

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.9 +378.4

РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Статья поступила в редакцию 06.02.2020, в окончательной варианте – 09.05.2020.

Старыгина Светлана Дмитриевна, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, кандидат педагогических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3401-6452>, РИНЦ AuthorID 237000, e-mail: svetacd_kazan@mail.ru

Нуриев Наиль Кашипович, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9557-5493>, РИНЦ AuthorID 527783, e-mail: nurievnk@mail.ru

Печеный Евгений Абрамович, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, кандидат технических наук, доцент, РИНЦ AuthorID 408103, e-mail: platova51@mail.ru

В работе показано, что в связи с информационной глобализацией пространство жизнедеятельности человека с двумя степенями свободы постепенно преобразовалось в пространство с тремя степенями свободы. Это привело к самозарождению общества нового типа с «цифровой экономикой» и, как следствие, к необходимости проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. Такие системы проектируются на основе инженерного подхода в рамках «дидактической инженерии» как современной методологии организации деятельности по решению педагогических (дидактических) проблем в цифровом формате. Подчеркнуто, что «цифровое» решение педагогических проблем осуществляется на основе системного анализа и метода поэтапного моделирования синхронно с динамикой изменения экономических систем. В статье обосновано, что на базе вербально-знаковых методологических моделей «дидактики» («проблемного обучения», «развивающего обучения», «контекстного обучения»), а также специально построенных моделей, может быть разработана методологическая модель-платформа для проектирования класса автоматизированных, SMART, киберфизических дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Ключевые слова: цифровые технологии, дидактическая инженерия, методология, временные ряды, псевдофазовое пространство жизнедеятельности

PLATFORM DEVELOPMENT FOR THE DESIGN OF EDUCATIONAL SYSTEMS WITH DIGITAL TECHNOLOGIES

The article was received by the editorial board on 06.02.2020, in the final version – 09.05.2020.

Starygina Svetlana D., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Cand. Sci (Pedagogy), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3401-6452>, RISC AuthorID 237000, e-mail: svetacd_kazan@mail.ru

Nuriev Nail K., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Doct. Sci. (Pedagogy), Cand. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9557-5493>, RISC AuthorID 527783, e-mail: nurievnk@mail.ru

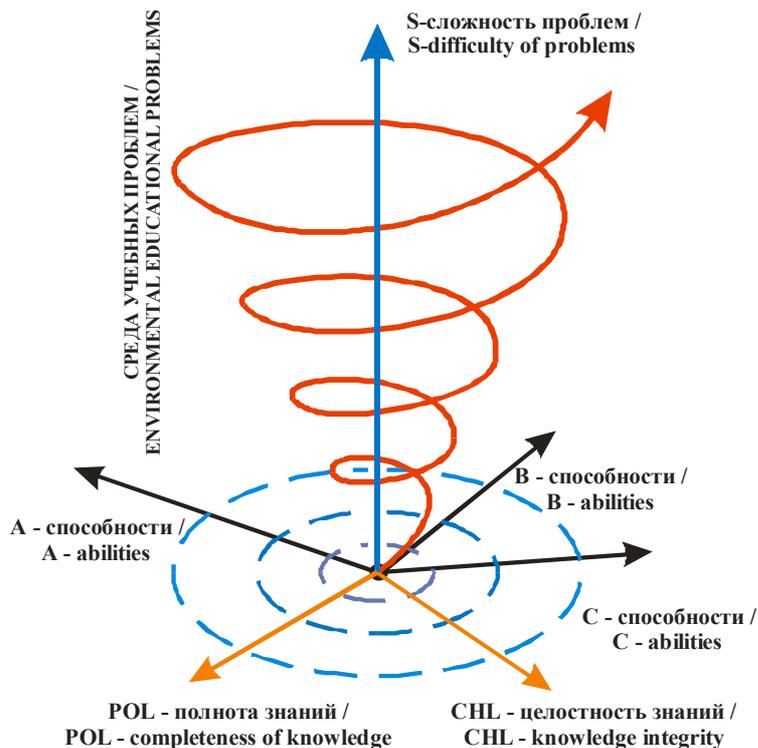
Pecheny Eugene A., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, RISC AuthorID 408103, e-mail: platova51@mail.ru

The paper shows that due to information globalization, the space of human activity with two degrees of freedom has been transformed into a space with three degrees of freedom. This led to the self-emergence of a new type of society with a "digital economy" and, as a result, to the need to design a new generation of didactic systems with digital technologies. It is also shown that didactic systems of a new generation are designed on the basis of an engineering approach within the framework of "didactic engineering" as a modern methodology for organizing activities

to solve pedagogical (didactic) problems in a digital format. It is shown that the "digital" solution of pedagogical problems occurs on the basis of system analysis and the method of step-by-step modeling, synchronously with the dynamics of changes in economic systems. In the article, on the basis of verbal-iconic methodological models of "Didactics": "problem based learning", "developmental learning", "contextual learning" and specially designed digital models and the formal principles and basic laws of learning developed a methodological model for design class automated, smart, cyber-physical didactic systems of a new generation of digital technology.

Keywords: digital technologies, didactic engineering, methodology, time series, pseudophase space of life

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Все образовательные системы независимо от последовательности смены эпох преследуют одну и ту же цель – обеспечить необходимые знания и навыки деятельности населения с учетом объективно существующих ограничений на допустимые затраты средств и времени. Эта цель порождает основную педагогическую проблему, которую можно сформулировать так: как быстро научить людей эффективно решать проблемы своего времени. Разумеется, эта проблема при переходе от одной эпохи к другой, как правило, сильно усложняется пропорционально скорости развития экономики. Следует отметить, что образовательные системы разных стран обучают решать актуальные проблемы с разным успехом. В результате экономики некоторых стран начинают доминировать – за счет лучшей подготовленности кадров, научных достижений, высокой культуры организации труда, автоматизации производства. Такое доминирование может иметь место даже при отсутствии благоприятных природных условий, запасов полезных ископаемых и пр. В свою очередь, это ведет к повышению уровня жизни населения и процветанию государств в целом. Поэтому со стратегической точки зрения можно утверждать, что эффективные образовательные системы являются одним из главных компонент механизма, «толкающего вперед» развитие цивилизации в целом и отдельных стран в частности.

Развитие постиндустриальной экономики с ее информационной глобализацией привели к тому, что пространство жизнедеятельности людей с двумя степенями свободы (когнитивная сфера, реальная среда) преобразовалось в пространство жизнедеятельности с тремя степенями свободы (дополнительно появилась виртуальная среда). Таким образом, стало возможным рассматривать виртуальную среду как организованное человеком средство производства и образования с цифровыми технологиями. В результате этого появились системы с новыми свойствами, основанными на технических средствах с программным обеспечением, связанные Web-коммуникациями и «искусственным интеллектом». Эти системы проникли во все сферы жизни как «интернет вещей» из техносферы, начали интенсивно внедряться через образовательные системы в быт и экономику как самостоятельные элементы. За рубежом «умные» объекты и «интернет вещей» коротко

назвали SMART-системами. Результаты их интеграции между собой и с человеческим разумом в пространстве жизнедеятельности с тремя степенями свободы назвали киберфизическими системами. В результате в этом пространстве жизнедеятельности сформировалась «цифровая постиндустриальная экономика» с большим потенциалом возможностей роста производительности труда. Это в целом увеличило показатели валового внутреннего продукта, а также «темпа жизни» общества. Все эти причины в совокупности потребовали от человека нового уровня «образованности», т.е. высокого уровня развития способностей и качества сформированности его знаний. Очевидно, что такие глобальные изменения в пространстве жизнедеятельности людей вызвали необходимость в создании дидактических систем нового поколения. Поэтому целью рассматриваемого исследования является: разработка методологической модели-платформы для проектирования «умных» автоматизированных дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. При этом предполагается, что в среде этих систем можно будет быстро учить людей решать сложные проблемы в пространстве жизнедеятельности с «цифровой экономикой».

