

Инварианты образовательного процесса и их технологическая модификация в условиях цифрового интеллекта

М.Г. Жабицкий

Аннотация - В статье предложен системный подход к технологической модификации образовательного процесса в условиях цифрового интеллекта. Подход основан на разграничении инвариантного назначения образования и изменяемых способов его технологической реализации. Образовательный процесс представлен как композиция операторов преобразования состояния обучаемого, для которых компетентностная модель задает целевое состояние, учебный план определяет структурную и временную композицию, а фонд оценочных средств выполняет функцию измерительной и верификационной подсистемы. Конструктивная применимость подхода рассмотрена на примере лекционного оператора. Показано объективное противоречие классической реализации лекционного процесса, состоящее в сочетании непрерывной познавательной деятельности обучаемого с дискретной и существенно отложенной верификацией ее результатов. Обосновано различие между цифровизацией, совершенствующей представление и доступность учебного содержания, и применением искусственного интеллекта, обеспечивающим содержательную индивидуальную диагностику без пропорционального роста нагрузки преподавателя. Предложена референтная функциональная модель лекционного оператора, включающая жизненный цикл цифрового курса, индивидуальный контур итерационного освоения материала и ансамблевый контур совершенствования курса. Модель обеспечивает многократное доосвоение материала без академической санкции, накопление индивидуальной образовательной истории и использование агрегированных результатов для развития лекционного контента. Определены ожидаемые эффекты, ограничения и направления дальнейшей экспериментальной апробации модели.

Ключевые слова - образовательный процесс, цифровой интеллект, искусственный интеллект в образовании, операторная модель образования, образовательный оператор, лекционный оператор, цифровая трансформация образования, индивидуальная диагностика, образовательная история, ансамблевый анализ, цифровой лекционный курс, управление образовательным процессом.

1 ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью Homo sapiens является способность к накоплению, передаче и развитию знаний, обеспечивающая непрерывное усложнение индивидуальной и коллективной деятельности. Именно поэтому образование представляет собой одну из фундаментальных подсистем человеческого общества [1,2], существующую на всех этапах его исторического развития независимо от конкретных организационных форм и технологий обучения. На протяжении всей истории человечества изменялись организационные формы, содержание и технологическая база образовательного процесса - от семейного обучения и наставничества до современных университетов. Однако его основное назначение оставалось неизменным: целенаправленное преобразование состояния обучаемого посредством его собственной образовательной деятельности.

Появление цифрового интеллекта является очередным этапом технологической эволюции образования [3-5]. Подобно письменности, книгопечатанию, университету или цифровым информационным технологиям, он не изменяет фундаментальное назначение образования, но существенно расширяет возможности технологической реализации образовательного процесса. Современные цифровые технологии, прежде всего искусственный интеллект, одновременно создают возможность качественного повышения эффективности образования и разрушают эффективность сложившихся образовательных процедур [6-8]. При этом системная модификация образовательного процесса, позволяющая реализовать первое и предотвратить второе, пока отсутствует.

Актуальность исследования обусловлена тем, что современный уровень развития цифровых интеллектуальных технологий позволяет существенно повысить эффективность образовательного процесса, однако отсутствие научно обоснованных принципов его модификации приводит к тому, что потенциальный выигрыш остается нереализованным, а стихийное применение тех же

технологий снижает эффективность многих элементов уже существующей образовательной системы.

Объектом исследования является образовательный процесс высшей школы как система преобразования состояния обучающегося. Предметом исследования являются принципы модификации технологической реализации образовательного процесса в условиях цифрового интеллекта. Целью настоящей работы является формирование научной основы системной модификации образовательного процесса, обеспечивающей эффективное использование современных цифровых и интеллектуальных технологий для повышения качества и производительности образования при сохранении инвариантной образовательной деятельности обучающегося. Научная новизна работы заключается в предложении системного подхода к модификации образовательного процесса в условиях цифрового интеллекта, основанного на выделении инвариантной образовательной деятельности обучающегося, представлении образовательного процесса как системы взаимосвязанных операторов преобразования состояния обучающегося и разграничении функциональной и технологической составляющих образовательного процесса.

II. ИНВАРИАНТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

2.1. Образование как фундаментальная подсистема человеческой деятельности

Образование является одной из фундаментальных подсистем человеческого общества, обеспечивающей передачу знаний, способов деятельности, опыта и накопленной культуры между поколениями [1,9]. В отличие от большинства биологических видов, приспособление *Homo sapiens* к окружающей среде определяется не специализированными врожденными органами или формами поведения, а приобретаемыми знаниями, умениями и навыками. Поэтому образование возникает одновременно с человеческим обществом и сопровождает его на протяжении всей истории развития.

Первичной формой образования являлось семейное обучение, непосредственно встроенное в повседневную деятельность ребенка [10,11]. Освоение языка, норм поведения, элементарных бытовых навыков, способов добывания пищи и взаимодействия с окружающим миром происходило путем совместной деятельности, личного примера и непосредственного подражания старшим членам семьи и сообщества. Такая форма образования сохраняется и в современном обществе, несмотря на последующее развитие специализированных образовательных институтов.

Развитие общественного разделения труда привело к возникновению профессиональной специализации и, как следствие, к появлению новой формы образования – наставничества [2,12]. Передача профессиональных знаний и навыков стала осуществляться в процессе совместной деятельности мастера и ученика. По мере накопления профессионального опыта образование постепенно перестало ограничиваться передачей отдельных практических приемов и стало включать систематизированные знания о предметной области, закономерностях окружающего мира и способах решения типовых задач.

Дальнейшее развитие цивилизации сопровождалось возникновением специализированных образовательных сообществ и институтов. Философские школы античности, храмовые школы, монастырские и медресе, первые университеты решали общую задачу систематической подготовки специалистов, используя различные организационные формы обучения. Существенным этапом развития образования стало появление письменности, накопление знаний в текстовой форме, а затем стандартизация содержания обучения и процедур проверки знаний, позволившие обеспечить воспроизводимость подготовки независимо от личности конкретного наставника.

Современная университетская система образования представляет собой результат длительной эволюции организационных и технологических форм обучения [13]. При этом каждая новая историческая форма не заменяла предыдущие, а дополняла их. Семейное обучение, наставничество, профессиональное ученичество и коллективные формы освоения знаний продолжают существовать и сегодня, образуя различные уровни единой образовательной системы.

Таким образом, на протяжении всей истории человечества последовательно изменялись содержание, организационные формы и технологическая реализация образовательного процесса, тогда как его фундаментальное назначение оставалось неизменным – целенаправленное преобразование состояния обучающегося посредством его собственной деятельности в ходе учебного процесса.

2.2. Образовательная деятельность обучающегося как инвариант образовательного процесса

Несмотря на существенные различия исторических форм образования, неизменным остается фундаментальный механизм достижения образовательного результата. Новые знания, способы деятельности, профессиональные и личностные качества не могут быть непосредственно переданы от преподавателя обучающему. Передаче подлежит лишь предметное

содержание, тогда как изменение состояния обучаемого возникает исключительно в результате его собственной образовательной деятельности [2,14].

Тем самым непосредственным объектом преобразования является сам обучаемый, а непосредственным механизмом этого преобразования - выполняемая им деятельность по восприятию, осмыслению, интерпретации, применению и закреплению нового предметного содержания. Именно в ходе этой деятельности новые знания включаются в ранее сформированную систему представлений, устанавливаются причинно-следственные связи, формируются способы решения задач и приобретаются новые профессионально значимые свойства [2,9,14].

Следовательно, преподаватель не формирует знания обучаемого непосредственно. Он проектирует и организует образовательную среду, определяет содержание обучения, последовательность его освоения, формы образовательной деятельности и условия, при которых обучаемый способен самостоятельно выполнить необходимое преобразование собственного состояния. Аналогичным образом учебники, цифровые образовательные ресурсы и иные средства обучения не заменяют образовательную деятельность обучаемого, а лишь создают условия для ее осуществления.

Принципиально важно, что образовательная деятельность представляет собой процесс, протекающий во времени. Формирование новых знаний, способов мышления и профессиональных качеств требует многократного обращения к изучаемому материалу, его сопоставления с ранее сформированными представлениями, практического применения и постепенного закрепления. Поэтому образовательный результат не возникает как непосредственное следствие предъявления информации, а формируется в результате достаточно продолжительной собственной деятельности обучаемого [11,12].

