возникает трудность (С-трудность) реализации плана в среде.

Таким образом, в целом, каждый инженер оценивает сложность проблемы субъективно, исходя из совокупности АВС-трудности решения этой проблемы.

Очевидно, на практических и лабораторных занятиях студент не может объективно оценить сложность учебной проблемы, поэтому каждая такая проблема заранее должна быть оценена в (мин/раб) экспертом (преподавателем).

В таблице 1 приводятся примеры представления заданий (учебных проблем) для студентов в дидактических системах с технологией подготовки в метрическом компетентностном формате (МКФ).

Таблица 1

Примеры представления заданий в дидактических
системах с технологией подготовки в МКФ

№ проблемы	Содержание проблемы	А-сложность (мин/раб)	В-сложность (мин/раб)	С-сложность (мин/раб)	Суммарная сложность (мин/раб)
П1	Описание проблемной ситуации	10	15	5	30
П2	Описание проблемной ситуации	15	10	15	40
П3	Описание проблемной ситуации	0	30	20	50

П4	Описание проблемной ситуации	10	0	0	10
----	------------------------------------	----	---	---	----

Для ясности рассмотрим содержательный пример учебной проблемы приведенный в рамках дисциплины «Исследование операций». Проблема П1: пусть в нашем распоряжении находится какой-то запас средств (ресурсов) R , который должен быть распределен между n предприятиями $r(1), r(2), \dots, r(n)$. Каждое из предприятий $r(i)$ при вложении в него каких-то средств x приносит доход, зависящий от x , заданной некоторой неубывающей функцией $f(i, x)$, $i=1, n$. Вопрос? Как распределить средства R между предприятиями, чтобы в сумме они дали максимальный доход.

В целом, проблема может быть решена на основе нескольких методик, но в не зависимости от использования какой-либо методики эксперт решает проблему в три операции:

1. На базе своих знаний и умений эксперт формализует (трансформирует) проблему в математическую задачу (трудоемкость операции формализации проблемы по оценке этого эксперта составляет 10 (мин/раб), т.е. $A=10$ (мин/раб).

2. Также на базе своих знаний и умений эксперт строит план (алгоритм) решения полученной задачи (трудоемкость операции конструирования проблемы эксперт оценивает как 15 (мин/раб), т.е. $B=15$ (мин/раб).

3. Наконец, на базе своих знаний и умений эксперт исполняет алгоритм решения в виртуально-реальной среде, т.е. делает вычисления и получает результат для принятия решения (трудоемкость операции исполнения проблемы эксперт оценивает в 5 (мин/раб), т.е. $C=5$ (мин/раб).

Таким образом, в целом, сложность (АВС-трудность) решения проблемы П1 составляет 30 (мин/раб) эксперта: $A=10$ (мин/раб), $B=15$ (мин/раб), $C=5$ (мин/раб).

8. *Экспертная оценка сложности вопросов теста на полноту и целостность, усвоенных знаний.* Сложность теста (трудоемкость в минутах / работы)

оценивается экспертом, т.е. устанавливается, за сколько минут непрерывной работы эксперт способен ответить на все вопросы теста. В целом, методика оценки следующая:

1. Оценивается трудоемкость ответа эксперта на один вопрос из теста, например, ему требуется 1 (мин/раб).

2. Тест, например, содержит 5 вопросов одинаковой сложности, случайным образом отобранных из базы вопросов, тогда $S(T) = 5$.

3. «Среднестатистическому» студенту для ответа, в целом, на тест требуется в 3 раза больше (мин/раб). Исходя из этого, на тест необходимо отпустить 15 (мин/раб).

Вопросы для оценки качества полноты (параметр POL) усвоенных знаний, это вопросы рода: «я знаю что ...». Эти вопросы предназначены для проверки знаний типа: данных, фактов, определений, свойств объекта и т. д.. в рамках предметной области. Например, вопросы на полноту усвоенных знаний в предметной области «Исследование операций» выглядят так:

1. Какие переменные в задачах динамического программирования называются фазовыми

а) переменные, которые могут не зависеть от времени;

*b) переменные, которые в каждый момент времени определяют состояние динамического процесса;

с) переменные, не зависящие от управляющих переменных.

2. Выберите верное утверждение:

а) фазовые переменные могут принимать только положительные значения;

*b) фазовые переменные зависят от времени;

*с) фазовые переменные зависят от выбора управления;

d) число фазовых переменных не может быть больше числа управлений.

3. Что такое траектория динамического процесса?

*а) значения фазовых переменных, зафиксированные в следующие друг за другом моменты времени;

б) значения фазовых переменных и управлений, зафиксированные в следующие друг за другом моменты времени;

с) значения целевой функции задачи динамического программирования, зафиксированные в следующие друг за другом моменты времени.

