

**Нуриев Н.К., Старыгина С.Д.**

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия  
E-mail: nurievnk@mail.ru, staryginasd@corp.knrtu.ru

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДИДАКТИКА КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СТУДЕНТА**

В параметрической дидактике любая система обучения трактуется как система актуализации средств выживания человека за счёт прироста ресурсов разума в жизнедеятельной среде. Опыт показывает, что, как правило, чем сложнее проблемные ситуации, тем больше интеллектуальных ресурсов требуется для ее решения. Поэтому, обучение сориентировано на их быстрое целенаправленное развитие. Любая, кибер-физическая дидактическая система представляет собой динамическую систему, в которой происходит преобразование входных ресурсов разума студента в выходные под воздействием ресурсов управленческого механизма (преподаватель, кибер-ассистент, цифровая среда с искусственным интеллектом). При этом управление нацелено на то, чтобы ресурсные потенциалы разума на выходе системы устойчиво превосходили сложность профессиональных задач, с которыми выпускник может столкнуться на практике. На практике, управление реализуется через организацию строго регламентированного директивного технологического процесса, в рамках которого организуется гибкий адаптивный к индивидуальным особенностям студента подпроцесс, создающий условия для всестороннего раскрытия его интеллектуального потенциала. В модели, технологический маршрут строится как непрерывный цикл: «диагностика параметров — постановка целевых состояний — проектирование проблемной среды и маршрута — реализация и поддержка (преподавателем и кибер-ассистентом) — мониторинг и коррекция параметров». По своей сути получается, что система управляет не «знаниями по темам курса», а траекторией приращения ресурсов разума студента относительно сложности решаемых задач в востребованных компетенциях. Показано, что быстро реализовать развитие интеллектуального потенциала студента возможно в кибер-физических образовательных системах.

**Ключевые слова:** образование в Индустрии 4.0, параметрическая дидактика, кибер-физическая система, развитие интеллектуальных ресурсов, цифровой двойник студента, кибер-ассистент.

**Nuriev N.K., Starygina S.D.**

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia  
E-mail: nurievnk@mail.ru, staryginasd@corp.knrtu.ru

## **PARAMETRIC DIDACTICS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: A METHODOLOGICAL MODEL FOR MANAGING THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' INTELLECTUAL RESOURCES**

In parametric didactics, an educational system is viewed as a mechanism for actualizing human survival capabilities through the growth of intellectual resources within the life environment. The more complex the problem, the greater the intellectual effort required for its resolution. Hence, learning is aimed at the rapid and purposeful development of mind resources. A cyber-physical didactic system functions as a dynamic structure that transforms a student's cognitive inputs into outputs under the influence of management resources—such as the teacher, cyber-assistant, and AI-based digital environment. The management goal is to ensure that the student's intellectual capacities at the system's output reliably exceed the complexity of professional tasks encountered in practice. In practice, management is executed through a strictly regulated technological process combined with a flexible, individual-adaptive subprocess designed to create conditions for comprehensive intellectual development. The technological route operates as a continuous cycle: parameter diagnostics, goal setting, problem environment and route design, implementation and support (by teacher and cyber-assistant), monitoring, and parameter adjustment. Thus, the system manages not discrete “course knowledge,” but the trajectory of the student's intellectual resource growth relative to the difficulty of target tasks within relevant competencies. Studies demonstrate that cyber-physical educational systems enable accelerated development of students' intellectual potential by creating adaptive, data-driven learning environments where cognitive challenges are continuously aligned with individual progression and professional demands.

**Keywords:** Education in Industry 4.0, parametric didactics, cyber-physical system, development of intellectual resources, student digital twin, cyber-assistant.

Изменение индустрии для человека означает глубокую трансформацию всех аспектов трудовой деятельности, а также взаимодействие в социальной сфере и в производстве. Эти изменения создают новые возможности для развития человечества, но также требуют для человека адаптации к новым условиям и постоянного обучения. В современную эпоху ключевым драйвером таких требований стало массовое внедрение вычислительной техники, цифровых средств обработки, хранения и передачи информации. В целом, это привело к революционным изменениям в промышленности и социальной сфере, что создало предпосылки к формированию качественного нового формата индустрии — Индустрии 4.0 [1]. В обобщенном виде Индустрию 4.0 целесообразно рассматривать как крупномасштабную кибер-физическую систему [2], в которой подсистема управления строится на взаимодействии человеческого и машинного (искусственного интеллекта — ИИ) интеллектов. На рис. 1 представлена контекстная структурно-функциональная SADT-модель [3], отражающая общий принцип ее работы. На концептуальном уровне такая система подчиняется универсальному закону функционирования динамических систем (закон ФДС): ресурсы ВХОДА преобразуются в ресурсы ВЫХОДА под воздействием ресурсов УПРАВЛЕНИЯ с использованием ресурсов МЕХАНИЗМА.

В этой модели через C1, C2 обозначены ресурсные компоненты (C1 — человеческий фактор; C2 — ИИ — фактор) кибер-челове-

ческого УПРАВЛЕНИЯ. Через C3, C4 обозначены ресурсные компоненты ВХОДА, а через C5, C6 — ресурсные компоненты ВЫХОДА и C7 — ресурсные компоненты МЕХАНИЗМА.

