DOI: 10.31862/2500-297X-2020-2-9-24

Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина

Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015 г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Дидактическая инженерия как методология организации автоматизированной учебной деятельности

Эффективные образовательные системы являются одним из главных элементов механизма, «толкающего вперед» развитие общества. Отличительной особенностью нашей эпохи является то, что в ней к когнитивно-деятельностному пространству с двумя степенями свободы прибавилась еще одна степень, и пространство деятельности трансформировалось в пространство с тремя степенями свободы: когнитивное, виртуальное, реальное. Вследствие этого автоматизированные системы с элементами «искусственного интеллекта» проникли во все сферы жизни, интенсивно заполняя пространство новыми объектами жизнедеятельности. Это привело к зарождению «цифровой экономики» с огромными возможностями роста производительности труда. Дидактическая инженерия как методология организации автоматизированной учебной деятельности в пространстве с тремя степенями свободы появилась в силу исторической необходимости и призвана способствовать решению проблемы обеспечения квалифицированными кадрами «цифровой экономики». В настоящее время в рамках дидактики и психологии решены многие педагогические проблемы на этапах вербального, графического, табличного моделирования. Авторы утверждают, что решение педагогических проблем только на этих этапах

© Нуриев Н.К., Старыгина С.Д., 2020

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

моделирования недостаточно для проектирования автоматизированных образовательных систем. Также показано, что дидактическая инженерия является продолжением классической дидактики, дополняя ее этапами математического и имитационного моделирования. Приведен пример решения педагогической проблемы, основанной на инженерном подходе.

Ключевые слова: дидактика, обучение, дидактическая инженерия, автоматизированная деятельность, искусственный интеллект, smart система

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия как методология организации автоматизированной учебной деятельности // Педагогика и психология образования. 2020. № 2. С. 9–24. DOI: 10.31862/2500-297X-2020-2-9-24

DOI: 10.31862/2500-297X-2020-2-9-24

N. Nuriev, S. Starygina

Kazan National Research Technological University,
Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation

Didactic engineering as a methodology of organizing automated educational activities

The study shows that from a historical point of view, effective educational systems are one of the main elements of the «pushing forward» development of society. A distinctive feature of our era is that in it, another degree of freedom is added to the cognitively active space with two degrees of freedom, and the space of activity is transformed into a space with three degrees of freedom: cognitive, virtual, and real. Because of this, automated systems with elements of «artificial intelligence» penetrated into all spheres of life, filling the space with three degrees of freedom with new objects of life. Overall, this led to the emergence of a «digital economy» with enormous potential for the growth of labor productivity. Didactic engineering - a methodology for organizing automated educational activities in space with three degrees of freedom that arose due to historical necessity and committed to solve the problem of providing the digital economy with personnel. Currently, in the framework of didactics and psychology, many pedagogical problems are solved at the stages of verbal, graphic, tabular modeling.

The paper shows that solutions for the design of automated educational systems are insufficient. It is also pointed out that didactic engineering is a continuation of classical didactics, supplementing it with the stages of mathematical and simulation modeling. An example of solving a pedagogical problem based on an engineering approach is given.

Key words: didactics, training, didactic engineering, automated activities, artificial intelligence, smart system

CITATION: Nuriev N.K., Starygina S.D. Didactic engineering as a methodology of organizing automated educational activities. *Pedagogy and Psychology of Education*. 2020. No. 2. Pp. 9–24. (In Russ.). DOI: 10.31862/2500-297X-2020-2-9-24

С точки зрения развития цивилизации, образовательные системы любой эпохи нацелены, в основном, на обучение людей решать проблемы этой эпохи. Как правило, эти проблемы, особенно в индустрии, от одной эпохи к другой значительно усложняются. При этом образовательные системы одних стран обучают решать эти сложные проблемы лучше, чем других и в результате за счет подготовленности кадров, высокой культуры организации труда, автоматизации производства, а также наличия природных ресурсов. Экономики этих стран имеют большие значения показателей валового продукта. Как следствие, это ведет к повышению уровня жизни населения и процветанию государства в целом. Поэтому с исторической и стратегической точек зрения эффективные образовательные системы являются одним из главных компонент механизма, «толкающего вперед» развитие цивилизации.