Решение педагогических проблем инженерными методами как причина и следствие экономического развития. Любая проблема воспринимается человеком как временно существующая проблемная ситуация. В силу разных причин он часто бывает нацелен оказать воздействие на эту проблемную ситуацию, т.е. целенаправленно ее изменить. Например, может возникнуть проблема, когда человек хочет что-то узнать, купить, построить, преобразовать, управлять каким-то объектом и т.д. На практике для решения проблемы, т.е. для достижения поставленной цели, у человека, как правило, на актуальный момент не хватает каких-то ресурсов. В первую очередь, может не доставать внутренних ресурсов. Под ними мы будем понимать тем или иным образом оцененные его знания, способности, волю, мотивы и т.д. Во-вторых, для решения проблемы может не хватать внешних ресурсов (временных, материальных, информационных, социальных и т.д.). Возможны и варианты, когда ресурсов первого и второго типа может не хватать одновременно и в разных сочетаниях. Очевидно, если ресурсов достаточно (или почти достаточно), то проблема формализуется в когнитивной сфере человека и через ее конкретизацию вырождается в комплекс задач конструирования планов (алгоритмов) решения этой проблемы. Затем в результате планомерной деятельности с использованием имеющихся ресурсов достигается цель, т.е. человек получает решение проблемы. Разумеется, чем сложнее проблема, тем для ее решения человеку понадобится потратить больше ресурсов. Поэтому человек по своей природе всегда нацелен на увеличение своих внутренних и внешних ресурсов, так как при наличии больших ресурсов он сможет решать более сложные проблемы. В то же время, какими бы большими ресурсами человек не обладал, всегда может появиться проблема такой сложности, что у него для ее решения не хватит ресурсов. Поэтому в принципе можно утверждать, что сложность проблемы и ресурсы человека всегда соизмеримы в его пространстве жизнедеятельности. Из истории развития живых организмов (особенно высокоразвитых) следует, что человек может быстро дополнить внутренние ресурсы через специально организованное обучение. Причем, чем эффективнее организовано обучение, тем быстрее дополняются его ресурсы. Исходя из этого, в разные эпохи неизменно возникает одна и та же потребность в организации быстрого и качественного обучения. Это, в свою очередь, порождает основную педагогическую проблему: «требуется разработать эффективную (у каждой эпохи – свои критерии эффективности) образовательную систему». Эту цепочку причинно-следственных связей процессов развития экономики, образования и науки можно продемонстрировать с помощью графической модели (рис. 1).



Рисунок 1 – Модель взаимосвязи процессов в пространстве жизнедеятельности общества

Согласно этой модели, причинно-следственная связь такая: экономике (блок 1) по мере ее роста требуются квалифицированные кадры. В результате этой потребности создаются образовательные центры (блок 2), организованные и финансируемые в разных форматах. В то же время

конкуренция за сбыт и доходы между организациями создает проблему необходимости внедрения научных результатов в производство с целью увеличения производительности труда. В свою очередь наука (блок 3), оснащенная образованными кадрами и техническими средствами, снабжает идеями и информационными ресурсами экономику и образование. Далее на разных уровнях развития экономики по спирали весь цикл повторяется.

В этой ситуации очевидно, что хотя в циклах изменения «экономических» эпох основная проблема педагогики не меняется по своей формулировке, но в то же время эта проблема усложняется в разы по содержанию. Поэтому для ее решения требуется использование все более «умных» технических средств автоматизации. Разумеется, когда-то в развитии наступает эпоха, когда «образовательные» науки, такие как педагогика, дидактика, педагогическая психология, уже не в состоянии решать без инженерии основную педагогическую проблему.

Из практики известно, что человек любые сложные проблемы (в том числе педагогические) всегда решает путем декомпозиции их на множество менее сложных проблем. Эта декомпозиция, как правило, делается на базе системного анализа. Он представляет собой методологию организации деятельности (исследований) по решению сложных проблем путем их декомпозиции и поиска решения через поэтапное моделирование [18]. Из анализа образовательных систем следует, что решение основной педагогической проблемы в разные эпохи экономического развития общества успешно заканчивалось (по критерию практической необходимости) на разных этапах метода поэтапного моделирования [6–9]. При этом для каждой эпохи разрабатывалась своя образовательная методологическая платформа (парадигма) для решения основной педагогической проблемы. Затем на базе этих парадигм уже строились конкретные педагогические методики, постепенно переросшие в автоматизированные дидактические системы с цифровыми технологиями. На рисунке 2 приводится модель изменения образовательных парадигм (платформ) в зависимости от изменения «экономических» эпох. Из динамики изменений следует, что в постиндустриальную эпоху обучение в конечном счете будет осуществляться на киберфизических образовательных системах. В настоящее время обучение уже частично реализуется на SMART-системах, «интернет вещей», а цифровые образовательные технологии нацелены на достижение компетентности через развитие логико-клипового мышления [1, 13].

Цифровые модели для решения основной педагогической проблемы инженерными методами. В результате системного анализа в предыдущем разделе было показано, что дидактическая инженерия как наука является продолжением классической дидактики – эпохи информационного развития общества. Таким образом, дидактические системы нового поколения [14, 16, 20, 21, 24] с цифровыми технологиями сформировались в ответ на вызовы нашей эпохи, включая всестороннюю информатизацию общества. Основную педагогическую проблему, адаптированную для нашей эпохи, можно сформулировать следующим образом: требуется построить «умные» дидактические системы нового поколения с цифровыми технологиями, способными в генерируемой ими образовательной среде на основе самоподготовки научить человека решать сложные проблемы из пространства жизнедеятельности с тремя степенями свободы.

Очевидно, что для решения этой педагогической проблемы необходимо привлечь все основные достижения педагогики, психологии, кибернетики, а также многих других наук. Бесспорно, за длительный исторический период своего развития педагогическая наука установила множество принципов и закономерностей для обеспечения эффективной подготовки людей по решению сложных проблем каждой эпохи. В качестве основных фундаментальных принципов, закономерностей и правил, соблюдение которых необходимо при организации любых эффективных обучающих систем, приведем следующие: **п1.** Обучение должно быть организовано с соблюдением принципа природосообразности Яна Коменского [8]. В нем утверждается, что при обучении человека необходимо учитывать его природные задатки (способности) и особенности. **п2.** Обучение эффективно только в «зоне ближайшего развития» (Л. С. Выготский [3]). Из этого следует, что учить человека следует исходя из актуального уровня развития его способностей и качества сформированности его знаний. **п3.** Обучение должно быть организовано «на высоком уровне трудности» (Л. В. Занков [7]). Из этого следует, что человек эффективно учится при решении трудных для него (субъективная оценка), но доступных для его уровня развития сложных (объективная оценка) проблем. **п4.** Обучение и управление развитием способностей должно быть организовано с соблюдением «закона необходимого разнообразия» (Ульям Эшби [15]). Из этого закона следует: во-первых, что изучение предметной области должно быть направлено не только в «глубину», но и «в ширину»; во-вторых, что уровень развития «управляющего» органа должен быть на порядок выше, чем у «управляемого».