Важным инструментом таких систем выступают цифровые двойники [4] — виртуальные модели объектов и процессов, чьи параметры максимально синхронизированы с реальными состояниями физических прототипов в режиме близком к реальному времени. Наличие цифрового двойника позволяет еще до реализации события «проигрывать» проблемную ситуацию, т.е. осуществлять анализ, прогнозирование и опережающую коррекцию управления объектом, отслеживая динамику ключевых параметров и предотвращая переход в проблемные или аварийные режимы. В логике Индустрии 4.0 цифровые двойники совместно с ИИ служат механизмом интенсификации и оптимизации производственных и бизнес-процессов, снижая риски и повышая эффективность использования ресурсов.

Очевидно, что эффективная подготовка специалистов к работе в среде Индустрии 4.0 [5] возможна лишь в специально организованной интенсивной кибер-физической образовательной среде, ориентированной на целенаправленное развитие интеллектуального потенциала в параметрическом формате.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** разработка концептуальной модели кибер-физической образовательной системы как инструмента, обеспечивающего быстрое развитие интеллектуальных

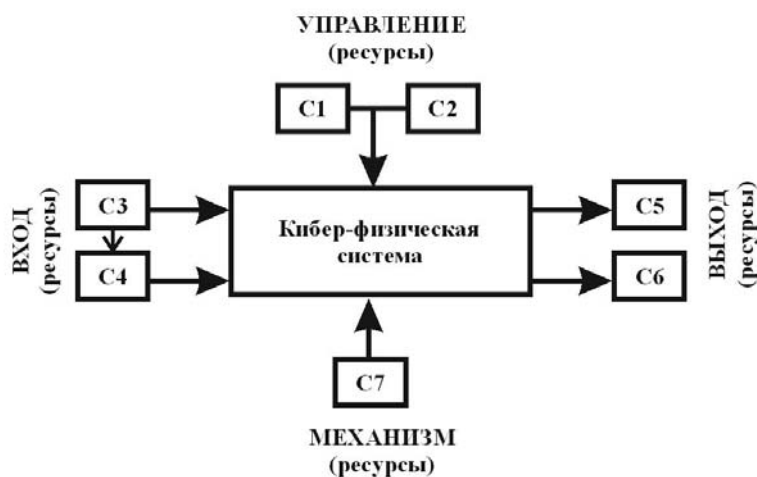


Рисунок 1 — Контекстная диаграмма SADT для кибер-физической системы

ресурсов студентов на основе теоретико-методологической платформы параметрической дидактики.

**Параметрическая дидактика как теоретико-методологическое средство для эффективного развития интеллектуальных ресурсов**

С системно-параметрической позиции можно утверждать, что на концептуальном уровне человек представляет собой самоорганизующуюся и саморазвивающуюся систему, в которой воплощено единство физического, психического тела и разума. В целом, эта триада «физическое — психическое тело — разум» задает три взаимосвязанных подсистемы, для которых можно ввести свои группы ключевых параметров (параметров порядка [6]). Эти группы взаимосвязанных параметров с разных сторон характеризуют уровни состояний и направления развития (прогресс, регресс, стагнация) всех его подсистем в жизнедеятельной среде. Разумеется, в контексте цели исследования, особый интерес представляет вопрос организа-

ции образовательной среды быстрого развития интеллектуальных ресурсных параметров разума студента, соответствующей вызовам РЕАЛЬНОСТИ как системы бытия. Многовековой опыт показывает, что высокоразвитый интеллект наделяет человека способностью разрешать сложные проблемные ситуации с высокой вероятностью.

Рассмотрим, концептуальную SADT-модель дидактической системы, функционирующую в параметрическом формате (рис. 2).

В общем плане, как любая динамическая система, SADT — модель дидактической системы функционирует по закону ФДС. Как уже было сказано во введении, в конкретном случае это означает, что дидактическая система на концептуальном уровне всегда (инвариантно) работает таким образом. Ресурсы ВХОДА (с конкретными значениями параметров) трансформируются в ресурсы ВЫХОДА (с конкретными значениями параметров) под воздействием ресурсов УПРАВЛЕНИЯ (с конкретными значениями параметров) с помощью ресурсов МЕХАНИЗМА (с конкретными значениями