Вопросы для оценки качества целостности (CHL) усвоенных знаний – вопросы рода: «я знаю как...», т.е. этими вопросами проверяются умения студента использовать знания в деятельности.

1. Как правильно записывается условие «шаговости» динамического процесса?

$$*a) x^k = \varphi_{k-1}(x^{k-1}, u^{k-1}), k = \overline{1, n};$$

$$b) \varphi_k(x^k) = \varphi_{k-1}(x^{k-1}, u^{k-1}), k = \overline{1, n};$$

$$c) \varphi_k(x^k) = (x^{k-1}, u^{k-1}), k = \overline{1, n}.$$

2. Какие из перечисленных функций являются аддитивными?

$$f(x) = 2x_1 + \sin^2 x_2 + x_3^5; \quad g(x) = \frac{\ln x_1 \cdot x_2}{\operatorname{tg} x_3} - x_1 e^{x_2};$$

$$h(x) = x_1 - \sqrt{x_2} + 7^{x_3}$$

a) только функция $f(x)$;

*b) функции $f(x)$ и $h(x)$;

с) ни одна из указанных функций не аддитивна;

d) все приведенные функции аддитивны.

3. Должна ли функция, являющаяся решением задачи динамического программирования, достигать максимальных значений в каждой точке оптимальной траектории?

*a) нет;

b) да;

с) только в том случае, когда управляющие воздействия являются явными функциями времени.

9. *Техника оценки глубины усвоенных знаний студента.* Как следует из функциональной модели инженера (см. рис. 1) знания при решении проблем играют роль механизма, т.е. по модели вход (проблема сложности S) преобразуется человеком в выход (в результат) под управлением его АВС- способностей с помощью его механизма (знаний). Очевидно, что как любой функционирующий в природе механизм знания должны обладать свойствами полноты и целостности. Это на практике означает, что АВС-способности инженера реализуются, как умения решать проблемы только в случае, когда инженер обладает знаниями в их полноте и целостности одновременно. Разумеется, знания и умения инженера между собой коррелированы. Из статистических данных следует [8], что в принципе, можно оценить умения инженера по его знаниям (например, по результатам традиционного теста), но только тогда, когда речь идет о решении несложных проблем. Оценить же умения инженера разрешат сложные проблемы возможно, только через оценку глубины его знаний. Глубина (характеризующий параметр Z) знаний инженера вычисляется как произведение значений. $Z = POL * CHL$. Разумеется, что значения параметров POL и CHL находятся в интервале от 0 до 1. При этом, коэффициент корреляции (K) между «умениями» и «глубиной знаний» можно рассматривать как показатель надежности оценки его «умений». Поэтому, в принципе, можно предсказать, что инженер владеет компетенцией с показателем качества Z (результаты тестирования на полноту и целостность) с надежностью K . Из статистики следует, что в среднем $K = 0,86$ [8]. Приведем пример (см. пункт 8), допустим, студент из трех вопросов на полноту ответил правильно на два вопроса, т.е. параметр $POL = 2/3 = 0,75$, а на целостность владения знаниями из трех вопросов ответил правильно на 1 вопрос, т.е. параметр $CHL = 1/3 = 0,33$. Таким образом, значение параметра глубины знаний $Z = POL * CHL = 0,75 * 0,33 = 0,248$ с надежностью 0,86.

10. *Проектирование оцифрованных дидактических систем.* Очевидно, что для быстрого развития через эффективный процесс природосообразного обучения с учетом фундаментальных закономерностей необходимы дидактические си-

стемы нового поколения, т.е. оцифрованные дидактические системы с технологиями подготовки в метрическом компетентностном формате, развернутые Web сети и параллельно представленные на бумажном носителе [15].

В целом, на концептуальном уровне, эти системы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Соблюдать условия образовательного стандарта.

2. В рамках осваиваемой компетенции, система должна обеспечить быстрый прирост (в числовых метриках) значений параметров A, B, C, POL, CHL (см. рис. 2) с начального состояния, например, профиль U(2) до профиля U(1), где профиль U(0) – экспертная оценка требуемого состояния академической компетентности обучаемого.

3. В ТОС (техногенная образовательная среда) дидактическая система должна обеспечить индивидуальную траекторию подготовки каждому, т.е. необходимо исключить возможность прямого переписывания, т.к. по сети это очень просто сделать.

4. Должна быть многоуровневой по сложности для обеспечения быстрого развития обучаемого через его «зоны ближайшего развития», т.е. без «топтания» на одном месте и «забегания» лишнего вперед по сложности. Как показывает практика, это увеличивает темп развития от 20 до 40 процентов.

5. Должна содержать подробные инструкции (в алгоритмическом формате для каждого раздела курса) по организации учебной деятельности студента. Это обязательно необходимо, чтобы обучаемый самоорганизовался к работе Web сети без преподавателя.