Стоит подчеркнуть, что до нашей эпохи человек решал все проблемы в пространстве деятельности с двумя степенями свободы, т.е. он решал их в когнитивно-реальном деятельностном пространстве. В нашу эпоху добавилась еще одна степень свободы, и пространство для развития социума с его экономикой стало с тремя степенями свободы, т.е. к когнитивно-реальному деятельностному пространству прибавилось виртуальное, и, в целом, пространство деятельности стало с тремя степенями свободы: когнитивное, виртуальное, реальное. В силу этого появились системы с новыми свойствами, основанными на технических средствах с программным обеспечением, Web-коммуникациях и «искусственном интеллекте», которые проникли во все сферы жизни. Эти системы как «интернет вещей» из техносферы стали интенсивно внедряться через образовательные системы в быт и в экономику. В результате в пространстве деятельности с тремя степенями свободы сформировалась

«цифровая экономика» с большим потенциалом возможностей повышения уровня производительности труда, что, в целом, увеличило «темпы жизни» общества и, в свою очередь, потребовало от человека нового уровня качества развития его «образованности». За рубежом «умные» «интернет-вещи» коротко называли SMART-системами. Из сказанного очевидно, что миссия образовательных систем нашей эпохи состоит в том, чтобы научить людей жить и работать в обществе с «цифровой экономикой». Также очевидно, что, если в этом процессе какая-то страна опоздает, то в конкурентной борьбе мировых экономик эта страна останется в прошлой эпохе.

Решение педагогических проблем методом поэтапного моделирования

Дидактическая инженерия [16; 20; 21] как методология организации автоматизированной учебной деятельности в пространстве с тремя степенями свободы появилась в силу исторической необходимости и призвана решить проблему обеспечения «цифровой экономики» квалифицированными кадрами через подготовку их на высокоэффективных автоматизированных системах. По этой методологии большинство педагогических проблем решаются методами, основанными на инженерном подходе. Это означает, что решения находятся на основе системного анализа методом поэтапного моделирования. Как правило, этапы поиска решения проблемы состоят из вербального, графического, табличного, математического, имитационного моделирования. Решение извечной педагогической проблемы: «Требуется разработать эффективную (по каким-то критериям) образовательную систему» в разные эпохи исторического развития экономики и быта заканчивалось (по мере потребности) на разных этапах метода поэтапного моделирования [2–5].

На первом этапе развития образовательных систем для решения проблемы эффективного обучения (в системе «учитель – ученик») оказалось достаточным использовать метод вербального моделирования, т.е. решение проблемы удавалось найти на первом этапе в цикле: проблема, системный анализ, вербальное моделирование, решение. На втором этапе развития образовательных систем появилась промышленность, т.е. объекты изучения и обучения сильно усложнились. Для решения проблемы эффективного обучения появилась потребность значительного увеличения информативной составляющей метода моделирования. Поэтому на данном этапе развития для решения основной педагогической проблемы потребовалось использовать методы графического, табличного моделирования в интеграции с вербальным моделированием,

т.е. поиск решения проблемы велся в цикле: проблема, системный анализ проблемной ситуации, вербальное, графическое, табличное моделирование. На третьем этапе исторического развития образовательных систем в экономике появились искусственные технические объекты, функционирующие под интеллектуальным управлением человека (автомобили, станки, самолеты, вычислительная техника), для создания этих объектов необходимо было проектировать их в метрическом (математическом) пространстве. Поэтому для решения проблемы построения эффективных технических, образовательных систем, наряду с вербальным, графическим, табличным методом моделирования, появилась необходимость использовать метрический метод, т.е. метод математического моделирования. На четвертом этапе развития экономики появилась вычислительная техника с программным обеспечением, которая уже в принципе (в зависимости от уровня развития «искусственного интеллекта») может имитировать и заменить управляющие функции человека.

Следует подчеркнуть, что при автоматизации любых процессов имитационная модель играет особую роль, т.к. представляет собой алгоритм программного обеспечения для автоматизированных систем, которые сами «умеют» найти решение проблемы. Это происходит потому, что модель имитирует работу какой-то системы, например, интеллектуальную деятельность человека, который ищет решение этой проблемы. При этом поиск решения большинства проблем, где это возможно, ведется в метрическом формате. Разумеется, результаты также представляются в цифровом формате. Очевидно, что в образовании это позволяет формализовать организацию учебного процесса (т.е. управление этим процессом ведется через формализованные механизмы обучающего и педагогического воздействия) и точно также формализовать процесс оценки качества результатов обучения с требуемой точностью и надежностью.