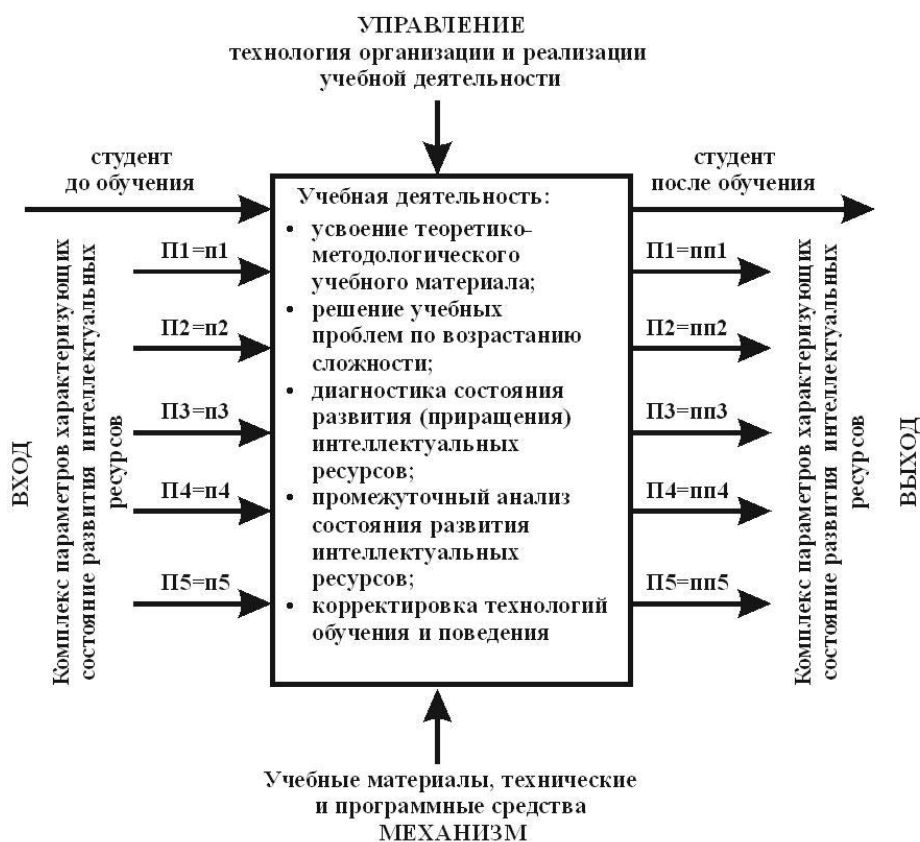


Рисунок 2 – Параметрическая SADT-модель дидактической системы

параметров). Поэтому, с параметрической точки зрения, в любой дидактической системе интеллектуальное развитие студента в ходе обучения происходит инвариантно следующим образом. Студент с определенными значениями комплекса ключевых параметров ( $П1 = п1$ ,  $П2 = п2$ ,  $П3 = п3$ ,  $П4 = п4$ ,  $П5 = п5$ ), которые характеризуют состояния развития его интеллектуальных ресурсов [7] до обучения, поступает на ВХОД дидактической системы (см. рис. 2). Этот комплекс можно считать параметрическим цифровым двойником интеллектуальных ресурсов студента, который он развил еще до рассматриваемого обучения. На ВЫХОДЕ (см. рис. 2) тот же студент, но после освоения требуемой компетенции в конкретной образовательной среде будет иметь приращенные значения параметров ( $П1 = пп1$ ,  $П2 = пп2$ ,  $П3 = пп3$ ,  $П4 = пп4$ ,  $П5 = пп5$ ) интеллектуальных ресурсов. Таким образом, его параметрический цифровой двойник интеллектуальных ресурсов под воздействием технологической образовательной среды на сколько-то изменит состояние значений своих параметров. В целом, этот комплекс параметров будет характеризовать новое состояние развития интеллектуальных ресурсов разума студента, которое на основе его цифрового двойника можно визуализировать. Механизм развития следующий. В ряде работ [8], [9] было показано, что интеллектуальные ресурсы разума и сложность решаемых проблем находятся в отношениях взаимного «вызова», т. е. в эволюции проблемы «выживания» человека толкали его разум к развитию, а развитый разум открывал доступ к решению всё более масштабных и сложных проблем. Бесспорно, на этой связи основано любое обучение. На практике, конкретные значения этих параметров, т. е. сложности проблем и уровня развития интеллекта, можно фиксировать численно на основе специально разработанных тестов [10].

В целом, усредненный показатель эффективности (ЭФ) работы любой конкретной параметрической дидактической системы, построенной на параметрической теоретико-методологической платформе, зависит от разницы значений параметров, которые были до и после обучения. Формально эту разницу можно вычислить по изменению состояния цифрового двойника конкретного студента, т. е.

$эф1 = пп1 - п1$  — эффективность приращения по первому параметру;

$эф2 = пп2 - п2$  — эффективность приращения по второму параметру;

$эф3 = пп3 - п3$  — эффективность приращения по третьему параметру;

$эф4 = пп4 - п4$  — эффективность приращения по четвертому параметру;

$эф5 = пп5 - п5$  — эффективность приращения по пятому параметру.

В рассматриваемом случае, показатель средней эффективности параметрической дидактической системы с определенной технологической средой, можно вычислить как среднее арифметическое, т. е.

$$ЭФ = (эф1 + эф2 + эф3 + эф4 + эф5) / 5.$$

Особо отметим, что, в целом, на концептуальном уровне значение показателя эффективности обучения студента (ВЫХОДА) будет зависеть, в основном, от трех ключевых факторов (см. рис. 2): от эффективности УПРАВЛЕНИЯ; от эффективности МЕХАНИЗМА развития дидактической системы; от природных особенностей самого студента (ресурсов ВХОДА).