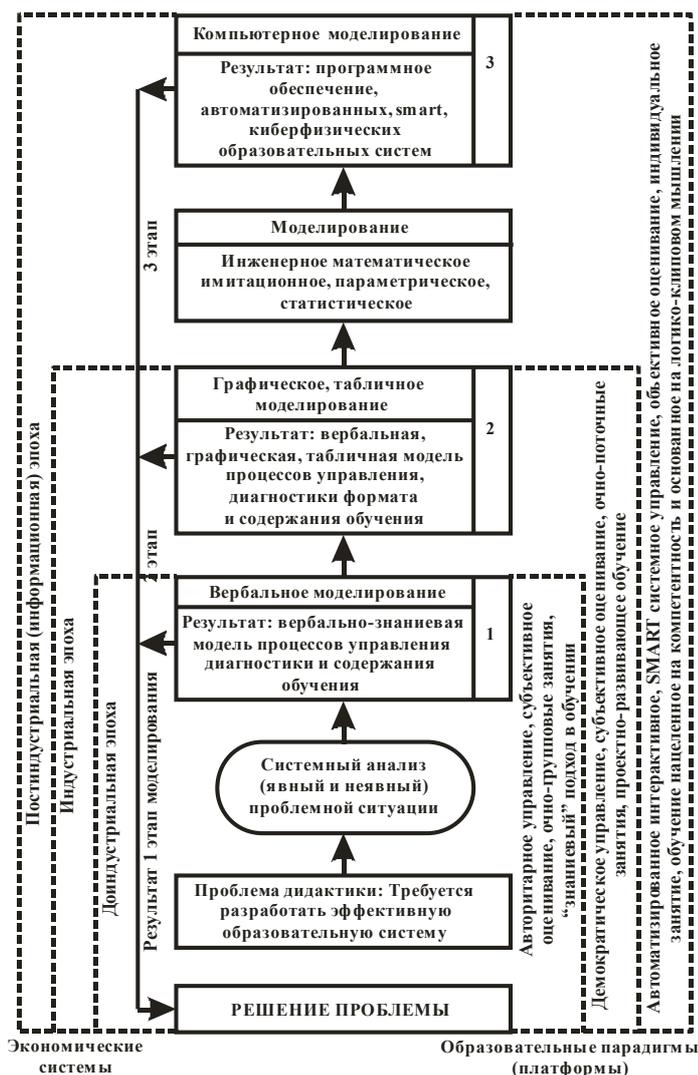


Рисунок 2 – Модель изменения образовательных платформ в зависимости от развития экономических систем

Кроме того, для организации эффективной подготовки по цифровой технологии должны обязательно соблюдаться два эвристических правила. **п5.** Оценка сложности учебных проблем должна быть «цифровой» и объективной. **п6.** Шкала качества «мыслительных умений» таксономии Блума, Беспально [2, 17] должна быть оцифрована.

Очевидно, что при проектировании дидактических систем нового поколения все эти принципы, закономерности и эвристические правила должны быть учтены и внедрены в формализованном виде как требования в проектируемые цифровые технологии.

Для построения дидактических систем нового поколения с учетом перечисленных принципов, закономерностей и правил требуется решить комплекс следующих основных задач:

1. Разработать цифровую модель показателя интеллектуального деятельностного потенциала (ИДП) человека.
2. Разработать цифровую модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве его жизнедеятельности.
3. Формализовать закономерности проявления способностей в зависимости от знаний.
4. Формализовать закономерности преодолемости сложности проблемы в зависимости от ИДП человека.
5. Построить модель для оценки вероятности (шанса) случайного события «решить проблему».
6. Формализовать технику экспертной оценки показателя сложности проблемы в системе профессиональной трудности.
7. Формализовать технику экспертной оценки показателей качества сформированности знаний у конкретного человека.

8. Разработать методологическую модель-платформу для проектирования различных прототипов дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Ниже мы рассмотрим эти пункты списка подробнее.

1. **Цифровая модель показателя ИДП человека.** В течение всей жизни люди вынуждены решать проблемы разного содержания и разной сложности. Поэтому человек с раннего детства вынужден учиться решать их эффективно. Исходя из этого, можно утверждать, что система образования любого государства нацелена на подготовку людей, способных решать актуальные проблемы большой сложности. Следует учесть, что каждый человек на актуальный момент времени с большой вероятностью способен решать проблемы только до определенного уровня сложности, который соответствует его природным данным и актуальному состоянию развития. В более ранних работах авторов [9–11] было показано, что успешность человека в решении проблем во многом зависит от сложности этих проблем и наличия внутренних (качества сформированности знаний, способностей) и внешних (информационных, материальных, временных) ресурсов. Поэтому для формального представления внутренних ресурсов требуется установить (идентифицировать) основные способности, необходимые человеку для успешного решения проблем; определить, какую роль в этом процессе играют его знания в области решаемых проблем. Следует отметить, что умение человека решить проблему той или иной сложности с достижением результата – это практическое проявление его способностей в определенной мере (данные статистических исследований не отрицают этот факт [10]). При этом мера возможности проявления его способностей в результате решения проблемы «модулируется» качеством сформированности его знаний в области решаемой проблемы [11].

По своей природе методологической основой для решения всех проблем у человека является системный анализ. В ряде работ [23–25] показано, что все люди решают проблемы одним и тем же способом, состоящим из трех укрупненных операций. **Операция А1** – формализация проблемы, т.е. человек в процессе анализа проблемной ситуации в своей когнитивной сфере строит образ (ментальную модель) проблемы. Затем, согласно цели, через «мыслительные умения», трансформирует проблему в задачу или в комплекс задач. **Операция В1** – конструирование плана решения задачи. Для этого человек на основе своих «мыслительных умений» с привлечением информационных ресурсов строит конструкт этого плана. **Операция С1** – исполнение плана в какой-то среде (когнитивной, виртуальной, реальной). Разумеется, для исполнения плана человек также использует свои «мыслительные умения» и другие ресурсы, которые необходимы для реализации этого плана. Таким образом, очевидно, что для успешного завершения каждой операции А1, В1, С1 при решении проблемы сложности S человек должен иметь соответственно способности определенного уровня развития: формализационные (А), конструктивные (В), исполнительские (С). Разумеется, при этом для решения любой проблемы уровень развития АВС способностей должен быть соизмерим со сложностью S, решаемой им проблемы. В целом методологическую модель для решения проблем сложности S можно представить в виде диаграммы SADT [10] (рис. 3).

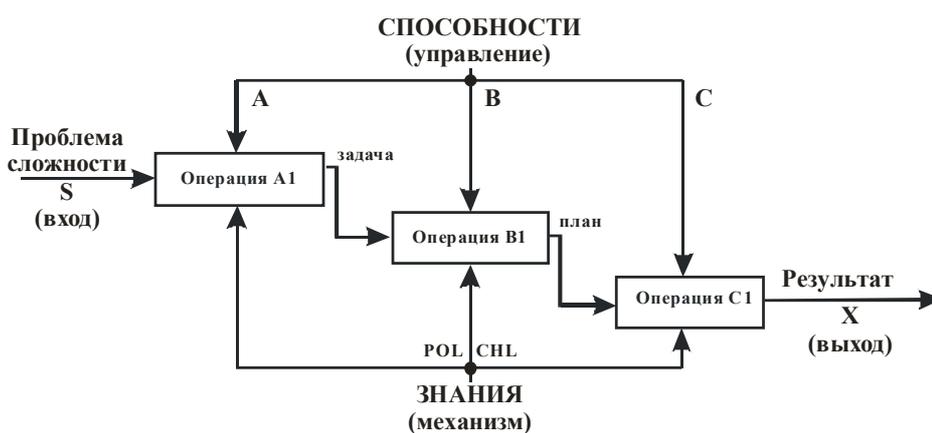


Рисунок 3 – Универсальная модель организации деятельности человека для решения проблем

Согласно методологии SADT, модель функционирует так: ВХОД преобразуется в ВЫХОД через УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОМ использования и обработки ресурсов. При этом на ВЫХОДЕ результат X будет случайным событием, т.е. может произойти одно из событий: человек решил проблему или нет. Значение вероятности случайного события X – «решил проблему» обозначим через P(X). Эту вероятность можно представить через неидентифицированный функционал F(*), т.е.

$$P(X) = F(A, B, C, POL, CHL, S),$$

где через A, B, C обозначены интегративные показатели, значения которых характеризуют уровни развития формализационных, конструктивных, исполнительских способностей человека, решающего проблему; POL, CHL – интегративные показатели, значения которых характеризуют качество полноты и целостности знаний человека в области решаемой им проблемы; S – интегративный показатель сложности, решаемой проблемы, значение которого оценивает эксперт (группа экспертов) через свою трудоемкость решения этой проблемы. Очевидно, что показатели A, B, C, POL, CHL с конкретными значениями на момент времени t , могут характеризовать ИДП любого человека. Этот потенциал формально запишем так:

$$POT(Y, T = t) = \{A(t) = a, B(t) = b, C(t) = c, POL(t) = pol, CHL(t) = chl\}.$$

Таким образом, ИДП любого человека Y на актуальный момент времени $T = t$ можно коротко представить как $POT(Y, T = t) = \{a, b, c, pol, chl\}$.