6. Должна содержать графическую интерпретацию (диаграммы) состояния развития студента по комплексу параметров A, B, C, POL, CHL для каждого раздела, в частности, и для курса, в целом в метрическом формате. Как показывает практика, это требование (на психологическом уровне) переводит обучаемого в осознанное состояние соучастия в образовательном процессе.

7. Методики диагностики качества освоенной компетенции (в рамках курса) должны дать объективные, надежные, точные оценки академической компетентности студента, в метрическом (числовом) компетентностном формате. Следует отметить, что любая неточная, необъективная оценка «тормозит» темп развития и, как правило, выводит обучаемого из состояния эмоционального равновесия.

8. Система должна функционировать как в автоматическом (для самоподготовки), так и в автоматизированном (для подготовки с педагогом, тьютером, репетитором) режимах работы. В целом, эта возможность предоставляет педагогу организовать эффективную самостоятельную работу.

9. Как показывает опыт, для увеличения показателя эффективности учебный курс, поддерживающий процесс освоения какой – то компетенции, должен быть издан как учебное пособие на бумажном носителе и одновременно развернут Web сети как библиотека электронных курсов подготовки [15].

10. Дидактическая система как инструмент обучения должна быть развивающимся (саморазвивающимся) объектом согласно закону Эшби (закон необходимости разнообразия).

На рис. 8 приводится обобщенная модель дидактической системы, построенная в стиле SADT, которая может удовлетворить всем требованиям 1 – 10.

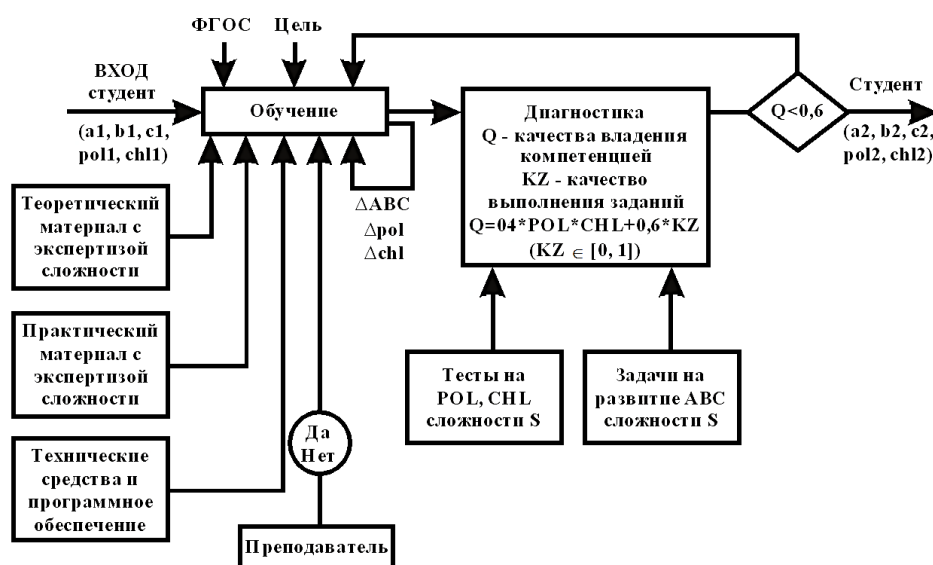


Рис. 8. Модель организации дидактической системы

На проектном уровне реализация требований к системе происходит следующим образом:

1. Организуются учебные курсы, с компетенциями согласно стандарту. Проводится экспертиза их полноты, целостности, сложности. По результатам принимается решение по количеству уровней сложностей в курсе, необходимому стилю представления материала. Оценивается минимально допустимый профиль (параметры ABC, POL, CHL) при котором студент считается академически компетентным, т.е. эксперт (например, преподаватель) определяет значения параметров в шкале качества владения компетенцией $A = a(0), b(0), c(0), pol(0), chl(0)$. Пример, как это делать реализован в работах [6, 13].

2. Идентифицируются параметры, характеризующие цель подготовки, т.е. определяются значения A, B, C, POL, CHL. Согласно цели они должны быть выше экспертных оценок, т.е. значения параметров a, b, c, pol, chl обучаемого по окончании курса должно быть выше экспертных, т.е. $a \geq a(0), b \geq b(0), c \geq c(0), pol \geq pol(0), chl \geq chl(0)$. Следует отметить, что в этих дидактических системах процесс развития через обучение становится полностью управляемым. Перед педагогом в формализованном виде возникает задача оптимального параметрического управления. Разумеется, педагог будет решать эту задачу, исходя из данных шкалы KBK(5) или KBK(3) и своих наблюдений, а также опыта, но можно поручить решение этой задачи искусственному интеллекту с принятием решений и выработкой рекомендаций, как педагогу, так и обучаемому.