При этом, подчеркнем, что в параметрической дидактической системе педагогическая технология (см. рис. 2) организации и реализации учебной деятельности одновременно рассматривается как метод УПРАВЛЕНИЯ и средство-МЕХАНИЗМ достижения цели. На практике это означает, что педагогическая параметрическая технология (ППТ) — это метод и средство быстрого развития интеллектуальных ресурсов конкретного студента путем создания специальной образовательной среды. Очевидно, что от этой образовательной среды, во многом, зависит значение эффективности обучения. При этом, стоит особо подчеркнуть, что для достижения высокой эффективности по любой технологии необходимо обязательно учесть природные особенности студента (его обучаемость, задатки, темперамент, доминантные особенности интеллекта, психотип и т. д.). Таким образом, на концептуальном уровне при параметрическом подходе, можно утверждать, что значение показателя эффективности (ЭФ) обучения будет функционально зависеть от ППТ. В то же время, при гибкой корректировке ППТ,

в зависимости от значения параметров (П1, П2, П3 и т. д.) цифрового двойника студента, значения внутренних параметров этой технологии будут изменены с учетом природных особенностей СТУДЕНТА [9].

**Методологическая модель  
организации и реализации  
учебной деятельности  
в параметрических системах**

В целом, методологическая модель любого процесса представляет собой определенную инструкцию по работе с этим процессом, объединяющая теорию и практику для достижения предсказуемых результатов. В конкретном случае, методологическая модель организации и реализации учебной деятельности в параметрическом формате, представляет собой комплекс инструктивных требований к технологии, т. е. к ППТ.

Как показывает опыт [10], [11], в параметрических дидактических системах к педагогической технологии предъявляется следующий комплекс ключевых взаимосвязанных требований, в основном приемлемы для инженерного образования.

1. В организационном плане, параметрическая технология должна поддерживать Директивный Технологический Процесс (ДТП [12]), основанный на конвейерном принципе организации учебной деятельности. На практике это означает, что строго соблюдается технологический маршрут обучения (промежуточную отчетностью мониторинг кибер-ассистент). В промежутках между отчетами создается адаптивная к личности образовательная среда, в котором все «хитрые» обходные пути по несоблюдению сроков отчетности закрыты. В целом, для успешности в учебной деятельности необходимо «тупо» интеллектуально работать, во многом самостоятельно с учетом специфики своих внутренних ресурсов.

2. Технология обязательно адаптируется под конкретную дисциплину.

3. В творческом плане, деятельность основываться на ключевых идеях развивающего обучения [13]. Эти идеи включают: опережающее развитие студента через проблематизацию содержания, вовлечение эмоциональной сферы, индивидуальный подход и вариативность процесса; развитие способов умственной деятельности (ана-

лиз, синтез, обобщение и рефлексия); стимулирование самомотивированного творческого мышления и самоуправления. В целом, студент должен осознавать смысл необходимости быстрого развития интеллектуальных ресурсных параметров через обучение и активно участвовать в поиске решений учебных проблем по возрастанию их сложности на пределе своих возможностей.

4. На идеях проблемного обучения [14]. На практике это означает формирование образовательных баз проблемных ситуации, связанных с реальными профессиональными проблемами; содействие самостоятельному поиску решения и обоснованию новых способов действий, с обязательной организацией обсуждения противоречивых ситуаций; фиксацию качества решений дополнительными критериями оценки их оригинальности и практичности; обязательный контроль, при котором не менее 80 % студентов продемонстрируют компетентность в решении нестандартных задач на итоговых аттестациях.

5. Обязательно придерживаться принципа обучения «от простого к сложному».

6. Организовать обучение через «зоны ближайшего развития» [15]. Это означает диагностику актуального уровня и подбор задания «чуть выше» возможностей студента, выполнимых при сопровождении; пошаговые подсказки, наводящие вопросы, частичные образцы решений; совместную деятельность (работа в группах, где более успешные помогают другим в решении нетривиальных задач); постепенное снятие помощи с переходом от «вместе с преподавателем, сокурсником, Интернетом» к самостоятельным действиям.

7. Теоретический и методологический материалы, необходимые для освоения компетенций должны быть представлены в формате полнотекстовых баз знаний [16], удовлетворяющие требованиям валидности и релевантности, а также обладающие свойствами полноты (показатель качества параметр POL) и целостности (параметр качества CHL). Разумеется, показатели POL и CHL учебных материалов устанавливаются относительно ФГОС и соответствующих учебных планов.

8. Весь практический материал (учебные проблемные ситуации) должны быть разбиты на три класса: А-класс проблемных ситуаций для формализации с трансформацией их в зада-

чи; В-класс задач на конструирование алгоритмов поиска их решений; С-класс задач на исполнение эти алгоритмов в реальности. В каждом классе все задачи должны быть ранжированы по возрастанию их сложности с указанием параметров этой сложности (оценивается экспертом по их трудоемкости [17] в эксперт-часах).

9. На практике, результаты поточного обучения студентов по педагогической параметрической технологии должны обладать статистической устойчивостью по эффективности с высокой вероятностью.

10. Синтезированная на основе требований пунктов 1–9 педагогическая параметрическая технология должна обладать свойством «гибкости-адаптивности» к личности.

**Пример построение временного ряда как цифрового двойника постепенно развивающегося студента в образовательной среде**

На практике «гибкость-адаптивность» технологии означает, наличие гибкой системы УПРАВЛЕНИЯ обучением, индивидуализированной относительно студента при организации его обучения через «зоны ближайшего развития» [9]. В целом, от этого фактора, во многом, зависит эффективность всей системы УПРАВЛЕНИЯ обучением. Поясним, как это происходит на конкретном примере. Допустим, базовый учебный курс (УК) по которому происходит освоение компетенции по учебному плану, имеет древовидную структуру организации содержания (рис. 3).