Таким образом, инвариантом образовательного процесса является не конкретная технология обучения и не используемые средства передачи знаний, а организованная образовательная деятельность самого обучаемого, обеспечивающая последовательное изменение его состояния. Все последующие изменения образовательных технологий могут изменять способы организации этой деятельности, но не способны заменить ее как фундаментальный механизм достижения образовательного результата.

2.3. Управление образовательным процессом и мотивация

Естественная познавательная активность человека обеспечивает освоение окружающего мира и приобретение базовых знаний и навыков в

раннем возрасте [10,11]. Однако по мере развития человеческого общества объем накопленных знаний, сложность профессиональной деятельности и глубина необходимой подготовки превысили возможности естественных механизмов обучения. Это обусловило возникновение организованного образовательного процесса как специализированной общественной системы передачи знаний, умений, навыков и способов профессиональной деятельности.

В отличие от естественного обучения, организованный образовательный процесс требует целенаправленного управления образовательной деятельностью обучаемого на протяжении всего периода подготовки. Такое управление осуществляется посредством сочетания внутренних механизмов самого обучаемого и внешних механизмов организации образовательного процесса [12,13].

К внутренним механизмам относятся познавательный интерес, внутренняя мотивация и формируемая в процессе обучения самодисциплина. По мере роста уровня подготовки роль внутренних механизмов возрастает: обучаемый постепенно переходит от выполнения внешних требований к самостоятельному управлению собственной образовательной деятельностью [9,12].

Внешнее управление осуществляется преподавателем и образовательной системой посредством постановки образовательных целей, организации учебной деятельности, сопровождения процесса обучения и контроля достигаемых результатов. При этом одной из важнейших функций образовательной системы является преобразование долгосрочных целей обучаемого в последовательность достижимых образовательных задач [13,15].

Мотивация образовательной деятельности имеет иерархическую структуру, соответствующую различным временным масштабам образовательного процесса. На стратегическом уровне обучаемый стремится приобрести профессию, обеспечить профессиональную реализацию, социальную мобильность и достижение жизненных целей. Эти долгосрочные цели последовательно декомпозируются в цели освоения образовательной программы, отдельных дисциплин, разделов курса, конкретных учебных занятий и индивидуальных заданий [15-17]. Таким образом, выполнение текущего учебного действия - подготовка к занятию, выполнение домашнего задания или лабораторной работы - становится осмысленным элементом достижения долгосрочного образовательного результата.

Необходимым условием эффективного управления образовательным процессом является регулярное получение информации о текущем состоянии обучаемого и степени достижения

промежуточных образовательных результатов. Поэтому контроль является не только средством итоговой оценки уровня подготовки, но и элементом управления образовательным процессом. Он выполняет две взаимосвязанные функции: во-первых, подтверждает достижение требуемого изменения состояния обучаемого, а во-вторых, поддерживает необходимую образовательную активность посредством формирования непрерывной обратной связи между обучаемым и образовательной системой [13]

Таким образом, мотивация, организация образовательной деятельности, сопровождение и контроль образуют единый контур управления образовательным процессом, обеспечивающий достижение его главной цели - последовательное преобразование состояния обучаемого до требуемого уровня подготовки.

2.4. Результат образования

Целью образования является не получение диплома, не внесение записи в государственную информационную систему, не успешная сдача экзаменов и не выполнение учебного плана. Все эти элементы необходимы для документирования и внешней верификации результатов обучения, однако они не являются его конечной целью. Истинным результатом образования является изменение самого обучаемого.

Поэтому образовательный результат следует рассматривать не как совокупность освоенных дисциплин, сформированных компетенций или

полученных оценок, а как совокупность новых свойств, приобретенных обучаемым в процессе образования (Рис.1). Именно эти свойства определяют его способность осуществлять дальнейшую профессиональную деятельность [18,19].

Первой и основной составляющей образовательного результата является формирование целостной и внутренне связанной модели соответствующей предметной области. Такая модель представляет собой не набор отдельных фактов или определений, а систему взаимосвязанных знаний, позволяющую понимать закономерности предметной области, устанавливать причинно-следственные связи, объяснять наблюдаемые явления, переносить знания на новые ситуации и самостоятельно находить решения ранее не встречавшихся задач [12,20,21].