2. Цифровая модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности. Для построения такой модели рассмотрим псевдофазовое пространство изменения характеристик A, B, C, POL, CHL (рис. 4). Это пространство является не фазовым, а псевдофазовым, так как показатели, характеризующие ИДП человека, являются зависимыми между собой.

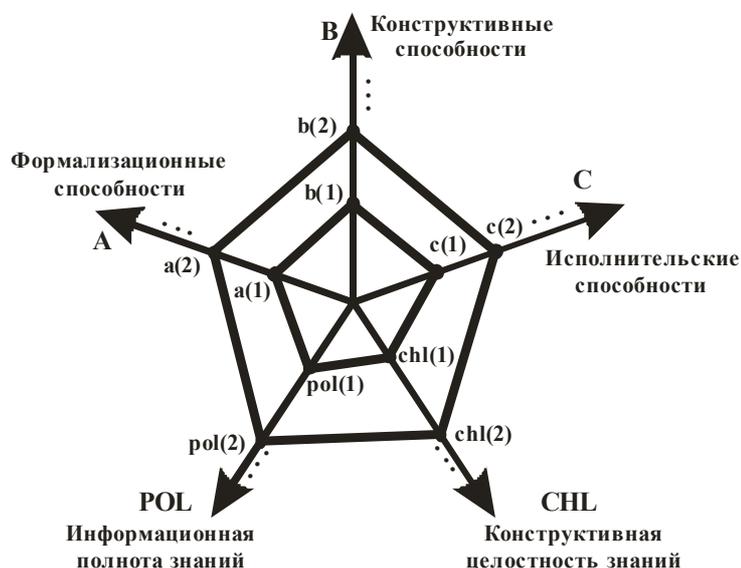


Рисунок 4 – Псевдофазовое пространство развития ИДП человека

Согласно этому рисунку, ИДП человека до момента t_1 (например, до начала его развития через обучение) был представлен значениями $POT(t_1) = (a(1), b(1), c(1), pol(1), chl(1))$. После целенаправленного развития, например, на момент времени t_2 , ИДП изменился и стал равным $POT(t_2) = (a(2), b(2), c(2), pol(2), chl(2))$. Из сказанного следует, что цифровая модель представления ИДП человека в псевдофазовом пространстве в разные моменты времени может быть формализована как математическая модель в виде пятимерного временного ряда (табл. 1).

Таблица 1 – Формализованная модель развития ИДП человека

	1	2	3	* ...	n
A	a(1)	a(2)	a(3)	a(*)...	a(n)
B	b(1)	b(2)	b(3)	b(*)...	b(n)
C	c(1)	c(2)	c(3)	c(*)...	c(n)
POL	pol(1)	pol(2)	pol(3)	pol(*)...	pol(n)
CHL	chl(1)	chl(2)	chl(3)	chl(*)...	chl(n)

В целом можно утверждать, что представление развития человека в виде временного ряда позволяет при проектировании дидактических систем с цифровыми технологиями решать многие задачи: **z1.** Задача представления в цифровом формате цели и критерия обучения (от какого состояния и до какого состояния развития необходимо научиться за требуемый срок). **z2.** Задачи прогнозирования развития на основании прошлых данных. **z3.** Задачи управления развитием на основе диагностических данных. **z4.** Задачи принятия «умных» решений при различных ситуациях подготовки, в том числе на основе использования «искусственного интеллекта» и т.д.

3. Закономерности проявления способностей в зависимости от знаний. В общем показателе ИДП человека (см. модель 1) на момент времени t , т.е. в показателе

$$POT(t) = (A(t), B(t), C(t), POL(t), CHL(t)),$$

можно выделить две группы характеристик. К первой группе $PK = (A = a, B = b, C = c)$ относятся проектно-конструктивные способности человека с их конкретными значениями. Ко второй группе $CZ = (POL = pol, CHL = chl)$ – характеристики качества сформированности его знаний, также с конкретными значениями. Из опыта человеческой деятельности по решению проблем следует, что все эти характеристики зависимы между собой, и в целом решить задачу пункта 3 на практике означает «установить между PK и CZ корреляционную связь». Для этого вычислим усредненные (среднегеометрические) значения характеристик PK, CZ и соответственно обозначим их через $PK1$ и $CZ1$, т.е.

$$PK1 = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c},$$

$$CZ1 = \sqrt{pol \cdot chl}.$$

Характеристику $PK1$ назовем показателем усредненного абсолютного уровня развития ABC способностей человека, а характеристику $CZ1$ – показателем усредненного качества сформированности его знаний. На практике в ходе эксперимента с участием студентов при достаточно представительной выборке (более 500 человек) было установлено, что значение коэффициента корреляции между этими усредненными показателями равно 0,91, т.е. $K(PK1, CZ1) = 0,91$. Проверка по критерию Фишера подтвердило его статистическую значимость с надежностью 95 %.

Из этого результата следует, что связь между этими характеристиками можно считать устойчивой и статистически значимой. Кроме того, на базе диаграммы SADT (рис. 5) эту связь можно представить графически, дополнив ее двумя шкалами отношений (шкала 1 и шкала 2). На шкале 1 отображаются значения $CZ1$ – показателя усредненного качества сформированности знаний человека в области решаемой проблемы (значение $CZ1$ изменяется от 0 до 1). На шкале 2 отображается только часть значений $PK1$, «усеченных» значением показателя $CZ1$. Для ясности рассмотрим пример. Пусть на рассматриваемый момент времени уровень развития проектно-конструктивных способностей человека (в условных единицах) следующий: $PK = (A = 5, B = 8, C = 3)$. Допустим, этот человек занимается решением проблем в двух областях деятельности (ОБ1, ОБ2). Пусть в области ОБ1 значения показателей качества сформированности его знаний следующие: $CZ = (POL = 0,9; CHL = 0,8)$. В области ОБ2 у него другие значения этих показателей: $CZ = (POL = 0,9; CHL = 0,5)$. Оценим возможности проявления ABC способностей человека при решении проблем в этих двух разных областях деятельности по следующему алгоритму: 1. Вычислим значение показателя усредненного абсолютного уровня развития ABC способностей: $PK1 = \sqrt[3]{5 \cdot 8 \cdot 3} = 4,93$. 2. Вычислим значение показателя качества сформированности знаний в области ОБ1: $CZ1 = \sqrt{0,9 \cdot 0,8} = 0,85$. 3. Вычислим значение показателя качества сформированности знаний в области ОБ2: $CZ1 = \sqrt{0,9 \cdot 0,4} = 0,6$. 4. Вычислим значение показателя усредненного относительного (усеченного) уровня развития ABC способностей для области ОБ1, которую обозначим через $PK2$: $PK2 = 0,85 \cdot 4,93 = 4,19$. 5. Вычислим значение показателя усредненного относительного уровня развития ABC способностей для области ОБ2: $PK2 = 0,6 \cdot 4,93 = 2,95$. На рисунке 5 приводится диаграмма SADT, дополненная двумя шкалами.