В целом, умение обучаемого разрешать проблемы из какой-то предметной области можно рассматривать как реализация его ABC – способностей на фоне его знаний. Поэтому знания и умения между собой зависимы. На практике установлено [8; 10], что когда речь идет об умение решать несложные проблемы, то зависимость между ними почти линейная, т.е. коэффициент корреляции близка к единице. Поэтому можно судить об умении обучаемого разрешать несложные проблемы исходя из оценки качества его знаний, т.е. из результатов его ответов на тест. В тоже время, по мере роста сложности проблем, коэффициент корреляции между знаниями обучаемого и его умениями резко уменьшается, и судить

об умении его по результатам традиционного теста становится, ненадежным способом. Как следует из статистики, эту проблему оценки качества умений в зависимости от результатов оценки качества знаний (результатов теста) принципиально можно решить, но только тест в этом случае должен быть построен на другой процедуре проверки знаний, т.е. оценка знаний должна проходить по технике «жесткий» тест [20], идея которого состоит в следующем:

1) в рамках, например, учебного курса создаются две базы вопросов (База 1, База 2), которые позволяют диагностировать наличие знаний обучаемого с позиции их полноты (параметр POL) и целостности (параметр CHL). База 1 содержит вопросы, позволяющие проверить его знания: фактов, понятий, определений и т. д. База 2 содержит вопросы, которые позволяют проверить его знания методологии (связей, способов, методов, методик, технологий);

2) тестируемый обучаемый отвечает на вопросы из Базы 1, что позволяет установить значение параметра $POL = pol$, например, ему было задано 10 вопросов одной сложности, и он на 7 из них ответил правильно. Показатель $POL = 0,7 \in [0,1]$;

3) тестируемый обучаемый отвечает на вопросы из Базы 2, что позволяет установить значение параметра $CHL = chl$, например, тестируемый из 10 вопросов ответил правильно на 8, т.е. $CHL = 0,8 \in [0,1]$;

4) вычисляется значение Q – оценки качества владения компетенцией. $Q = POL \times CHL$, например, $Q = 0,7 \times 0,8 = 0,56 \in [0,1]$. Из проведенного ранее корреляционного анализа следует, что в этом случае по результатам теста можно утверждать, что обучаемый владеет компетенцией с показателем качества $Q = 0,56$, т.е он владеет компетенцией на 56% с надежностью не менее 0,85. Обоснование и расчет коэффициента корреляции (надежности) приводится в работе [8].

3. Студенту обеспечивается индивидуальная траектория развития за счет вариаций заданий и случайному формированию комплекса тестовых вопросов. Индивидуальность заданий осуществляется через организацию специальной базы заданий, структура которой показана на рис. 9.