Второй составляющей образовательного результата является способность осуществлять профессиональную деятельность в соответствующей предметной области. Она формируется на основе внутренних знаний, но не сводится к их наличию. Специалист должен быть способен применять сформированную модель предметной области при анализе конкретных ситуаций, выборе способов решения, принятии решений и выполнении практических действий в реальных условиях профессиональной деятельности [18,19].



Рис. 1. Образовательный результат как новое состояние обучаемого и его внешняя верификация.

Наряду с предметными знаниями и профессиональной деятельностью образование формирует интеллектуальные свойства обучаемого [9,12]. К ним относятся способность к строгому и последовательному мышлению, абстрагированию, формализации, интеллектуальная выносливость, умение удерживать сложные логические конструкции, самостоятельно анализировать новые ситуации и решать ранее неизвестные задачи. Именно поэтому значительная часть учебных дисциплин выполняет не только предметную, но и развивающую функцию. Их целью является формирование интеллектуальных качеств, необходимых для освоения значительно более широкого круга профессиональных задач, чем непосредственно изучаемый учебный материал.

Одним из важнейших результатов образования является способность к дальнейшему самостоятельному обучению [4,5,22]. Современный специалист неизбежно сталкивается с появлением новых технологий, методов, нормативных требований и научных представлений. Поэтому образование должно формировать не только готовность к выполнению профессиональной деятельности в момент окончания обучения, но и способность самостоятельно осваивать новые знания, предметные области и способы деятельности на протяжении всей последующей профессиональной жизни.

Неотъемлемой составляющей образовательного результата являются также профессиональные и личностные качества обучаемого [19,23]. Современная профессиональная деятельность практически всегда осуществляется в коллективе, требует взаимодействия с другими специалистами, принятия совместных решений, распределения ответственности, соблюдения профессиональной этики и эффективной коммуникации. Поэтому развитие этих качеств является самостоятельной целью образовательного процесса.

Различные учебные дисциплины вносят неодинаковый вклад в достижение перечисленных результатов. Одни преимущественно формируют внутреннюю модель предметной области, другие развивают интеллектуальные способности, третьи ориентированы на приобретение практического опыта деятельности или развитие профессиональных и коммуникативных качеств. Следовательно, образовательная ценность дисциплины определяется не только непосредственным использованием ее содержания в будущей профессиональной деятельности, но и ее вкладом в формирование личности специалиста [13,15].

Таким образом, результатом образования является не совокупность изученных дисциплин и не формальное соответствие образовательному

стандарту, а формирование у обучаемого новых свойств, включающих целостное понимание предметной области, способность к профессиональной деятельности, развитые интеллектуальные качества, способность к дальнейшему самостоятельному обучению и профессионально значимые личностные свойства.

Перечисленные свойства образуют содержательную структуру состояния обучаемого, которое в последующих разделах статьи рассматривается как объект операторного преобразования и формализуется в виде вектора параметров состояния.

III. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС КАК ОПЕРАТОР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБУЧАЕМОГО

3.1. Операторная модель образования

Рассмотренные выше инварианты позволяют представить образовательный процесс как последовательное преобразование состояния обучаемого. При этом обучаемый выступает не только объектом организованного образовательного воздействия, но и активным субъектом собственной образовательной деятельности. Изменение его состояния достигается не самой по себе передачей информации, а выполняемой им деятельностью по восприятию, осмыслению, применению и закреплению учебного материала.

Состояние обучаемого на k -м этапе образовательного процесса представим в виде вектора

$$\vec{S}^{(k)} = (s_1^{(k)}, s_2^{(k)}, \dots, s_n^{(k)}),$$

где $s_i^{(k)}$ - значение i -го параметра, характеризующего обучаемого на данном этапе [24,25]. Состав таких параметров определяется рассматриваемой образовательной задачей и может включать уровень предметных знаний, сформированность способов деятельности, интеллектуальные способности, профессионально значимые и личностные качества, а также способность к дальнейшему самостоятельному обучению.

Исходное состояние $\vec{S}^{(0)}$ характеризует обучаемого до начала рассматриваемого образовательного процесса. Итоговое состояние $\vec{S}^{(N)}$ должно соответствовать требованиям образовательной программы к результату обучения и включает как предметно-зависимые, так и надпредметные свойства.