В рамках установленного времени на освоение материала данного учебного курса формируется план-график развития компетенций. Основная цель обучения заключается в обеспечении максимального прироста интеллектуальных ресурсов каждого студента к завершению курса. На начальном этапе УПРАВЛЕНИЕ развитием

интеллектуальных ресурсов студента (в первом приближении) сводится к задаче эффективного регулирования приращений значений соответствующих параметров. В дальнейшем, т. к. эти параметры между собой коррелированы с учетом особенностей студента, проблема эффективного УПРАВЛЕНИЯ сильно усложняется и рассматривается как математическая задача [18]. Поэтому, забегая вперед отметим, что анализ и принятие решений по эффективному УПРАВЛЕНИЮ развитием в системе реального времени как правило, делегируется кибер-ассистенту с развитым ИИ.

При реализации это происходит так. В самом начале обучения, решение по конкретным датам и точкам контроля принимается преподавателем. Например, исходя из структуры графа организации содержания УК (см. рис. 3), в качестве контрольных точек диагностирования выбраны следующие этапы: 1. Тест — окончание изучения (РД 1.1); 2. Тест — окончание изучения (РД 1.2); 3. Тест — окончание изучения (РД 1.3); 4. Тест — окончание изучения (РД 2); 5. Тест — окончание изучение (РД 3).

В качестве демонстрационного примера рассмотрим результаты одного студента, например, ИВАНОВА. Предположим, что по завершении изучения материала он получил результаты представленные в таблице 1. Эти данные, упорядоченные во времени образуют многопараметрический временной ряд, отражающий динамику развития интеллектуальных ресурсов ИВАНОВА, полученных в процессе обучения.

Следует особо отметить, что этот временной ряд, состоящий из параметров интеллектуальных ресурсов студента, полученных по ходу обучения, можно считать цифровым двойником ИВАНОВА (в рамках освоенной компетенции), т.к. он отражает динамику и состояние его интеллектуальных ресурсов в режиме реального времени и используется для анализа, прогнози-

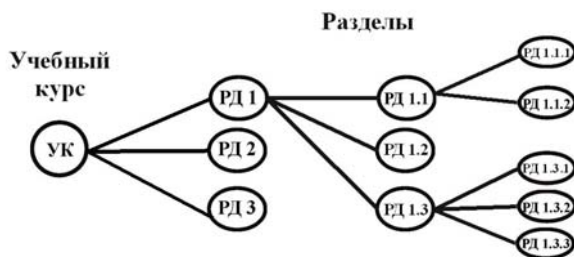


Рисунок 3 — Древовидный граф организации содержания учебного курса

рования и оптимизации образовательного процесса в дальнейшем.

### Идентификация параметров

#### П1, П2, П3, П4, П5 — интеллектуальных ресурсов студента

Бесспорно, что для человека любая деятельность (мотив к деятельности) начинается с мысли. Например, при разрешении любой проблемной ситуации все люди действуют одинаково в таком порядке: А — формализуют проблему, т. е. на основе своих знаний-опыта стараются как-то понять и превратить ее в задачу ликвидации этой проблемы; В — на основе своих знаний-опыта конструируют план (алгоритм) решения этой задачи ликвидации; С — на основе своих знаний-опыта-навыков исполняют (реализуют) этот план в жизнедеятельной среде. Разумеется, при этом у всех людей разные показатели полноты POL и целостности CHL знаний-опыта-навыков в области решаемой проблемы, а также разными являются уровни развития А, В, С — способностей разума.

Таким образом, в истории у человечества выработался одинаковый быстрый-инстинктивный логический путь разрешения проблемной ситуации. Это следует из того, что в эволюции быстрое решение проблемы означало выживания при опасности, и в тоже время в зависимости от жизнедеятельной среды интеллектуальные и другие ресурсы у всех стали разные. Отсюда вывод: для любого человека событие «Успешно разрешить проблемную ситуацию» является случайным событием X. Из приведенного рассуждения следует, что вероятность-мера P(X), что произойдет случайное событие X, в значительной степени зависит от конкретных значений параметров А, В, С, POL, CHL, а также

от значения параметра сложности S проблемной ситуации. Таким образом, стохастическую зависимость можно выразить формально: вероятность успешности результата зависит от значений следующих параметров ..., т. е.

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

Приведенные в работах [7], [9] результаты системного анализа показывают, что параметр П1 идентичен параметру А, П2 идентичен параметру В и т.д. В целом, эти факты идентичности запишем так: П1 = А — формализационные; П2 = В — конструктивные; П3 = С — исполнительские способности решателя; П4 = POL — полнота; П5 = CHL — целостность качества знаний решателя из проблемной области. Итак, после решения задачи идентификации концептуальную SADT — модель параметрической дидактической системы можно представить, как на рис. 4. Далее, исходя из практической целесообразности эту модель можно детализировать (декомпозировать), опираясь на свойства фрактальности [19] методологии SADT.