Особо стоит подчеркнуть, что формализация учебного процесса вызвана практической необходимостью, т.к. это позволяет автоматизировать весь комплекс процесса обучения, диагностики качества результатов, документооборота и делопроизводства в виртуальном пространстве, т.е. человек может учиться в этом пространстве, общаясь интерактивно с «умной» средой, сгенерированной дидактической системой в онлайн-режиме. В свою очередь, высокий уровень автоматизации дидактических систем с использованием «искусственного интеллекта», т.е. только с опосредованным участием преподавателя как проектировщика процесса обучения, позволит в перспективе отнести эти системы к классу дидактических SMART-систем.

Следует подчеркнуть, что процесс «потери» управляющих функций человека происходит постепенно. При проектировании автоматизированных сложных систем, эффективно функционирующих с какой-то точки зрения (критерия) в среде с тремя степенями свободы, на каждом иерархическом уровне их организации возникают, как правило, проблемы автоматизации управления.

Из исследований (см., например [22]), известно, что любая сложная открытая система функционирует так: *вход* преобразуется в *выход* путем целенаправленного *управления*, реализующего этот *выход* с помощью какого-то *механизма*. Следует подчеркнуть, что образовательные системы относятся к открытым суперсложным системам, с опосредованным управлением, т.е. в этих системах педагогическое и обучающее воздействие на человека передается опосредованно через образовательную среду. Из этого следует, что автоматизированные образовательные системы еще долго будут оставаться в классе киберфизических систем, несмотря на то, что произошел качественный скачок в деятельностном пространстве, который увеличил многократно возможности человека в деятельности, результаты которой отразились в экономике и во всем его жизненном пространстве.

Из всего сказанного следует, что в сфере образования глобальный научный интерес представляет собой решение проблемы проектирования эффективных SMART-систем и организация в их среде обучения, которое по многим основным критериям оптимальности могло бы конкурировать с эффективными системами обучения с квалифицированным преподавателем. Очевидно, что эта проблема имеет стратегический характер и может быть решена только в перспективе, усилиями ученых, работающих на стыке многих наук: педагогики, психологии, кибернетики, информатики, программной инженерии и т.д. В то же время очевидно, что, в конечном счете, эта проблема должна быть решена образовательной системой любого государства с «цифровой экономикой». Очевидно и то, что решение этой проблемы позволяет перейти в следующую эпоху развития нашей цивилизации, т.к. увеличит степень свободы деятельностного пространства и сделает это пространство уже с четырьмя степенями свободы со всеми выходящими из этого факта выводами.

Пример решения педагогической проблемы методом поэтапного моделирования

Ни для кого не секрет, что человек в течение всего своего жизненного цикла решает какие-то проблемы разной сложности, всю жизнь учится их эффективно решать. Очевидно, чем сложнее проблемы он научился и способен решать, тем ценнее он для общества со всеми исходящими из этого факта благами. Поэтому в повышении уровня развития

способностей решать сложные проблемы заинтересованы как сам человек, так и общество в целом. Исходя из этого, основной целью любой образовательной системы является повышение уровня развития способностей человека через обучение, которое необходимо ему для решения сложных жизненных проблем. На пути к достижению обозначенной цели возникает множество педагогических проблем (проблема 1, проблема 2, проблема 3, проблема 4 и т.д.). На отдельном примере продемонстрируем, как они будут решаться в рамках методологии «Дидактическая инженерия» методом поэтапного моделирования. Проблему адекватности этих моделей реальным процессам будем оценивать статистическими методами. Конкретно в данной работе рассмотрим только одну педагогическую проблему.

Проблема 1. Выявить интегративные показатели, от значений которых зависит повышение уровня развития деятельностного потенциала человека по решению проблем через обучение, и выразить цель подготовки через эти показатели.

Из анализа проблемной ситуации следует, что рассматриваемая проблема 1 распадается на несколько взаимосвязанных задач. В свою очередь, решения этих задач методом поэтапного моделирования позволяют в совокупности найти решение проблемы 1.

Задача 1. Построить модель процесса передачи информации и преобразования ее в обновленное знание человека.

Задача 2. На основе решения задачи 1 выявить интегративные показатели, характеризующие качества полноты и целостности обновленных знаний человека.