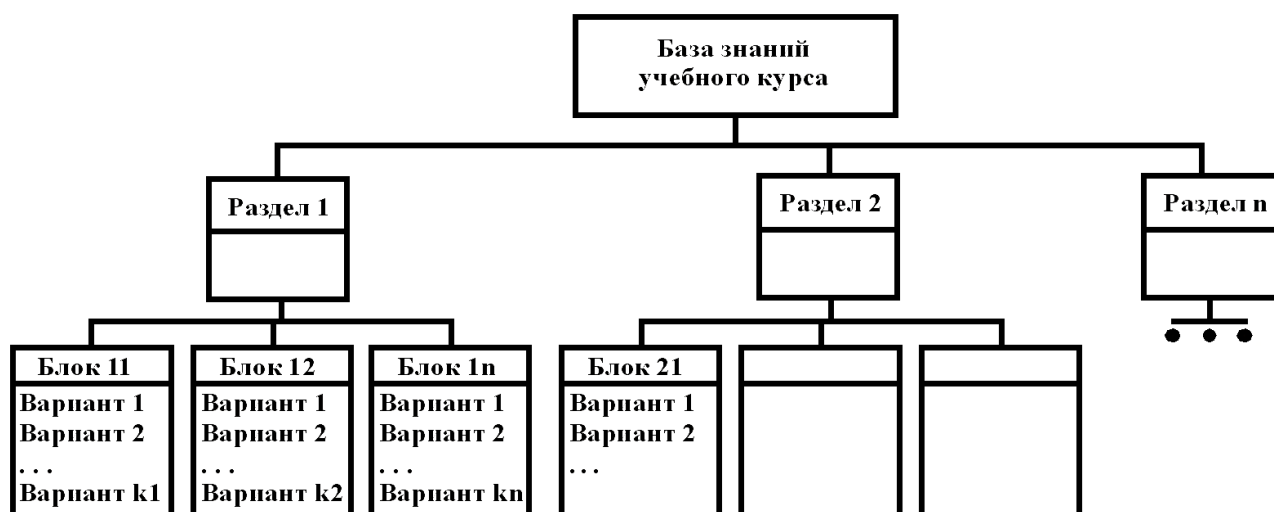


Рис. 9. Структура организации индивидуальной базы заданий

Разумеется, в потоке (классе) обучаемых может быть гораздо больше, чем вариантов заданий, поэтому индивидуализация организуется так. Вариант (FAM) = $N \bmod k$, где FAM - фамилия, N – его регистрационный в Web системе номер, k – количество вариантов задач в блоке. Стоит подчеркнуть, что база заданий является одним из главных по значимости объектов системы, т.к. она, в основном, определяет темп развития обучаемого. Задания должны соответствовать и точно «ловить» «зоны ближайшего развития» обучаемого. Без преувеличения можно сказать, что созданные эффективные базы заданий по учебным курсам необходимо патентовать или хотя бы официально регистрировать с выдачей авторского сертификата. Более подробно методики организации базы заданий описаны в работах [4; 19].

4. В зависимости от сложности учебного материала, установленного экспертами, курс делится на m уровней сложности. На рис. 10 приводится пример структуры разделенного курса, который имеет 2 уровня сложности и состоит из 4 разделов.

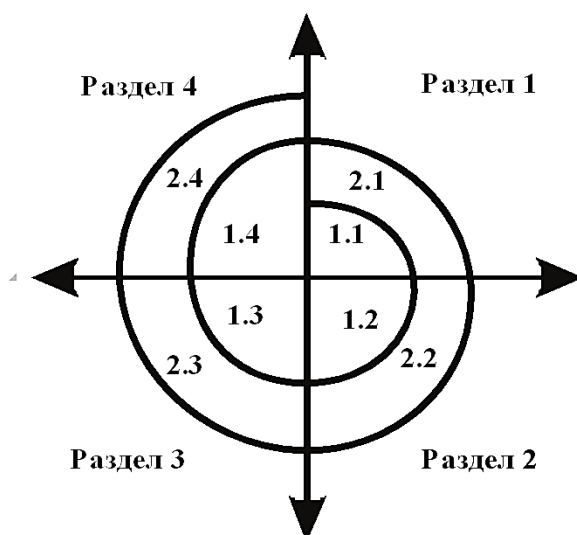


Рис. 10. Структура организации многоуровневого учебного курса

На этом рисунке, учебный материал с индексами 1.1–1.4 представляет собой первый уровень по сложности, осваиваемого материала, а второй уровень проиндексирован номерами 2.1–2.4.

Развитие АВС-способностей и усвоения знаний обучаемым происходит по спирали от уровня к уровню через «зоны ближайшего развития», что в целом, при правильной организации базы заданий обеспечивает его быстрое развитие в рамках учебного курса.

5. Инструкция студенту для быстрого освоения учебного материала представляется в алгоритмическом виде. В качестве примера рассмотрим учебный курс «Исследование операций», который предназначен для того, чтобы обучаемый освоил компетенцию: «уметь решать проблемы (задачи) оптимального планирования с использованием математических методов и типовых моделей». Курс состоит из 6 разделов. В начале каждого раздела в формате алгоритма предложена инструкция организации учебной деятельности. На рис. 11 приводится эта инструкция, для быстрого освоения раздела 5 «Динамического программирования».