Концептуальная модель кибер-физической образовательной системы. При функционировании кибер-физической системы формируется реально-виртуальная образовательная среда (РВОС) (рис. 5). Это особенно значимо для инженерного образования, т.к. обязательная реальная составляющая в РВОС позволяет организовать директивный технологический процесс с большим объемом самостоятельной работы и конкретными датами отчетности, контролируемой кибер-ассистентом на основе изменений параметров А, В, С, POL, CHL студента. Как показывает многолетний опыт подготовки IT-инженеров, студенту для преодоления «профессиональной сложности» при освоении

Таблица 1 — Динамика многопараметрического временного ряда развития интеллектуальных ресурсов ИВАНОВА в ходе обучения

Параметры ИВАНОВ \ Текущее время	t1 РД1.1	t2 РД1.2	t3 РД1.3	t4 РД2	t5 РД3
П1	п(1,1)	п(1,2)	п(1,3)	п(1,4)	п(1,5)
П2	п(2,1)	п(2,2)	п(2,3)	п(2,4)	п(2,5)
П3	п(3,1)	п(3,2)	п(3,3)	п(3,4)	п(3,5)
П4	п(4,1)	п(4,2)	п(4,3)	п(4,4)	п(4,5)
П5	п(5,1)	п(5,2)	п(5,3)	п(5,4)	п(5,5)

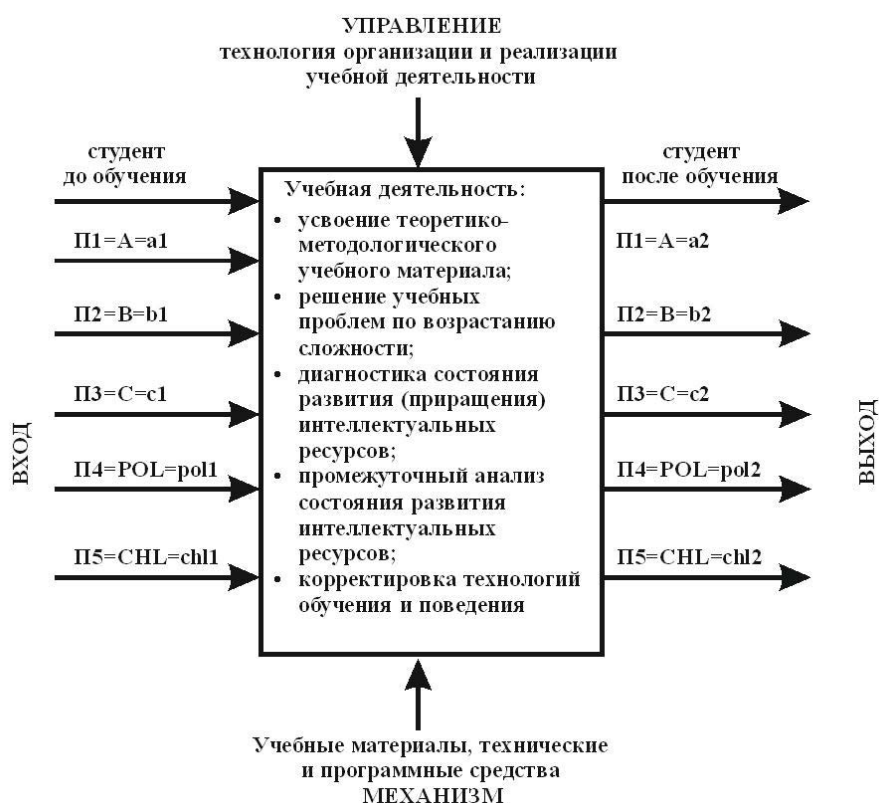


Рисунок 4 – Концептуальная (контекстная) модель параметрической дидактической системы



Рисунок 5 – Модель кибер-физической образовательной среды как пересечения реальной и виртуальной сред быстрого развития интеллектуальных ресурсов в требуемых компетенциях

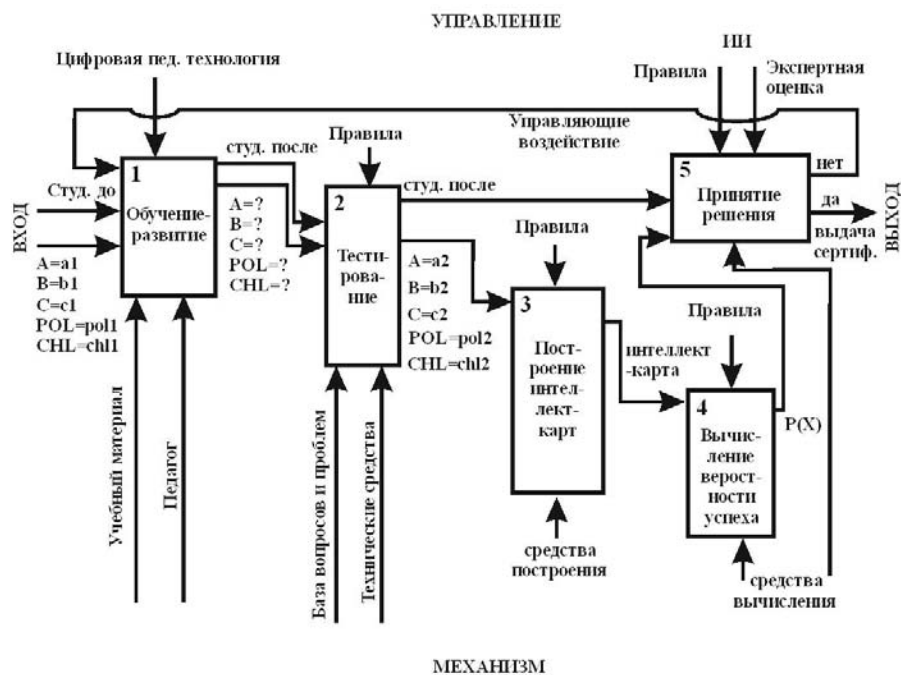


Рисунок 6 – Структурно-функциональная SADT-модель организации ИИ-кибер-ассистента

компетенций в параметрических дидактических системах необходимо обязательно организовать «допустимый прессинг» и строго регламентированную учебную работу, нацеленную на быстрое развитие интеллектуальных ресурсов.