Преобразование состояния обучаемого на отдельном этапе может быть представлено как действие образовательного оператора:

$$\vec{S}^{(k+1)} = \mathcal{F}_k(\vec{S}^{(k)}, \vec{P}^{(k)}, \Delta t^{(k)}),$$

где $\mathcal{F}_k$ - образовательный оператор k-го этапа, $\vec{S}^{(k)}$ - входное состояние обучаемого; $\vec{P}^{(k)}$ - вектор параметров образовательного оператора; $\Delta t^{(k)}$ - продолжительность его действия, а $\vec{S}^{(k+1)}$ - выходное состояние. Действие оператора объединяет организованные воздействия образовательной системы и собственную деятельность обучаемого, обеспечивающие переход от состояния $\vec{S}^{(k)}$ к последующему состоянию $\vec{S}^{(k+1)}$.

Вектор параметров оператора может включать форму организации обучения, состав образовательной деятельности, интенсивность взаимодействия преподавателя и обучаемого, используемые технические средства и другие характеристики, влияющие на результат преобразования состояния обучаемого. При неизменном исходном состоянии $\vec{S}^{(k)}$ изменение параметров $\vec{P}_k$ или продолжительности действия Δt_k приводит к изменению достигнутого состояния $\vec{S}^{(k+1)}$. Тем самым образовательный оператор представляет собой не фиксированное преобразование, а семейство преобразований, определяемых условиями реализации образовательного процесса [26]. Полный образовательный процесс может быть представлен как композиция последовательных операторов [27,28]:

$$\vec{S}^{(N)} = \mathcal{F}_{N-1} \circ \mathcal{F}_{N-2} \circ \dots \circ \mathcal{F}_0(\vec{S}^{(0)}).$$

Каждое промежуточное состояние является результатом предшествующего этапа и одновременно исходным состоянием для следующего. Такая последовательность отражает накопительный характер образования: дальнейшее освоение материала опирается на уже сформированные знания, способы деятельности и свойства обучаемого.

Принципиальной особенностью образовательного оператора является его собственная продолжительность [3]. Формирование новых знаний, способов мышления, практических навыков и личностных качеств требует многократной деятельности обучаемого и не может быть сведено к одномоментной передаче информации. Поэтому каждый оператор $\mathcal{F}_k$ реализуется в течение некоторого интервала времени Δt_k , а полный образовательный процесс представляет собой длительную последовательность взаимосвязанных преобразований.

Ускорение внешних вычислительных и информационных операций не означает пропорционального ускорения изменения самого человека. Современные цифровые технологии способны существенно сократить время поиска и обработки информации, подготовки учебных материалов, выполнения расчетов и организации

контроля. Однако продолжительность формирования устойчивых знаний, интеллектуальных способов деятельности и профессионально значимых качеств определяется также внутренними закономерностями обучения и развития человека [3].

Таким образом, операторная модель позволяет отделить целевое преобразование состояния обучаемого от конкретных технологических средств его реализации. Это создает основу для последующего анализа структуры образовательного процесса и определения тех его компонентов, технологическое исполнение которых может быть модифицировано с использованием современных цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Следует отметить, что приведенная операторная модель описывает образовательный процесс на уровне отдельного обучаемого. Однако в практических задачах анализа и управления образованием объектом исследования чаще выступают совокупности обучаемых: академическая группа, учебный поток, образовательная программа или специальность. В этом случае состояние системы может характеризоваться статистическими характеристиками ансамбля обучаемых, включая средний вектор состояния и показатели его вариативности. Аналогично могут рассматриваться ансамбли преподавателей, образовательных программ и образовательных организаций. Именно на этом уровне обычно осуществляется оценка эффективности образовательных технологий, сравнение различных методов обучения и принятие управленческих решений. При этом операторная модель индивидуального обучаемого остается базовой, а модели ансамблей представляют собой ее естественное статистическое обобщение [25,29,30].

3.2. Логическая и технологическая стороны образовательного оператора

Принципиально важным является различие двух взаимосвязанных, но существенно различных сторон образовательного оператора: логической и технологической.

Логическая сторона определяет функциональное назначение образовательного оператора, то есть какое изменение состояния обучаемого должно быть достигнуто в результате его реализации. Она включает целевое состояние обучаемого, состав требуемой образовательной деятельности, характер ожидаемых результатов и место данного оператора в общей структуре образовательного процесса. Именно логическая сторона определяет сущность образовательного оператора независимо от конкретных условий его реализации.