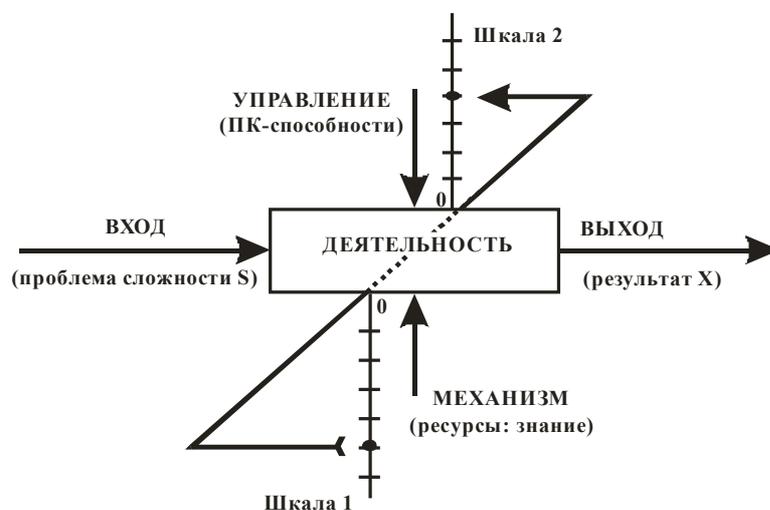


Рисунок 5 – Модель ситуации, когда качество знаний (показатель на шкале 1) ограничивает уровень проявления способностей (шкала 2)

Таким образом, в области ОБ1 возможность проявления АВС способностей человека в полном объеме будет «тормозиться» на 15 % его «незнанием» в этой области деятельности, а в области деятельности ОБ2 будет «тормозиться» на 40 % по той же причине.

На практике эта закономерность позволяет учесть в требованиях к проекту дидактических систем с цифровыми технологиями принцип природосообразности Яна Коменского (**п1**) – о необходимости учета задатков (заложенных природой способностей, особенностей и тягу к знаниям) для обеспечения успешности обучения.

4. Закономерность преодолимости сложности решения проблемы в зависимости от ИДП. Как было показано (модель 1), любую проблему сложности S человек решает через деятельность в три операции $A1, B1, C1$, где $A1$ – операция формализации проблемы с декомпозицией ее в комплекс задач, $B1$ – операция конструирования (алгоритмизации) планов решения этих задач, $C1$ – операция исполнения этих планов в какой-то среде (когнитивной, виртуальной, реальной). Любой человек, решающий проблему сложности S , может испытывать при этом три типа трудностей, соответствующих операциям $A1, B1, C1$, т.е. трудности типа SA, SB, SC . При этом общую трудность ST решения рассматриваемой проблемы можно представить (без учета зависимости слагаемых) как их сумму, т.е.

$$ST = SA + SB + SC.$$

Как было отмечено ранее (модель 1), деятельностный потенциал любого человека (в том числе и эксперта) на момент t (состояние развития его внутренних ресурсов) можно записать так:

$$POT(T=t) = \{A(t) = a, B(t) = b, C(t) = c, POL(t) = pol, CHL(t) = chl\}.$$

Этот потенциал ограничен значением сложности $S = s$ проблемы, которую он с вероятностью, близкой к единице (статистически устойчиво), способен решить. Формализуем условия решения (с вероятностью единица) проблемы сложности S экспертом. Для него мы можем предположить, что сложность проблемы равна трудоемкости ее решения, т.е. $S = s = st$. Тогда, очевидно, условием успешного решения проблемы сложности S экспертом будет система ограничений

$$\{pol = 1; chl = 1; a \Rightarrow sa; b \Rightarrow sb; c \Rightarrow sc\}.$$

Множество проблем с «крайними» сложностями (для которых в системе условий выполняются только равенства) назовем проблемами с предельной сложностью и обозначим их через sa^* , sb^* , sc^* для человека с известным ИДП.

Таким образом, цифровая модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве может быть дополнена ограничениями, т.е. его предельными трудностями (табл. 2).

Таблица 2 – Модель развития ИДП в псевдофазовом пространстве с соответствующими предельными сложностями проблем

	1	2	3	...	n
A	a(1)	a(2)	a(3)	...	a(n)
B	b(1)	b(2)	b(3)	...	b(n)
C	c(1)	c(2)	c(3)	...	c(n)
POL	pol(1)	pol(2)	pol(3)	...	pol(n)
CHL	chl(1)	chl(2)	chl(3)	...	chl(n)
SA	sa(1)	sa(2)	sa(3)	...	sa(n)
SB	sb(1)	sb(2)	sb(3)	...	sb(n)
SC	sc(1)	sc(2)	sc(3)	...	sc(n)

При проектировании дидактических систем нового поколения с заранее известными предельными трудностями такая информация позволяет организовать человеку индивидуальное обучение «на высоком уровне трудности» по Л. В. Занкову (**п3**). Как показывает практика, соблюдение этой закономерности обеспечивает ему быстрое развитие ИДП, а в целом группе (например, студентам) – высокий темп освоения компетенции.

5. Модель для оценки вероятности (шанса) случайного события «решить проблему». Основываясь на идеях моделей 1, 2 и закономерностях **п3**, **п4**, а также на сформулированных эвристических правилах **п5**, **п6**, рассмотрим следующую задачу: оценить вероятность $P(X)$ случайного события X , что человек с ИДП: ($A = a, B = b, C = c, POL = pol, CHL = chl$) решит проблему сложности S : ($SA = sa, SB = sb, SC = sc$). Приближенное значение вероятности $P(X)$ в дальнейшем назовем «шансом» и обозначим через $H(X)$. Такая замена «вероятности» на «шанс» связана со следующими обстоятельствами. Из курса теории вероятности (например, [4]) известно, что вероятность произведения зависимых случайных событий $P(RA \cdot RB \cdot RC)$ можно расписать так:

$$P(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB | RA) \cdot P(RC | RA \cdot RB).$$

Через RA, RB, RC обозначены соответственно случайные события того, что человек последовательно решит или не решит задачи: формализации проблемы, конструирования плана решения, исполнения этого плана на практике (модель 1). Таким образом, вероятность того, что решит или не решит человек проблему от начала до конца, равна: $P(RA \cdot RB \cdot RC)$, но в реальности вычислить условные вероятности не представляется возможным. Поэтому из практических соображений случайные события RA, RB, RC будем рассматривать как независимые, т.е.

$$P(RA \cdot RB \cdot RC) = P1(RA \cdot RB \cdot RC) + E,$$

где через величину E обозначена погрешность, которая получается при замене формул. Таким образом, на практике в качестве приближенного значения $P(RA \cdot RB \cdot RC)$ можно использовать значение $P1(RA \cdot RB \cdot RC)$ с погрешностью E. Это приближенное значение вероятности мы будем называть «шансом» и обозначим через H(X), т.е.

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC).$$

В работах [11, 12] рассматривается ряд примеров. Из их результатов можно сделать вывод, что при достаточно больших выборках такая замена незначимо отразится на результатах вычислений.

Вернемся к решению задачи, сформулированной в начале параграфа (модель 5): найти вероятность P(X) случайного события X, что человек с ИДП: ($A = a, B = b, C = c, POL = pol, CHL = chl$) сумеет решить проблему сложности S: ($SA = sa, SB = sb, SC = sc$). Вначале продемонстрируем решение этой задачи с конкретными значениями показателей.

Допустим, в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности (в условных единицах) заданы значения всех показателей: $a = 5, sa = 3, b = 7, sb = 6, c = 3, sc = 9, pol = 0,97, chl = 0,84$. Сложившаяся ситуация с (не)решением проблемы в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности приводится на рисунке 6.

Вероятности случайных событий: RA, RB, RC будем вычислять как геометрические вероятности, т.е. $P(RA) = 1, P(RB) = 1; P(RC) = 1/3$ (общая формула для расчетов вероятностей приводится далее). Усредненный показатель «качество сформированности знаний в области решаемой проблемы» оценивается с помощью оцифрованной шкалы Б. Блума [17] по следующей формуле: $CZ = SQR(0,97 \cdot 0,84) = 0,9$ (см. решение задачи 3).