Основными действующими субъектами-объектами кибер-физической среды являются: преподаватель, студент, цифровой двойник студента, ИИ-кибер-ассистент преподавателя. На рис. 6 приводится структурно-функциональная SADT-модель такого кибер-ассистента [20]. Как уже было отмечено ранее, каждый блок и система в целом в структуре SADT-модели функционирует согласно закону ФДС, поэтому логика функционирования кибер-ассистента в образовательной среде становится интуитивно понятной.

В целом, в параметрических дидактических системах кибер-ассистент выполняет аналогичную работу, что и LMS, например, MOODLE в цифровых дидактических системах. Очевидно, что эта работа делается в расширенном (функционально и интеллектуально) варианте. При этом, бесспорно, то, что разработка программного обеспечения (ПО) ИИ-кибер-ассистента, масштабированного делопроизводства и документооборота для организации обучения в кибер-физических параметрических дидактических системах имеет стратегическое значение для всей страны. Поэтому, создание данного комплекса следует осуществить на государственном уровне в кратчайшие сроки.

03.12.2025

#### Список литературы:

1. Шеер, А.В. Индустрия 4.0: от прорывной бизнес-модели к автоматизации бизнес-процессор / А.В. Шеер. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2020. — 272 с.
2. Махотин, Д.А. Киберфизические системы в образовании / Д.А. Махотин // Интерактивное образование. — 2020. — № 1. — С. 14–17.
3. Мещерякова, А.А. Методология функционального моделирования SADT / А.А. Мещерякова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2018. — Т. 6. — № 7 (43). — С. 66–70.
4. Абрамов, В.И. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития / В.И. Абрамов, В.В. Гордеев, А.Д. Столяров // Вопросы инновационной экономики. — 2024. — №3. — С. 691–716.
5. Шевякова, А.Л. Развитие компетенций для Индустрии 4.0: квалификационные требования и решения / А.Л. Шевякова, Е.С. Петренко, А.К. Уразбеков // Вопросы инновационной экономики. — 2020. — Том 10. — № 1. — С. 85–102.
6. Юшин, В.Н. Параметры порядка и управляющие параметры педагогического процесса / В.Н. Юшин, Д.А. Коростелёв // Образование и общество. — 2016. — № 4-5 (99-100). — С. 35–38.
7. Нуриев, Н.К. Параметрическая дидактика: разработка кибер-физического концепта в образовании / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2025. — №1 (245). — С. 106–113.
8. Старыгина, С.Д. Разработка теоретико-методологической инструментальной цифровой платформы дидактики / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Современные наукоёмкие технологии. — 2023. — № 2. — С. 169–178.

9. Казакова, У.А. Модели, методы и технологии подготовки преподавателей технических вузов и IT-инженеров: монография / У.А. Казакова, Н.К. Нуриев, В.В. Кондратьев, М.Ф. Галиханов, С.Д. Старыгина. — Казань: Изд-во «РАР», 2024. — 192 с.
10. Старыгина, С.Д. Педагогическая параметризованная технология подготовки инженеров для индустрии 4.0 / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Казанская наука. — 2024. — № 2. — С. 115–120.
11. Старыгина, С.Д. Параметрический подход в педагогике: метрическая модель «развивающего» обучения с цифровой технологией подготовки / С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев // Управление устойчивым развитием. — 2022. — № 1 (38). — С. 96–104.
12. Селиванов, С.Г. Метод оптимизации директивных технологических процессов в АСТПП / С.Г. Селиванов, С.Н. Поезжалова // Вестник УГАТУ. — Том 16. — № 6 (51). — С. 53–61.
13. Давыдов, В.В. Проблемы развивающего обучения / В.В. Давыдов. Изд-во Academia, 2004. — 288 с.
14. Ибрагимов, Г.И. Проблема закономерностей и принципов обучения в отечественной педагогике: монография / Г.И. Ибрагимов. — Казань: редакционно-издательский центр «Школа», 2018. — 68 с.
15. Выготский, Л.С. Психология развития человека / Л.С. Выготский, А.А. Леонтьев. — М.: Эксмо, 2003. — 1136 с.
16. Гаврилова, Т.А. Когнитивный подход к созданию онтологии / Т.А. Гаврилова, А.В. Воинов // Научно-техническая информация. Сер. 2 Информационные процессы и системы. — 2007. — № 3. — С. 19–23.
17. Нуриев, Н.К. Дидактическая инженерия: параметрическое проектирование дидактических систем / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина. — Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. — 104 с.
18. Нуриев, Н.К. Математическая модель развития проектно-конструктивных способностей в деятельности / Н.К. Нуриев, А.А. Обад, Е.А. Печеный, С.Д. Старыгина // Современные наукоёмкие технологии. — 2019. — № 7. — С. 70–77.
19. Нуриев, Н.К. Параметрическая дидактика: обучение инженера с оценкой уровня развития профессионального интеллекта / Н.К. Нуриев, С.Д. Старыгина // Управление устойчивым развитием. — 2025. — № 3 (58). — С. 105–119.
20. Старыгина, С.Д. Разработка цифровой платформы для проектирования киберфизических дидактических систем / С.Д. Старыгина // Современные наукоёмкие технологии. — 2023. — № 3. — С. 108–114.