Задача 3. Построить модель организации деятельности человека для решения проблем и установить интегративные показатели, от значений которых зависит эффективность его деятельности.

Задача 4. Построить модель, отражающую цель подготовки обучающегося человека через его интегративные показатели (в формализованном виде представить цель подготовки).

Прежде чем приступить к решению проблемы 1 методом поэтапного моделирования, покажем, что дидактическая инженерия – это продолжение дидактики в эпохе самоорганизации деятельностного пространства человека с тремя степенями свободы.

Дидактическая инженерия как дальнейшее развитие дидактики

Следует особо подчеркнуть, что в рамках дидактики [4–7] на основе использования системного анализа и метода поэтапного моделирования решены множество педагогических проблем в формате «учитель – ученик». Например, ранее рассмотренные педагогические задачи 1–4

проблемы 1 усилиями педагогов и психологов в разных вариантах решены на уровне трех этапов поэтапного моделирования, т.е. они решены с использованием методов вербального, графического и отчасти табличного моделирования. Стоить отметить, что решение проблемы 1 только на этих этапах моделирования недостаточно для разработки программного обеспечения для автоматизированных систем обучения и диагностики. Поэтому решение проблемы 1 на основе системного анализа и моделей, разработанных на предыдущих этапах моделирования, должно быть дополнено решениями на этапах математического и имитационного моделирования. В целом, решение этой педагогической проблемы на всех этапах моделирования позволит разработать цифровую модель для проектирования «умных» автоматизированных систем обучения и диагностики. Таким образом, только на одном примере можно показать, что дидактическая инженерия – это продолжение классической дидактики, т.е. дидактическая инженерия – наука организации автоматизированной учебной деятельности в пространстве с тремя степенями свободы: когнитивном, виртуальном, реальном.

Решение задачи 1. На рис. 1 на базе вербальных моделей из педагогической психологии разработана графическая модель процесса передачи информации с преобразования ее в обновленные знания приемника.

Рис. 1. Модель процесса передачи информации с формированием ее через сознание человека в его знание

В этой модели рассматриваются источник и приемник информации. Приемником является человек. Источник содержит логически структурированную информацию, которая предназначена для передачи. На рисунке эта информация содержится во внутреннем контуре источника со структурой, заданной в виде информационной сети. За внутренним контуром источника содержится контекст 1 (мировоззренческая модель источника к которому интегрирована передаваемая информация) [2]. Очевидно, что, как правило, в зависимости от сложности передаваемой информации, контекст 1 не передается приемнику, т.к. физически передать весь контекст 1 сложной информации не представляется возможным. При этом передаваемая информация квантуется на логически структурированные единицы, например, отдельные предложения из всего текста, которые (в системе реального времени) воспринимаются приемником и через его сознание согласно смыслу пристраиваются (если это удастся по смыслу) к структуре контекста 2 (к «старым знаниям») приемника. Таким образом, эта операция «обновления знаний» через сознание приемника реализуема только в том случае, если есть возможность куда-то пристроиться в структуре контекста 2 приемника, иначе информация «зависает» на некоторое время в памяти приемника и затем, как правило, в большей мере забывается. Таким образом, один квант информации за другим квантом, т.е. предложение за предложением через сознание приемника синтезируется в «обновленное знание» приемника с изменением его структуры.

Разумеется, процесс передачи информации в реальности гораздо сложнее, чем описан в гипотетической модели, но эта модель адекватно отражает реальный процесс. Факт адекватности многократно проверен, на статистических данных с большой выборкой, описанная гипотетическая модель не отвергается экспериментальными данными с надежностью 95% [9]. Вывод: модель можно использовать на практике. На основе построенной модели можно подтвердить вывод, сделанный в психологии, что знания от любого объекта (субъекта) другому субъекту передать нельзя, а можно передать только информацию без контекста. Знание – это уникальное творение синтеза сознания в когнитивной сфере каждого человека.

Решение задачи 2. Из анализа разработанной модели (см. рис. 1) следует, что качество сформированности «обновленных знаний» можно охарактеризовать комплексом из двух количественных интегративных показателей [7; 11; 13].