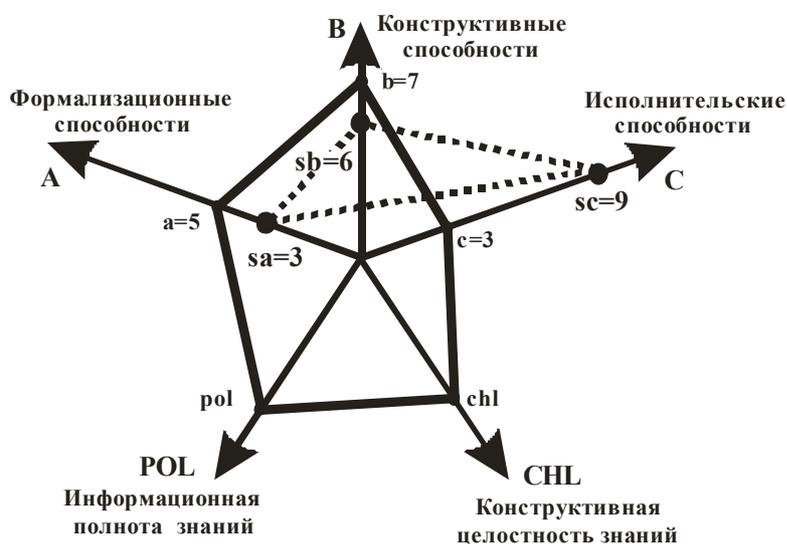


Рисунок 6 – Модель ситуации: шанс, что человек сумеет решить проблему сложности S: ($SA = 3; SB = 16; SC = 9$) с ИДП: ($A = 5; B = 7; C = 3; POL = 0,97; CHL = 0,84$)

Следует еще раз подчеркнуть, что при решении любой проблемы возможность проявления A, B, C способностей человека «урезается» качеством сформированности его знаний в области решаемой проблемы и на практике (с учетом этого факта) проявляются как его умение решить проблему той или иной сложности в зависимости от знаний. Из сказанного следует, что в рассматриваемой задаче шанс H(X) того, что человек сумеет решить проблему, корректируется коэффициентом CZ, т.е. $H(X) = H(RA \cdot RB \cdot RC) = 1/3 \cdot 0,9 = 0,3$. В рассматриваемой ситуации можно сделать вывод, что у человека, имеющего ИДП: ($A = 5; B = 7; C = 3; POL = 0,97; CHL = 0,84$), шанс, что

он сумеет решить проблему со сложностью S : ($SA = 3, SB = 6, SC = 9$), равен $H(RA \cdot RB \cdot RC) = 30\%$.

В общем случае значения шанса $H(X)$, что человек с известным ИДП: (A; B; C; POL; CHL) сумеет решить проблему сложности S : (SA; SB; SC) определяется по следующему алгоритму:

(u1) Вычисляются вероятности

$$P(RA) = (1, \text{если } a \geq sa \text{ или } a / sa, \text{если } a < sa)$$

$$P(RB) = (1, \text{если } b \geq sb \text{ или } b / sb, \text{если } b < sb)$$

$$P(RC) = (1, \text{если } c \geq sc \text{ или } c / sc, \text{если } c < sc) .$$

Через RA, RB, RC обозначены случайные события и их вероятности $P(RA), P(RB), P(RC)$, позволяющие успешно завершить все операции A, B, C.

(u2) Вычисляется значение величины шанса

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC) .$$

Через $H(RA \cdot RB \cdot RC)$ обозначено значение шанса успешно разрешить проблему в целом, без учета качества сформированности знаний в области решаемой проблемы.

(u3) Вычисляется значение скорректированной величины шанса (с учетом качества сформированности знаний в области решаемой проблемы).

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC) \cdot CZ .$$

$$CZ = \sqrt{POL \cdot CHL} ,$$

где величина CZ – показатель качества сформированности знаний в области решаемой проблемы. Ранее было отмечено (см. модель 3), что этот показатель вычисляется как среднее геометрическое из значения произведения $POL \cdot CHL$.

Особо подчеркнем, что значения переменных POL, CHL меняются в пределах от 0 до 1. В принятой нами модели считается, что знания являются фоном («тормозящей» средой), ограничивающим возможный уровень проявления ABC способностей. Разумеется, максимальный уровень проявления способностей достигается при $CZ = 1$.

6. Техника экспертной оценки показателя сложности проблемы в системе профессиональной трудности. Допустим, проблема PX , которую необходимо решить, имеет объективную сложность S . На практике перед человеком, который должен решить эту проблему, возникает задача: оценить сложность PX еще до ее решения. В этой ситуации человек, как правило, сложность проблемы оценивает через личную трудность ее решения, т.е. какое количество своего времени он потратит на ее решение. Разумеется, при этом предполагается, что он ее способен решить.

Например, для решения PX он потратит TR часов своей работы, т.е. субъективное значение $S = TR$ (час/раб). При этом разные люди в зависимости от состояния развития ИДП, т.е. качества сформированности (значений показателей $POL = pol, CHL = chl$) своих знаний в области решаемой проблемы и уровней развития способностей (значений показателей $A = a, B = b, C = c$), потратят на решение этой проблемы разное количество часов своей работы. Очевидно, что если одну и ту же проблему будет решать множество людей, то в результате получится какая-то последовательность из значений показателей трудоемкостей – $TR(*)$. Таким образом, полученную последовательность можно отсортировать по убыванию значений их величин и записать (без учета размерностей) как значения из выборки: $TR(1), TR(2), TR(3), \dots, TR(n)$, где n – мощность этой выборки. Очевидно, что если среди «решателей» проблемы (в выборке) будет значение оценки эксперта, то это значение с наибольшей вероятностью окажется наиболее близким к объективному значению сложности проблемы PX , т.е. к значению показателя $S = TR(1)$. Бесспорно, что на практике такую технику оценки сложности проблемы можно применить всегда. Например, эксперт решает проблему PX за 5 часов своей работы, т.е. за 5 (час/раб). Тогда с наибольшим значением надежности (исходя из вероятности) можно считать, что сложность проблемы PX равна $S = TR(1) = 5$.

В целом можно выдвинуть общую основную гипотезу $H(0)$, что все эксперты в своей профессиональной области деятельности с одинаковым значением $TR(1)$ (в пределах допустимой погрешности) оценят сложность проблем в своей области. Очевидно, что эту гипотезу нетрудно проверить в локальном случае. Например, проверить основную гипотезу $H(0)$: все эксперты – математики (преподаватели профессионалы) за одинаковое время (относительная погрешность не более 5%), правильно решат одну и ту же учебную математическую проблему из ЕГЭ. Такие локальные гипотезы нами проверялись на практике при условии: рассматривались 5 различных дисциплин, по каждой дисциплине выборка составляла не менее чем из 30 преподавателей. Проверка по критерию Пирсона подтвердила их статистическую достоверность с надежностью более 95%. Исходя из этих результатов, можно считать технику оценки сложности проблемы по ее трудности достаточно надежной

и практически пригодной для оценки качества подготовленности к профессиональной деятельности. В общем случае, если оценка сложности какой-то проблемы проведена по этой технике, то будем говорить, что она проведена в системе профессиональной трудности (кратко – в системе PD).

7. Техника экспертной оценки показателей качества сформированности знаний. Знание – это усвоенная и переработанная через сознание человека информация [6]. Предлагается следующая модель процесса трансформации передаваемой информации через сознание в знание человека (рис. 7).