**References:**

1. Sheer, A. V. (2020). *Industry 4.0: From breakthrough business models to business process automation*. Moscow: Publishing House “Delo” RANEPА. 272 p.
2. Makhotin, D. A. (2020). Cyber-physical systems in education. *Interactive Education*, No. 1, pp. 14–17.
3. Mesheryakova, A. A. (2018). Methodology of functional SADT modeling. *Current Trends in Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice*, V. 6, No. 7(43), pp. 66–70.
4. Abramov, V. I., Gordeev, V. V., & Stolyarov, A. D. (2024). Digital twins: Characteristics, typology, development practices. *Issues of Innovative Economy*, No. 3, pp. 691–716.
5. Shevyakova, A. L., Petrenko, E. S., & Urazbekov, A. K. (2020). Developing competencies for Industry 4.0: Qualification requirements and solutions. *Issues of Innovative Economy*, V. 10, No. 1, pp. 85–102.
6. Yushin, V. N., & Korostelev, D. A. (2016). Order parameters and control parameters of the pedagogical process. *Education and Society*, No. 4-5 (99-100), pp. 35–38.
7. Nuriev, N. K., & Starygina, S. D. (2025). Parametric didactics: Development of a cyber-physical concept in education. *Vestnik of Orenburg State University*, No. 1 (245), pp. 106–113.
8. Starygina, S. D., & Nuriev, N. K. (2023). Development of a theoretical-methodological instrumental digital platform for didactics. *Modern High-Tech Technologies*, No. 2, pp. 169–178.
9. Kazakova, U. A., Nuriev, N. K., Kondratyev, V. V., Galikhanov, M. F., & Starygina, S. D. (2024). *Models, methods, and technologies for training technical university faculty and IT engineers: Monograph*. Kazan: RAR Publishing. 192 p.
10. Starygina, S. D., & Nuriev, N. K. (2024). Pedagogical parameterized technology for training engineers for Industry 4.0. *Kazan Science*, No. 2, pp. 115–120.
11. Starygina, S. D., & Nuriev, N. K. (2022). Parametric approach in pedagogy: Metric model of «developmental» learning with digital preparation technology. *Sustainable Development Management*, No. 1 (38), pp. 96–104.
12. Selivanov, S. G., & Poeszhalova, S. N. (n.d.). Method of optimizing directive technological processes in ASTPP. *Bulletin of USATU*, V. 16, No. 6(51), pp. 53–61.
13. Davydov, V. V. (2004). *Problems of developmental education*. Moscow: Academia Publishing. 288 p.
14. Ibragimov, G. I. (2018). *Problems of patterns and principles of teaching in domestic pedagogy: Monograph*. Kazan: School Editorial and Publishing Center. 68 p.
15. Vygotsky, L. S., & Leontiev, A. N. (2003). *Psychology of human development*. Moscow: Eksmo. 1136 p.
16. Gavrilova, T. A., & Voinov, A. V. (2007). Cognitive approach to ontology creation. *Scientific and Technical Information. Series 2: Information Processes and Systems*, No. 3, pp. 19-23.
17. Nuriev, N. K., & Starygina, S. D. (2020). *Didactic engineering: Parametric design of didactic systems*. Kazan: School Editorial and Publishing Center. 104 p.
18. Nuriev, N. K., Obadi, A. A., Pecheny, E. A., & Starygina, S. D. (2019). Mathematical model of developing design-constructive abilities in activity. *Modern High-Tech Technologies*, No. 7, pp. 70-77.
19. Nuriev, N. K., & Starygina, S. D. (2025). Parametric didactics: Engineer training with assessment of professional intelligence development level. *Sustainable Development Management*, No. 3 (58), pp. 105-119.
20. Starygina, S. D. (2023). Development of a digital platform for designing cyber-physical didactic systems. *Modern High-Tech Technologies*, No.3, pp. 108-114.

**Сведения об авторах:**

**Нуриев Наиль Кашапович**, профессор кафедры информатики и прикладной математики  
Казанского национального исследовательского технологического университета, доктор педагогических наук  
E-mail: nurievnk@mail.ru, SPIN: 6183-2786, AuthorID: 527783, Scopus Author ID: 6507434775,  
ResearcherID: B-1542-2016, ORCID: 0000-0002-9557-5493

**Старыгина Светлана Дмитриевна**, директор института управления, автоматизации и информационных технологий  
Казанского национального исследовательского технологического университета,  
кандидат педагогических наук  
E-mail: staryginasd@corp.knrtu.ru, SPIN: 6986-6337, AuthorID: 237000, Scopus Author ID: 56115176400,  
ResearcherID: E-5245-2014, ORCID: 0000-0002-3401-6452