Первый интегративный показатель – это полнота воспринятой человеком информации (показатель POL). Этот показатель характеризует, с какой надежностью человек умеет пересказать с пониманием

переданную ему информацию. Значение показателя POL можно оценить по результатам специально организованного педагогического тестирования с вопросами фактографического типа различной сложности. Еще раз обратим внимание на то, что обязательно, чтобы вопросы теста относительно переданной информации были по сложности и содержанию релевантными и валидными [15], т.к. только тогда можно проверить попадают ли «мыслительные умения» человека к соответствующему классу по таксономии Б. Блума [1; 19] объективно. Рассмотрим ситуацию: допустим, обучающийся с учетом весов сложности вопросов показал результат теста 70%, т.е. он воспринял переданную информацию и через свое сознание синтезировал ее в «новые знания». По факту (на основании результатов теста) это означает, что он с надежностью 70% эту воспринятую им информацию умеет пересказать с пониманием, т.е. $POL = pol = 0,7$.

Особо подчеркнем, что для классических, т.е. с преподавателем «знаниевых» образовательных систем, этот критерий оценки качества сформированности знаний обучающегося был достаточным, чтобы поставить: 2, 3, 4, 5 при соответствующей, по мнению преподавателя, сложности вопроса. К слову сказать, даже интуитивно понятно, что сложность вопроса теста для обеспечения достоверности результата необходимо оценивать объективно. Переход образовательных систем (согласно образовательному стандарту) к обучению, основанному на деятельностном подходе, в котором требуется проверить способность обучающегося применить свои знания еще на практике при решении проблем разной сложности, потребовал от него более высокого качества сформированности его знаний. В свою очередь, это требование высокого качества сформированности знаний человека предполагает его целостность, т.к. хотя бы частичная потеря целостности структуры любой информационной системы, в том числе и у человека, всегда приводит (закон системотехники) к уменьшению значения показателя функциональной эффективности этой системы.

Второй интегративный показатель – это целостность (показатель CHL) структуры «обновленных» через сознание человека знаний. Это обновление произошло за счет воспринятой в определенной полноте информации. Для определения значения этого показателя CHL потребуются специально организованный тест с вопросами разной сложности, которые позволяют проверить «мыслительные умения» человека при решении проблем разной сложности. Тест должен быть организован таким образом, чтобы «мыслительные умения» человека по результатам теста могли бы быть отнесены к разным классам по таксономии Б. Блума, в зависимости от качества их сформированности

(целостности) его знаний. Например, человек ответил на 30% вопросов теста с учетом весов их сложности, тогда $CHL = chl = 0,3$. Далее делается пересчет численного значения показателя качества по формуле $CZ = SQR(pol \cdot chl)$, который всегда находится в интервале от 0 до 1 и его можно сопоставить «мыслительным умениям» по Б. Блуму и пятибалльной шкале, которая принята в образовательной системе России (рис. 2). Особо отметим, что по результатам тестирования может появиться исключительная ситуация: допустим, $CHL = chl = 0$, тогда значение CZ вычисляется по формуле $CZ = SQR(pol \cdot pol)$, и если это значение попадает в интервал от 0,64 до 1, тогда в системах обучения, основанных на деятельностном подходе, в крайнем случае, можно поставить оценку 3. Это следует из того, что нет данных о способности использования знаний на практике. Для того, чтобы показать, как реализуется переход от качественной шкалы по классификации Б. Блума к количественной (цифровой) шкале, рассмотрим пример. Отметим, что соответствие между шкалами реализуется с надежностью 95% по критерию Пирсона. Допустим, по результатам диагностики на POL и CHL требуется установить, к какому классу по таксономии Б. Блума относятся «мыслительные умения» человека из определенной предметной области. При этом допустим, что конкретные результаты, следующие: $POL = 0,7$; $CHL = 0,3$. Вычисляем значение величины $CZ = SQR(0,7 \cdot 0,3) = SQR(0,21)$, т.е. вычисляем квадратный корень из числа 0,21 и получаем $CZ = 0,46$. Рассмотрим роль и смысл значений конкретных метрик показателей POL, CHL, CZ. В рассматриваемой ситуации по результатам теста можно сделать следующий вывод: у человека полнота знаний в проверяемой предметной области $POL = 70\%$ и он способен их применить на практике на $CHL = 30\%$. Смысл значения параметра CZ объясним на втором примере. Второй пример: $POL = 0,9$; $CHL = 0,8$; $CZ = 0,85$. Вывод: человек знает и понимает в проверяемой предметной области на $POL = 90\%$ и способен их применить на $CHL = 80\%$ в академической среде, т.е. в локальной среде без привлечения дополнительных ресурсов.