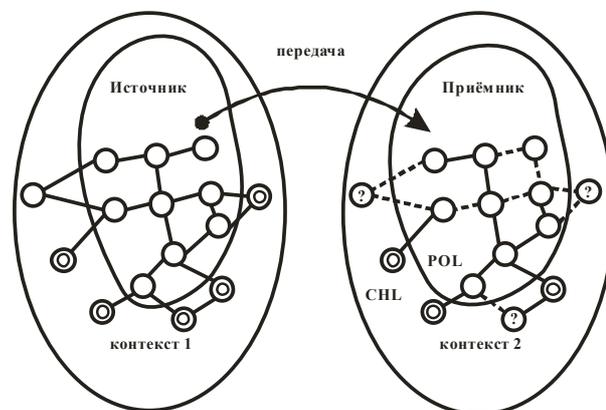


Рисунок 7 – Модель трансформации передаваемой информации через сознание в знание человека

У источника информации (явно или неявно) можно выделить два зависимых подмножества информации. Первое подмножество – это то, что «источник» намерен передать «приемнику» – человеку. Второе подмножество – это контекст передаваемой информации. При этом «приемник» в основном воспринимает только ту часть переданной информации, которую способен через сознание «понять и пристроить» в свой контекст (в свою ментальную модель) с организацией знаний. Поэтому для «приемника» можно говорить о полноте (характеристика POL) воспринятой информации и ее целостности (характеристика CHL), т.е. о структурной целостности знаний для преобразованной через сознание информации. Таким образом, с точки зрения организации эффективного обучения, «источнику» необходимо знать уровень развития ментальной модели обучающегося, так как только в этом случае «источник» может эффективно (с большими значениями показателей POL, CHL) передать информацию. В сущности, в этом состоит проявление на практике закономерности: «наилучшее обучение проходит в зоне ближайшего развития», которая была установлена Л. С. Выготским [3]. Очевидно, значения параметров POL и CHL в какой-то области деятельности являются латентными. Поэтому их можно оценить только через специально организованное педагогическое тестирование с выделением двух групп вопросов: «на полноту» и на «целостность». Также каждый вопрос теста должен быть оценен (заранее экспертом) на сложность в системе PD [9, 11, 27]. Только в этом случае становится возможным оцифровать качественную шкалу «мыслительных умений» Б. Блума [17] и соответственно оцифровать «зону ближайшего развития» обучающегося. Разумеется, все это формализовано-цифровые модели и техники закладываются на проектном уровне в цифровые технологии обучения дидактических систем нового поколения с целью обеспечения в последующем их эффективного функционирования.

8. Методологическая модель – платформа для проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. В информатике под платформой, как правило, понимают аппаратно-программный комплекс, основанный на единой концептуальной модели. На этой платформе можно спроектировать класс прототипов информационных систем, способных поддержать какой-то сервис, необходимый пользователям для решения определенного круга задач. Дидактическая платформа также основывается на какой-то методологической модели, на базе которой может быть разработан новый класс прототипов дидактических систем, обладающих комплексом целесообразных свойств. Эти дидактические системы уже способны сформировать для пользователей эффективную (востребованную пространством жизнедеятельности) образовательную среду, в которой они (с помощью предусмотренного сервиса) могут гарантированно овладеть требуемыми компетенциями.

На рисунке 8 представлена методологическая модель дидактической системы с цифровой технологией. В модели (как и в диаграмме SADT) выделены атрибуты: 1. ВХОД – состояние ИДП студента до подготовки. 2. ВЫХОД – состояние ИДП студента после подготовки. 3. УПРАВЛЕНИЕ – преподаватель с определенной методикой обучения или «умная» подсистема, реализующая самоподготовку по цифровой технологии. 4. МЕХАНИЗМ – ресурсы (теоретические, практические, дидактические материалы), необходимые для реализации методики или технологии.

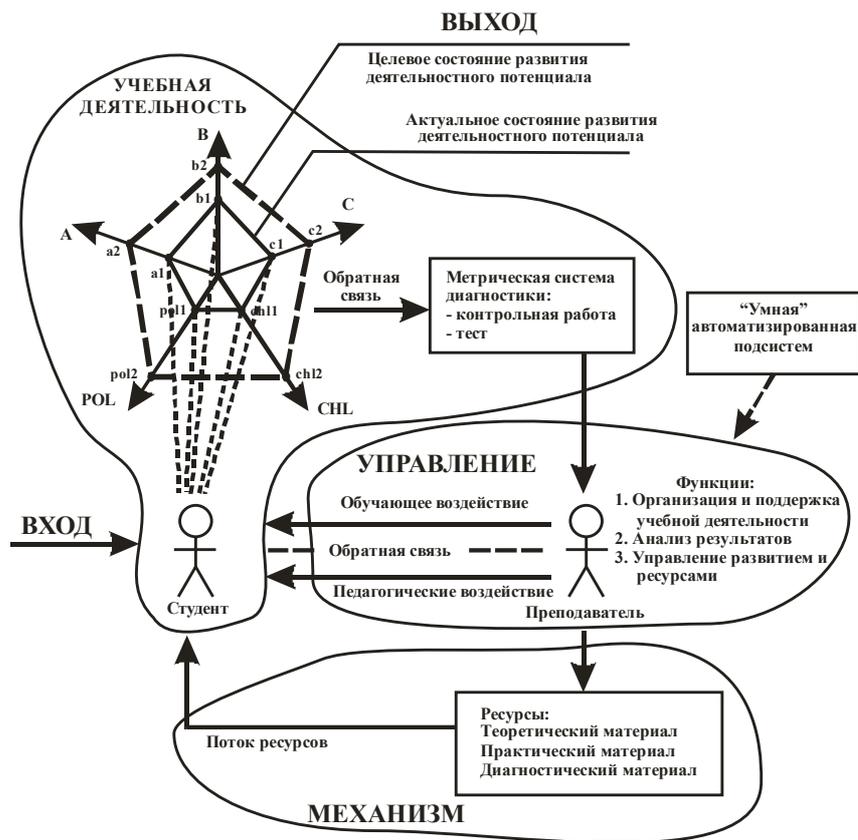


Рисунок 8 – Методологическая модель – платформа для проектирования дидактических систем с цифровой технологией

В основу этой методологической модели-платформы, в частности, заложены известные в дидактике модели «проблемного обучения», «развивающего обучения», «контекстного обучения» [2, 5, 7]. Разумеется, также заложены результаты решенных в данной статье задач 1–7. Некоторые реализованные прототипы дидактических систем с цифровыми технологиями рассмотрены в работах [19, 22, 23, 25, 26, 28].

В целом стоит отметить, что разработанная методологическая платформа дидактических систем нового поколения не имеет аналогов как в России, так и за рубежом.

Выводы.

1. Проведен системный анализ развития образовательных систем. Из его результатов следует, что из-за информационной глобализации пространство жизнедеятельности человека с двумя степенями свободы преобразовалось в пространство с тремя степенями свободы. Это привело к необходимости проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями, основанных на инженерном подходе.

2. Показано, что дидактическая инженерия как наука является продолжением дидактики – эпохи автоматизации. Также показано, что в рамках дидактической инженерии на основе формализации (цифровизации) законов дидактики с использованием методов поэтапного моделирования могут быть разработаны различные платформы для реализации эффективных автоматизированных, SMART и киберфизических образовательных систем.

3. В данной работе на основе вербально-знаковых методологических моделей «развивающего обучения», «проблемного обучения», «контекстного обучения» с использованием инженерного подхода в рамках дидактической инженерии разработана методологическая модель-платформа для проектирования класса автоматизированных дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Библиографический список

1. Ашихмина Т. В. Методы обучения студентов, обладающих клиповым мышлением / Т. В. Ашихмина // Концепт. – 2016. – Т. 17. – С. 706–710. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2016/46316.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