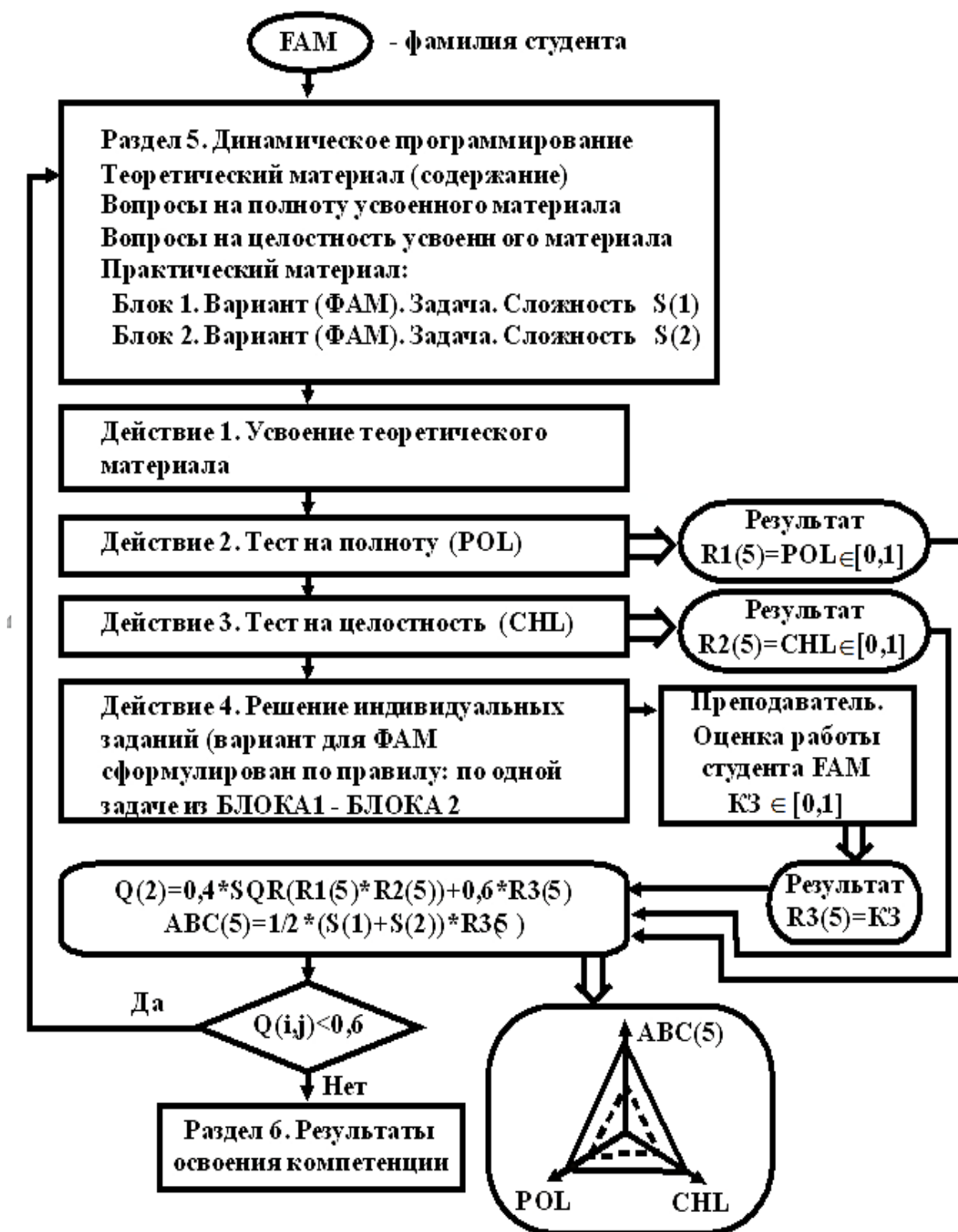


Рис. 11. Схема организации подготовки

6. Требование с номером 6 удовлетворяется следующим образом (рис. 11): допустим, обучаемый освоил компетенцию в рамках раздела 5, т.е. значение величины Q – качество владения компетенцией больше 60%, тогда уровень развития ABC-способностей обучаемого, считается по формуле

$$ABC(5) = 0,5 \cdot (S(1) + S(2)) \cdot K3(5),$$

где через $S(1)$, $S(2)$ – обозначены соответственно сложности решенных обучаемым задач, а $K3(5)$ – качество их решения по оценке преподавателя.

При этом, значения результатов тестирования на полноту (POL) и целостность (CHL) усвоенного теоретического материала, т.е. значения $R1(5)$ и $R2(5)$ вычисляются автоматизированным способом. В целом, на основе всех результатов строится диаграмма (рис. 12) состояния развития студента в рамках раздела 5.

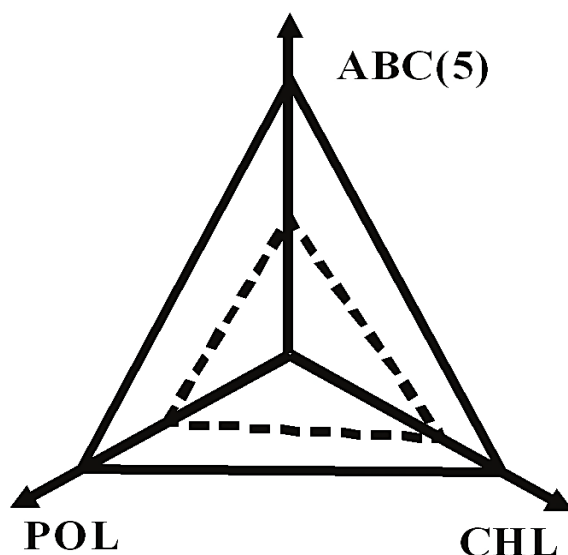


Рис. 12. Диаграмма «достижений» студента

На диаграмме через штриховой профиль изображено состояние реальных достижений обучаемого по параметрам ABC, POL, CHL, а сплошной профиль характеризует потенциал курса в разделе 5.