Технологическая сторона определяет способ организации образовательной деятельности, посредством которого достигается требуемое изменение состояния обучаемого. Она включает формы взаимодействия преподавателя и обучаемого, используемые технические средства, организационные процедуры, информационные технологии и другие элементы, определяемые уровнем развития общества и доступными средствами интеллектуальной деятельности.

Логическая структура образовательного оператора обладает значительно большей устойчивостью, чем его технологическая реализация. На протяжении всей истории образования фундаментальная цель обучения - изменение состояния обучаемого посредством организованной образовательной деятельности - сохранялась неизменной. Существенно изменялись лишь способы организации этой деятельности, определяемые развитием культуры, науки и технологий.

Поэтому различные исторические формы образования следует рассматривать прежде всего как различные технологические реализации сходных по своему функциональному назначению образовательных операторов. Семейное обучение, мастерская ремесленника, храмовая школа, античная академия, средневековый университет, университет индустриальной эпохи и современная цифровая образовательная среда различаются прежде всего технологией организации образовательного процесса, тогда как их фундаментальное назначение остается общим - обеспечение требуемого изменения состояния обучаемого.

Историческое развитие образования можно рассматривать как последовательную смену технологических реализаций образовательного оператора. Возникновение письменности, распространение книгопечатания, формирование системы массового образования, появление вычислительной техники, сетевых коммуникаций и цифровых образовательных платформ последовательно изменяли способы организации образовательной деятельности, не затрагивая ее фундаментального назначения.

В этом смысле искусственный интеллект представляет собой очередной этап развития технологической реализации образовательного оператора. Его влияние связано не с изменением сущности образования, а с появлением новых способов организации деятельности преподавателя и обучаемого, ранее недоступных вследствие существовавших ресурсных и технологических ограничений.

Таким образом, логическая структура образовательного оператора является инвариантной относительно конкретных способов его реализации, тогда как технологическая реализация может существенно изменяться по

мере развития общества и средств интеллектуальной деятельности. Подобно тому как в системной инженерии одна и та же функциональная спецификация может иметь различные технические реализации, один и тот же образовательный оператор может быть реализован различными образовательными технологиями при сохранении своего функционального назначения.

Именно поэтому объектом цифровой трансформации должно становиться не образование как таковое, а технологическая реализация отдельных образовательных операторов. Такой подход позволяет рассматривать внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта как процесс совершенствования технологии образования при сохранении инвариантной логической структуры образовательного процесса.

3.3. Критерии эффективности образовательного оператора

Введение операторной модели позволяет рассматривать образовательный процесс как объект анализа и оптимизации. При этом эффективность образовательного оператора не может оцениваться только по достигнутому результату, поскольку одно и то же изменение состояния обучаемого может быть достигнуто при существенно различных затратах времени, преподавательского труда и иных ресурсов [3,27,28]. Поэтому для оценки образовательного оператора целесообразно использовать два взаимодополняющих критерия: результативность и ресурсную эффективность.

Результативность образовательного оператора характеризует степень достижения требуемого целевого состояния обучаемого. Обозначим ее как $R(\mathcal{F}_k)$. В общем случае результативность определяется степенью соответствия достигнутого состояния $\bar{\mathcal{S}}^{(k+1)}$ заданному целевому состоянию $\bar{\mathcal{S}}^{*(k+1)}$ этапа обучения. Аналогично итоговое состояние $\bar{\mathcal{S}}^{(N)}$ должно соответствовать общей цели обучения $\bar{\mathcal{S}}^*$. При полном достижении цели результативность принимает максимальное значение, тогда как отклонение достигнутого состояния от требуемого приводит к ее снижению. Практическая оценка результативности осуществляется посредством процедур внешней верификации: экзаменов, практических заданий, выполнения профессиональных задач и других средств контроля образовательных результатов [13,15,18].