2. Беспалько В. П. Основы теории педагогических систем / В. П. Беспалько. – Воронеж : Издательство Воронежского университета, 1977. – 304 с.
3. Выготский Л. С. Педагогическая психология / Л. С. Выготский. – Москва : Педагогика-Пресс, 1996. – 230 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва : Высшая школа, 2000. – 376 с.
5. Давыдов В. В. О понятии развивающего обучения. Сборник статей / В. В. Давыдов. – Томск : Пеленг, 1995. – 144 с.
6. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон ; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2001. – 624 с.
7. Занков Л. В. Обучение и развитие / Л. В. Занков. – Москва : Просвещение, 1975. – 275 с.
8. Коменский Я. А. Великая дидактика / Я. А. Коменский. – Москва : Государственное Учебно-педагогическое издательство Наркомпроса РСФСР, 1939. – 321 с.
9. Нуриев Н. К. Дидактическая инженерия: подготовка инженеров в техногенной образовательной среде / Н. К. Нуриев, С. Д. Старыгина // Образование и наука. – 2016. – № 9 (138). – С.61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79.
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. DOI: 10.20339/AM.11-16.088.
11. Старыгина С. Д. Дидактическая инженерия: цифровая модель педагогического тестирования / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев // Образовательные технологии и общество. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 84–100.
12. Старыгина С. Д. Проектирование smart образовательных систем с цифровыми технологиями / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев, Е. А. Печеный, А. А. Обади // Образовательные технологии и общество. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 54–66.
13. Старыгина С. Д. Системный анализ: дидактическая инженерия как дидактика эпохи цифровизации / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев // Sciences of Europe. – 2019. – № 44–3 (44). – С. 22–28.
14. Чошанов М. А. Дидактика и инженерия / М. А. Чошанов. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 248 с.
15. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – Москва : URSS, 2017. – 430 с.
16. Artigue M. Didactic engineering. Recherches en Didactique des Mathematiques / M. Artigue. – Special book ICME VII, 1992. – P. 373–401.
17. Bloom B. Taxonomy of educational objectives. The classification goals / B. Bloom. – N.Y. : David McKey Co., 1956. – 207 p.
18. Boehm B. W. A Spiral Model of Software Development and Enhancement / B. W. Boehm // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. – 1988. – № 21 (5). – P. 61–72.
19. Christopher J. Networked Learning. An Educational Paradigm for the Age of Digital Networks / J. Christopher. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 249 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-01934-5>)
20. Douady R. Didactic engineering. Learning and teaching mathematics: An international perspective / R. Douady ; en. by T. Nunes & P. Bryant. – East Sussex : Psychology Press, 1997. – P. 373–401.
21. Douady R. L'intenierie didactique: une methodologie privilegiee de la recherche / R. Douady // Proceedings of 11th PME Conference. Montreal, Canada, 1987. – Vol. 3. – P. 222–228.
22. Erpenbeck J. Qualifizierung mit Blended Learning. E-Learning and Blended Learning / J. Erpenbeck, W. Sauter, S. Sauter. – Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. (https://doi.org/10.1007/978-3-658-10175-6_3)
23. Kolb D. A. Experiential learning: Experience as the source of learning and development / D. A. Kolb. – N.Y. : Prentice-Hall, 1984. – Vol. 1. Englewood Cliffs. – 256 p.
24. Naur P. Software Engineering: Conception & Techniques. Petrocelli / P. Naur, B. Randall, J. Burton. – Charter, New York, 1976. – 231 p.
25. 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.
26. Nuriev N. K. New didactic systems of the engineering education / N. K. Nuriev, S. D. Starygina // International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). – 2013. – P. 345–350.
27. Nuriyev N. K. Didactic engineering: Designing new generation learning systems / N. K. Nuriyev, S. D. Starygina, E. A. Gibadullina // Integration of Education. – 2016. – Vol. 20, no. 3 (84). – P. 393–406. (<https://doi.org/10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406>)
28. Silverman J. Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education / J. Silverman, V. Hoyos. – Springer, 2018. – 219 p.

References

1. Ashikhmina T. V. Metody obucheniya studentov, obladayushchikh klipovym myshleniyem [Methods of teaching students with clip thinking]. *Kontsept* [Concept], 2016, no. 17. pp. 706–710. Available at: <http://e-koncept.ru/2016/46316.htm>.
2. Bepalko V. P. *Osnovy teorii pedagogicheskikh sistem* [Fundamentals of the theory of educational systems]. Voronezh, Voronezh University Publ., 1977. 304 p.
3. Vygotskiy L. S. *Pedagogicheskaya psikhologiya* [Pedagogical psychology]. Moscow, Pedagogika-Press Publ., 1996. 230 p.

4. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 376 p.
5. Davydov V. V. *O ponyatii razvivayushchego obucheniya. Sbornik statey* [On the concept of developmental learning. Digest of articles]. Tomsk, Peleng Publ., 1995. – 144 p.
6. Jackson P. *Vvedeniye v ekspertnyye sistemy* [Introduction to Expert Systems]. Moscow, Williams Publ., 2001. 624 p.
7. Zankov L. V. *Obucheniye i razvitiye* [Education and development]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1975. 275 p.
8. Komensky Ya. A. *Velikaya didaktika* [Great didactics]. Moscow, State Educational and pedagogical publishing house of the people's Commissariat of the RSFSR, 1939. 321 p.
9. Nuriev N. K., Starygina S. D. Didakticheskaya inzheneriya: podgotovka inzhenerov v tekhnogennoy obrazovatelnoy srede [Didactic engineering: training engineers in a technogenic educational environment]. *Obrazovaniye i nauka* [Education and science], 2016, no. 9 (138), pp. 61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79.
10. Nuriev N. K., Starygina S. D. Didakticheskaya inzheneriya: tekhnologiya podgotovki IT-inzhenerov v tekhnogennoy srede [Didactic engineering: technology for training IT engineers in an industrial environment]. *Alma-Mater (Vestnik vysshey shkoly)* [Alma Mater (Bulletin of Higher Education)], 2016, no. 11, pp. 64–67. DOI: 10.20339/AM.11-16.088.
11. Starygina S. D., Nuriev N. K. Didakticheskaya inzheneriya: tsifrovaya model pedagogicheskogo testirovaniya [Didactic engineering: a digital model of pedagogical testing]. *Obrazovatelnyye tekhnologii i obshchestvo* [Educational Technology and Society], 2020, mol. 23, no. 1, pp. 84–100.
12. Starygina S. D., Nuriev N. K., Pecheny E. A., Obadi A. A. Proyektirovaniye smart obrazovatelnykh sistem s tsifrovymi tekhnologiyami [Design smart educational systems with digital technology]. *Obrazovatelnyye tekhnologii i obshchestvo* [Educational Technology and Society], 2019, mol. 22, no. 3, pp. 54–66.
13. Starygina S. D., Nuriev N. K. Sistemnyy analiz: didakticheskaya inzheneriya kak didaktika epokhi tsifrovizatsii [System Analysis: Didactic Engineering as a Didactic of the Digital Age]. *Sciences of Europe*, 2019, № 44–3 (44). pp. 22–28.
14. Choshanov M. A. *Didaktika i inzheneriya* [Didactics and engineering]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2011. 248 p.
15. Ashby W. R. *Vvedeniye v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Moscow, URSS, 2017. 430 p.
16. Artigue M. *Didactic engineering. Recherches en Didactique des Mathematiques*. Special book ICME VII, 1992, pp. 373–401.
17. Bloom B. *Taxonomy of educational objectives. The classification goals*. N.Y., David McKay Co, 1956. 207 p.
18. Boehm B. W. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 1986, no. 21 (5), pp.61–72.
19. Christopher J. *Networked Learning. An Educational Paradigm for the Age of Digital Networks*. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 249 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-01934-5>)
20. Douady R. *Didactic engineering. Learning and teaching mathematics: An international perspective*. East Sussex, Psychology Press, 1997, pp. 373–401.
21. Douady R. L'intenierie didactique: une methodologie privilegiee de la recherché. *Proceedings of 11th PME Conference*. Montreal, Canada, 1987, vol. 3, pp. 222–228.
22. Erpenbeck J., Sauter W., Sauter S. *Qualifizierung mit Blended Learning. E-Learning and Blended Learning*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. (https://doi.org/10.1007/978-3-658-10175-6_3)
23. Kolb A. Y. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. N.Y., Prentice-Hall, 1984. Vol. 1, Englewood Cliffs. 256 p.
24. Naur P., Randell B., Buxton J. *Software Engineering: Conception & Techniques. Petrocilli*. Charter, New York, 1976. 231 p.
25. Nuriev N. K., Nuriev A. N. Designing of the software web component of the didactic systems of the engineering education. *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2013. pp. 354–358.
26. Nuriev N. K., Starygina S. D. New didactic systems of the engineering education. *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2013, pp. 345–350.
27. Nuriyev N. K., Starygina S. D., Gibadullina E. A. Didactic engineering: Designing new generation learning systems. *Integration of Education*, 2016, vol. 20, no. 3 (84), pp. 393–406. (<https://doi.org/10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406>)
28. Silverman J., Hoyos V. *Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education*. Springer, 2018. 219 p.