Детализируем эту ситуацию с точки зрения использования им аналитических (анализ, синтез) способностей, чтобы применить свои знания на практике. Допустим, человек решает какую-то проблему из какой-то предметной области не в академической изолированной среде, а в реальной среде, где он может привлечь дополнительные информационные ресурсы и синтезировать дополнительные знания плюс к тем, что у него имеются. Как показывает опыт, в динамике поиска решения с привлечением дополнительных информационных источников в реальной среде (плагиат исключается) человек увеличивает значение показателя CHL

до значения показателя CZ. Это обстоятельство раскрывает причину того, почему при решении проблем, сложность которых соответствует зоне «ближайшего развития», уровень развития способности повышается быстрее, чем при других режимах обучения. Из сказанного следует, что значение показателя CZ является скорректированным значением показателя CHL, полученных на основе синтеза дополнительных знаний при анализе проблемной ситуации на практике [10; 14].

Номер класса	Номер класса	Цифровая шкала (0, 1]	Пятибалльная шкала
4		$0,81 \Leftarrow CZ$	5
3		$0,65 \Leftarrow CZ \Leftarrow 0,8$	4
2		$0,33 \Leftarrow CZ \Leftarrow 0,64$	3
1			
0		$CZ \Leftarrow 0,32$	2

Рис. 2. Оцифрованная шкала «мыслительных умений» по таксономии Б. Блума и в пятибалльной шкале

Из анализа этой модели следует, что номер класса по таксономии Б. Блума адекватно отражается на цифровой шкале CZ, и эта шкала может объективно охарактеризовать «зону актуального развития» человека.

Решение задачи 3. Методологической основой для решения всех проблем у человека является системный анализ. В ряде работ показано, что все люди решают проблемы одним и тем же способом, состоящим из трех укрупненных операций [8]. Операция А – формализация проблемы, т.е. человек в процессе анализа проблемной ситуации в своей когнитивной сфере строит образ (модель) проблемы. Затем, согласно цели, через «мыслительные умения» трансформирует проблему в задачу или в комплекс задач. Операция В – конструирование плана решения задачи. Для этого человек на основе своих «мыслительных умений» с привлечением информационных ресурсов получает конструкт плана. Операция С – исполнение плана в какой-то среде (когнитивной, виртуальной, реальной). Разумеется, для исполнения плана в какой-то среде человек

использует свои «мыслительные умения» и другие ресурсы, которые необходимы для реализации этого плана. Таким образом, очевидно, что для успешного завершения каждой операции А, В, С при решении проблемы сложности S человек должен иметь определенного уровня развития формализационные (А), конструктивные (В), исполнительские (С) способности. Разумеется, при этом уровень развития ABC способностей должен быть соизмерим со сложностью S решаемой им проблемы. В то же время качество и количество ресурсов, т.е. знаний и других компонент, составляющих этот ресурс, должны быть достаточными для решения проблемы этой сложности.

В целом, методологическая модель на диаграмме SADT [22] – организации деятельности человека для решения проблем функционирует так: *вход* преобразуется в *выход* через *управление механизмом* подачи и обработки ресурсов. При этом на *выходе* результат X будет случайным событием, т.е. может быть «решил проблему» или нет. Значение вероятности случайного события X можно вычислить через какой-то функционал F(*), т.е.

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

где через А, В, С обозначены интегративные показатели, значения которых характеризуют уровни разбития формализационных, конструктивных, исполнительских способностей человека, решающего проблему сложности S; POL, CHL – интегративные показатели, значения которых характеризуют качество полноты и целостности знаний человека, решающего проблему сложности S; S – интегративный показатель сложности решаемой проблемы, значение которого оценивает эксперт (группа экспертов) через трудоемкость ее решения.

Очевидно, что деятельностный потенциал $Pot(Y, T = t) = \{A(t) = a, B(t) = b, C(t) = c, POL(t) = pol, CHL(t) = chl\}$ любого человека Y на актуальный момент времени $T = t$ ограничен значением сложности $S = s$ проблемы, которую он способен (статистически устойчиво) решить с высокой вероятностью $P(X) = p$. Математическая модель уравнения состояния уровня развития $Pot(Y, T = t)$, ограниченного сложностью $S = s$ решаемой проблемы, приводится в работах [22; 23]. Решение этого уравнения позволяет установить конкретное значение потенциала, т.е. $Pot(Y, T = t) = \{a, b, c, pol, chl\}$.