Вторым критерием является ресурсная стоимость реализации образовательного оператора, которую обозначим $\mathcal{C}(\mathcal{F}_k)$. Она определяется совокупностью ресурсов, необходимых для реализации оператора, включая затраты преподавательского труда, время обучаемого, учебно-методическое обеспечение,

технические и вычислительные средства, а также иные ресурсы образовательной системы [3,31,32]. При одинаковой результативности предпочтительным является образовательный оператор с меньшим значением $C(\mathcal{F}_k)$.

Особое значение имеет оценка производительности преподавательского труда. Традиционные показатели, такие как объем учебной нагрузки, число проведенных занятий или проверенных работ, характеризуют интенсивность деятельности преподавателя, но не отражают ее конечной эффективности. В рамках предложенной модели производительность преподавательского труда определяется количеством обучаемых, достигших требуемого целевого состояния с заданным уровнем результативности, приходящимся на единицу преподавательского ресурса. Тем самым объектом оценки становится не объем выполненной работы, а достигнутый образовательный результат.

Следовательно, совершенствование образовательного процесса представляет собой задачу поиска такой реализации образовательного оператора $\mathcal{F}_k$, которая обеспечивает целевой уровень результативности $R^*(\mathcal{F}_k)$ при минимальной ресурсной стоимости $C(\mathcal{F}_k)$ [3,27,28,] Именно в этом заключается общий критерий эффективности образовательной технологии независимо от конкретных способов ее реализации.

В рамках предложенной модели цифровая трансформация образования может быть интерпретирована как изменение параметров образовательного оператора, направленное на снижение его ресурсной стоимости при сохранении или повышении результативности. Таким образом, применение искусственного интеллекта и других цифровых технологий должно оцениваться не по факту их использования, а по влиянию на два фундаментальных критерия эффективности образовательного оператора - $R(\mathcal{F})$ и $C(\mathcal{F})$ [5,33,34]. Результативность является обязательным ограничением образовательного процесса, тогда как ресурсная эффективность - объектом его оптимизации.

IV. АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

4.1. Основные функциональные субъекты

Современный университетский образовательный процесс реализуется совместной

деятельностью нескольких функциональных субъектов, каждый из которых отвечает за определенную часть жизненного цикла образовательной программы и принимает решения в пределах собственной компетенции. Несмотря на различие функций, деятельность всех субъектов направлена на достижение общей цели - формирование требуемого состояния выпускника (Рис.2). Основными субъектами образовательного процесса являются обучаемый, преподаватель, образовательная организация и работодатель [1,9,10].

Центральное место в образовательном процессе занимают обучаемый и преподаватель. Именно на уровне их непосредственного взаимодействия реализуется образовательный оператор, обеспечивающий преобразование состояния обучаемого. При этом обучаемый является одновременно объектом образовательного воздействия и активным субъектом собственной образовательной деятельности, тогда как преподаватель проектирует, организует и сопровождает выполнение образовательного оператора.

Над уровнем непосредственного образовательного взаимодействия располагается руководство образовательной программы, определяющее структуру подготовки специалистов, состав дисциплин, последовательность образовательных операторов, требования к результатам обучения и критерии их оценки. Данный уровень обеспечивает целостность образовательной программы как единой системы.

Учебное управление выполняет функции организационного обеспечения образовательного процесса, включая календарное планирование, распределение учебной нагрузки, сопровождение нормативной документации, управление расписанием и обеспечение функционирования образовательной инфраструктуры.

Наиболее высокий уровень управления образуют стратегическое руководство университета и внешняя профессиональная среда - работодатели, профессиональные сообщества, государственные органы и иные заинтересованные стороны. Они формируют долгосрочные требования к подготовке выпускников, определяют направления развития образовательных программ и обеспечивают их соответствие потребностям общества, науки и экономики.



Рис.2. Функционально-ролевая схема

Принципиально важно отметить, что цифровые технологии и искусственный интеллект не образуют самостоятельного функционального субъекта образовательного процесса. Они не определяют цели образования, не несут ответственности за принимаемые решения и не заменяют участников образовательной деятельности. Их роль заключается в технологической поддержке выполнения функций каждого из перечисленных субъектов, изменяя способы реализации образовательного процесса, но не его функциональную структуру [5,33,34]. Общая схема представлена на рисунке 2

В настоящей работе дальнейший анализ ограничивается уровнем непосредственного взаимодействия преподавателя и обучаемого. Именно на этом уровне реализуются элементарные образовательные операторы, изменение технологической реализации которых под воздействием цифрового интеллекта представляет основной предмет настоящего исследования.