7. Как следует из функциональной модели решения проблем человеком (рис. 1 требование 7) знания при решении проблем играют роль механизма и как любой функционирующий в природе механизм они должны обладать свойствами полноты и целостности. Это на практике означает, что ABC-способности обучаемого реализуются, как умения решать проблемы только в случае, когда он

обладает знаниями в их полноте и целостности одновременно. Разумеется, знания и умения инженера между собой коррелированы. Как уже было сказано, из статистических данных следует [8], что в принципе возможно оценить умения обучаемого по его знаниям (например, по результатам традиционного теста), но только тогда, когда речь идет о решении несложных проблем. Оценить же умения обучаемого разрешать сложные проблемы возможно, только через оценку глубины его знаний. Глубина (параметр Z) знаний инженера вычисляется как произведение значений. $Z = POL * CHL$. При этом, коэффициент корреляции (K) между «умениями» и «глубиной знаний» можно рассматривать как показатель надежности оценки его «умений». Поэтому, в принципе, можно предсказать, что обучаемый владеет компетенцией в академическом смысле с показателем качества Z (результаты тестирования на полноту и целостность) с надежностью K [8].

8. В модели (через переключатель) заложена возможность функционирования системы в двух режимах «да/нет» (рис. 8). Первый режим (без преподавателя), т.е. обучаемый усваивает теоретический материал, проходит тест на полноту и целостность, затем выполняет индивидуальные задания и, если у него $Q = POL * CHL$ – показатель качества владения компетенцией (в рамках раздела) выше чем 0,6 (60%), то он переходит осваивать следующий раздел. Второй режим (с преподавателем) – тоже самое, что первый, только преподаватель оценивает качество выполненных работ (см. рис. 8 значение $K3$) с учетом которого (автоматически) оценивается качество владения компетенцией по формуле $Q = 0,4 * POL * CHL + 0,6K3$.

В целом, модель организации учебного курса, состоящего из 5 разделов с технологиями обучения и диагностики системы подготовки в метрическом компетентностном формате, приводится на рис. 13.