Решение задачи 4. Опираясь на результаты решений задач 1, 2, 3, можно построить модель цели подготовки человека через его интегративные показатели. Формулировка цели подготовки следующая: за интервал времени (t_1, t_2) через обучение довести уровень развития деятельностного потенциала обучающегося в рамках компетенции

с начального состояния $Pot(Y, T = t_1) = \{a(n), b(n), c(n), pol(n), chl(n)\}$ до целеполагающего состояния $Pot(Y, T = t_2) = \{a(k), b(k), c(k), pol(k), chl(k)\}$. На практике эта формулировка позволяет организовать эффективный процесс обучения через целенаправленное управление ресурсами (информационными, психологическими, материальными) обучения на основе полученных по обратной связи сведений об изменениях значений интегративных показателей. С системной точки зрения, это типичная задача «оптимального управления объектом через распределение ресурсов на основе данных, полученных по обратной связи», которая рассматривается, например, в эконометрике [24].

Разумеется, в рамках нашего исследования все другие педагогические проблемы, связанные с созданием автоматизированных дидактических систем, могут быть решены на основе полученных результатов решения проблемы 1.

Библиографический список / References

1. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. Воронеж, 1977. [Bespalko V.P. Osnovy teorii pedagogicheskikh system [Fundamentals of the theory of pedagogical systems]. Voronezh, 1977.]
2. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. М., 1991. [Verbitsky A.A. Aktivnoye obucheniye v vysshey shkole: kontekstnyy podkhod [Active learning in higher education: A contextual approach]. Moscow, 1991.]
3. Выготский Л.С. Педагогическая психология. М., 1996. [Vygotsky L.S. Pedagogicheskaya psikhologiya [Pedagogical psychology]. Moscow, 1996.]
4. Занков Л.В. Обучение и развитие. М., 1975. [Zankov L.V. Obucheniye i razvitiye [Education and development]. Moscow, 1975.]
5. Коменский Я.А. Великая дидактика // Коменский Я.А., Локк Д., Руссо Ж.-Ж., Песталоцци И.Г. Педагогическое наследие / Сост. В.М. Кларин, А.Н. Джуринский. М., 1989. [Comenius J.A. Great didactics. Comenius J.A., Lokk D., Rousseau J.J., Pestalozzi J.H. Pedagogicheskoe nasledie. Clarin V.M., Dzhurinsky A.N. (eds.). Moscow, 1989. (In Russ.)]
6. Математическая модель развития проектно-конструктивных способностей в деятельности / Нурiev Н.К., Обади А.А., Печеный Е.А., Старыгина С.Д. // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 7. С. 70–77. [Nuriev N.K., Obadi A.A., Pecheny E.A., Starygina S.D. Mathematical model of development of design abilities in activity. Modern High Technology. 2019. No. 7. Pp. 70–77. (In Russ.)]
7. Нурiev Н.К., Журбенко Л.Н., Старыгина С.Д. Дидактические системы нового поколения // Высшее образование в России. 2010. № 8-9. С. 128–137. [Nuriev N.K., Zhurbenko L.N., Starygina S.D. New generation didactic systems. Higher Education in Russia. 2010. No. 8-9. Pp. 128–137. (In Russ.)]

8. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия: подготовка инженеров в техногенной образовательной среде // Образование и наука. 2016. № 9 (138). С. 61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79. [Nuriev N.K., Starygina S.D. Didactic engineering: training engineers in a technogenic educational environment. *Education and Science*. 2016. No. 9 (138). Pp. 61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79. (In Russ.)]
9. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Дидактическая инженерия: технология подготовки IT-инженеров в техногенной среде // Альма-Матер (Вестник высшей школы). 2016. № 11. С. 64–67. DOI: 10.20339/AM.11-16.088. [Nuriev N.K., Starygina S.D. Didactic engineering: technology for training of IT-engineers in technic environment. *Alma Mater*. 2016. No. 11. Pp. 64–67. DOI: 10.20339/AM.11-16.088. (In Russ.)].
10. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Численная оценка продолжительности контрольного задания // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22. № 1. С. 61–67. [Nuriev N.K., Starygina S.D. Numerical assessment of the duration of the control task. *Educational Technology and Society*. 2019. Vol. 22. No. 1. Pp. 61–67. (In Russ.)]
11. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д., Гибадуллина Э.А. Дидактическая инженерия: проектирование систем обучения нового поколения // Интеграция образования. 2016. Т. 20. № 3 (84). С. 393–406. DOI: 10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406. [Nuriev N.K., Starygina S.D., Gibadullina E.A. Didactic Engineering: Designing a New Generation Learning System. *Education Integration*. 2016. Vol. 20. No. 3 (84). Pp. 393–406. DOI: 10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406. (In Russ.)]
12. Обади А.А., Печеный Е.А., Нуриев Н.К. Математические модели прогноза и оперативного управления развитием многопараметрических объектов // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 8. С. 55–60. [Obadi A.A., Pecheny E.A., Nuriev N.K. Mathematical models of forecasting and operational management of the development of multi-parameter objects. *Modern High Technology*. 2019. No. 8. Pp. 55–60. (In Russ.)]
13. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К. Теоретические основы дидактической инженерии // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22. № 1. С. 101–110. [Starygina S.D., Nuriev N.K. Theoretical foundations of didactic engineering. *Educational Technology and Society*. 2016. Vol. 22. No. 1. Pp. 101–110. (In Russ.)].
14. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К., Нургалиева А.А. Численная оценка качества учебных on-line курсов // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22. № 1. С. 68–78. [Starygina S.D., Nuriev N.K., Nurgalieva A.A. Numerical assessment of the quality of on-line training courses. *Educational Technology and Society*. 2019. Vol. 22. No. 1. Pp. 68–68. (In Russ.)]
15. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К. Экспертиза качества результата тестирования // Инженерное образование. 2018. № 24. С. 186–192. [Starygina S.D., Nuriev N.K. Examination of the quality of the test result. *Engineering Education*. 2018. No. 24. Pp. 186–192. (In Russ.)]
16. Чошанов М.А. Дидактика и инженерия: Учебное пособие. М., 2011. [Choshanov M.A. Didaktika i inzheneriya [Didactics and engineering]. Textbook. Moscow, 2011.]

17. Эконометрика / Под ред. И.И. Елисеевой. М., 2002. [Ekonometrika [Econometrics]. I.I. Eliseeva (ed.). Moscow, 2002.]
18. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М., 1959. [Ashby U.R. Vvedeniye v kibernetiku [Introduction to Cybernetics]. (translated in Russ.). Moscow, 1939.]
19. Bloom B. Taxonomy of educational objectives. The classification goals. N.Y., 1956.
20. Douady R. Didactic engineering. *Learning and Teaching Mathematics: An International Perspective*. Nunes T., Bryant P. (ed.). East Sussex, 1997. Pp. 373–401.
21. Douady R. L'intenierie didactique : une methodologie privilegiee de la recherche. *Proceedings of 11th PME Conference*. Montreal, Canada. 1987. Vol. 3. Pp. 222–228.
22. Marsa D.A., Clement L. McGoman. SADT: Structured Analysis and Design Technique. McGraw-Hill, 1988.

Статья поступила в редакцию 29.11.2019, принята к публикации 19.01.2020

The article was received on 29.11.2019, accepted for publication 19.01.2020

Сведения об авторах / About the authors

Нуриев Наиль Кашапович – доктор педагогических наук, профессор; заведующей кафедрой информатики и прикладной математики, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Nail K. Nuriev – Dr. Pedagogy Hab.; head at the Chair of Information Science and Applied Mathematics, Kazan National Research Technological University

E-mail: nurievnk@mail.ru

Старыгина Светлана Дмитриевна – кандидат педагогических наук; доцент кафедры информатики и прикладной математики, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Svetlana D. Starygina – PhD in Pedagogy; associate professor at the Department of Information Science and Applied Mathematics, Kazan National Research Technological University

E-mail: svetacd_kazan@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Нуриев Н.К. – общая идея и руководство направлением исследования, участие в подготовке текста.

Старыгина С.Д. – разработка цифровых моделей, проверка статических гипотез, структурирование и оформление статьи.

Contribution of the authors

N.K. Nuriev – general idea and direction of the research, research direction, participation in the preparation of the text.

S.D. Starygin – digital model development, static hypothesis testing, article structuring and design.