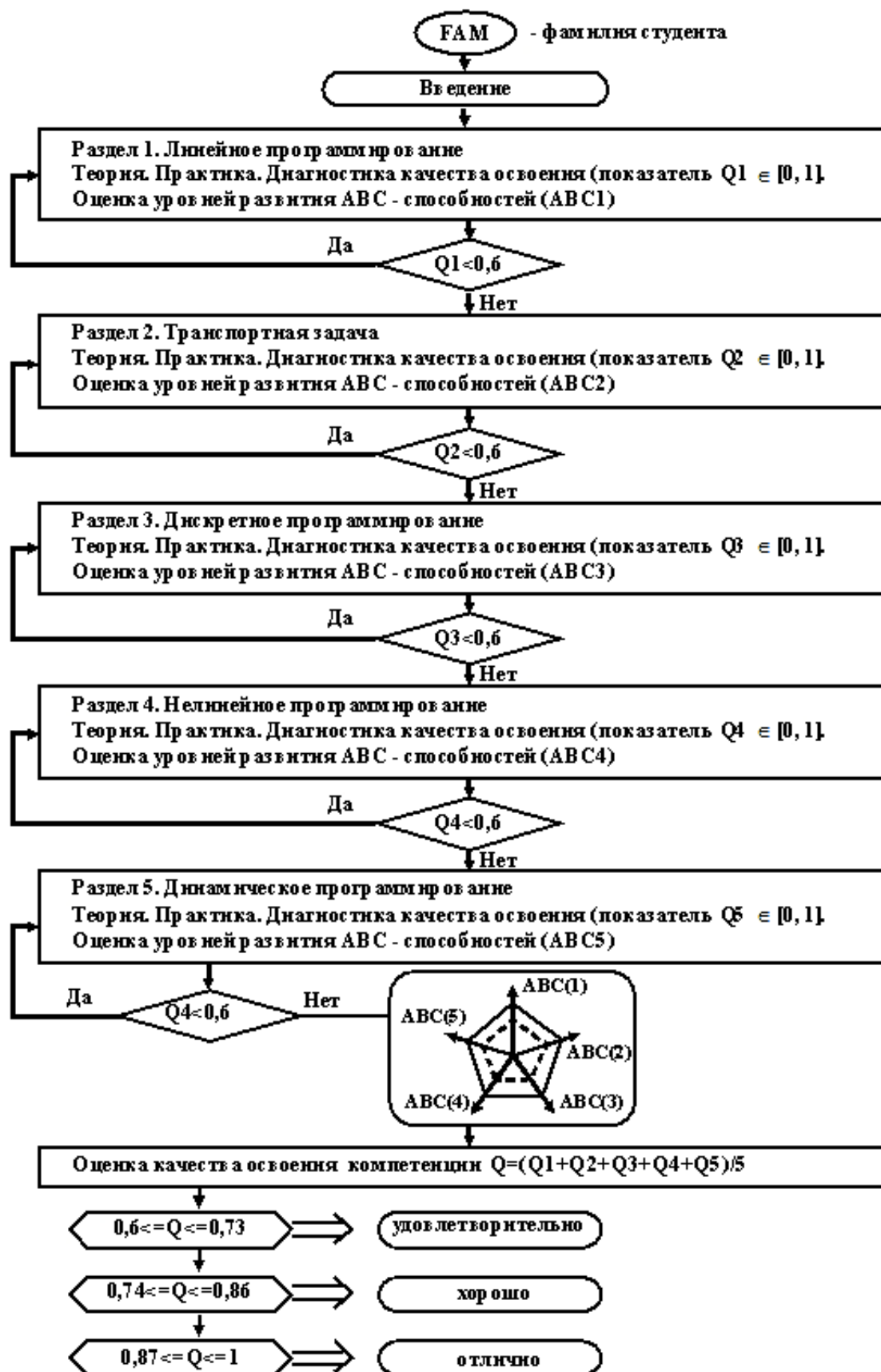


Рис. 13. Структура организации курса,
технологии обучения и формирования результатов

Список литературы

1. Nuriev N.K. Designing of the software web component of the didactic systems of the engineering education / N.K. Nuriev, A.N. Nuriev // International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). – 2013. – P. 354–358.
2. Nuriev N.K. Didactic system of the intellectual-active development of the engineers / N.K. Nuriev, S.D. Starygna // The 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation. – M.: PFUR, 2011. – P.445.
3. Nuriev N.K. New didactic systems of the engineering education / N.K. Nuriev, S.D. Starygna // International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). – 2013. – P. 345–350.
4. Барон Л.А. Численные методы для IT инженеров: учебное пособие для вузов / Л.А. Барон, Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина. – Казань: Центр инновационных технологий, 2012. – 176 с.
5. Выготский Л.С. Педагогическая психология / Л.С. Выготский. – М.: Педагогика, 1991. – С. 386.
6. Гарифьянов Н.Ф. Дидактическая инженерия: практика реализации / Н.Ф. Гарифьянов, Н.К. Нуриев // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Education Technology & Society)» (<http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>). – 2016. – V. 19. – #4. – С. 385–396.
7. Крылов Д.А. Дидактическая инженерия как методология техногенной образовательной среды / Д.А. Крылов, Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина // Евразийский союз ученых (ЕСУ). – 2015. – №7 (16). – Ч. 4. – С. 62–64.
8. Нуриев Н.К. Алгоритм оценки качества владения компетенцией на основе показателя глубины усвоенных знаний / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина, Д.А. Ахметшин // Альма-Матер. – 2015. – №11. – С. 64–67.
9. Нуриев Н.К. Дидактическая инженерия: проектирование систем обучения нового поколения / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина., Э.А. Гибадуллина // Интеграция образования. – 2016. – Т. 20. – №3 (84). – С. 393–406.

10. Нуриев Н.К. Дидактическая инженерия: технология подготовки IT-инженеров в техногенной среде / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина // Альма-Матер (Вестник высшей школы) – 2016. – №11. – С. 64–67.

11. Нуриев Н.К. Методология проектирования дидактических систем нового поколения / Н.К.Нуриев, Л.Н. Журбенко, Р.Ф. Шакиров, Э.Р. Хайруллина, С.Д. Старыгина, А.Р. Абуталипов. – Казань, Центр инновационных технологий, 2009. – 456 с.

12. Нуриев Н.К. Проектирование smart -системы для поддержки обучения «двойной диплом» / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2012. – №19. – С.253–257.

13. Нуриев Н.К. Структура и содержание виртуального кабинета по дисциплине «Вычислительная математика» / Н.К. Нуриев, Е.В. Пашукова // Новые технологии в образовании. – 2009. – №3. – С. 84–88.

14. Обучение и развитие / Под ред. Л.В. Занкова – М.: Педагогика, 1975.

15. Печеный Е.А. Экономико-математические модели в управлении (подготовка IT – инженеров в метрическом компетентностном формате): Учеб. пособие / Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина. – Казань: Центр инновационных технологий, 2016. – 224 с.

16. Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия как методология организации подготовки в реально-виртуальной среде / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Образовательные технологии. – 2016. – №2. – С. 27–34.

17. Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия: проектирование систем нового поколения / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Образовательные технологии. – 2016. – №3. – С. 23–34.

18. Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия: проектирование ЭОР для подготовки инженеров в метрическом компетентностном формате / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Education Technology & Society)» (<http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>). – 2016. – V. 19. – №1. – С. 567–577.

19. Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия: технология подготовки / С.Д. Старыгина, Э.А. Гибадуллина // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Education Technology & Society)» (<http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>). – 2016. – V. 19. – №4. – С. 412–420.
20. Старыгина С.Д. Исследование операций: математическое программирование: Учеб. пособие / Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев. – Казань: Отечество, 2016. – 296 с.
21. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: КомКнига, 2006.
-

Старыгина Светлана Дмитриевна – канд. пед. наук, доцент кафедры информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Россия, Казань.

Нуриев Наиль Кашапович – д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Россия, Казань.