4.2. Входной и выходной объекты образовательного оператора

Образовательный оператор действует не над абстрактным состоянием, а над реальным объектом - обучаемым. Состояние объекта в каждый момент времени описывается вектором параметров, отражающих его знания, умения, навыки, личностные характеристики, опыт,

мотивацию и другие существенные свойства [13,15]. В результате действия образовательного оператора изменяется не сам объект, а значения характеризующих его параметров.

Пусть объект O характеризуется входным вектором состояния

$$\vec{s}^0 = (s_1^0, s_2^0, \dots, s_n^0),$$

где верхний индекс обозначает момент начала реализации образовательной программы. После завершения действия образовательного оператора тот же объект характеризуется новым вектором

$$\vec{s}^T = (s_1^T, s_2^T, \dots, s_n^T),$$

где T соответствует окончанию образовательного процесса. Таким образом, образовательный оператор осуществляет преобразование $\mathcal{F}_T(\vec{s}^0) \xrightarrow{\mathcal{E}} \vec{s}^T$. - образовательный оператор продолжительности T , а $\mathcal{E}$ - образовательная среда, в которой реализуется данный оператор. Оператор определяет, какое преобразование должно быть выполнено, а образовательная среда определяет, каким способом это преобразование реализуется. Под образовательной средой $\mathcal{E}$ будем понимать совокупность организационных, кадровых, методических, информационных, технических технологических и нормативных условий, обеспечивающих реализацию образовательного оператора [5,32].

Входным объектом университетского образовательного процесса является абитуриент, удовлетворяющий нормативным требованиям к предшествующему уровню образования и прошедший установленную процедуру отбора. Его исходное состояние определяется как результат совокупности предыдущего обучения, жизненного опыта и индивидуальных особенностей.

Выходным объектом является тот же человек после завершения образовательной программы. Его состояние должно соответствовать требованиям федеральных государственных образовательных стандартов и образовательной программы университета. Следует подчеркнуть, что объект преобразования остается неизменным - изменяются лишь характеризующие его параметры.

Поскольку внутреннее состояние обучаемого не может быть измерено непосредственно, соответствие достигнутого состояния установленным требованиям определяется посредством системы внешней верификации. К ней относятся текущая и промежуточная аттестация, государственная итоговая аттестация, защита выпускной квалификационной работы и выдача диплома. В рамках предложенной модели диплом рассматривается не как результат образовательного процесса, а как институциональное подтверждение успешной внешней проверки соответствия достигнутого состояния выпускника установленным требованиям.

Исторически образовательная среда непрерывно изменялась. Храмовые школы, античные академии, средневековые университеты, индустриальные университеты XIX–XX веков и современные цифровые университеты реализуют сходные по назначению образовательные операторы, однако используют принципиально различные образовательные среды. Именно образовательная среда является носителем технологических особенностей образовательного процесса.

В этом смысле цифровые технологии и искусственный интеллект следует рассматривать не как самостоятельного субъекта образовательного процесса и не как новый образовательный оператор, а как важнейший компонент современной образовательной среды $\mathcal{E}$. Их внедрение изменяет способы реализации образовательных операторов, сохраняя неизменными функциональную структуру образовательной системы и цели образования. Цифровая трансформация образования представляет собой прежде всего трансформацию образовательной среды $\mathcal{E}$, а не изменение объекта или образовательного оператора [5,33,34].

4.3. Компетентностная модель как спецификация целевого состояния

В рамках предложенной операторной модели компетентностная модель рассматривается как нормативная спецификация требуемого выходного состояния обучаемого. Ее назначение состоит не в описании образовательного процесса или технологии обучения, а в формальном задании совокупности требований, которым должен соответствовать выпускник образовательной программы [9,10,15]. Иными словами, компетентностная модель определяет целевое состояние образовательного оператора.

Если фактически достигнутое состояние выпускника описывается вектором $\vec{S}^T$, то компетентностная модель задает нормативное целевое состояние $\vec{S}^*$, которое должно быть достигнуто в результате реализации образовательного оператора. Таким образом, задача образовательного процесса состоит в обеспечении целевого уровня соответствия фактически достигнутого и нормативно требуемого состояний обучаемого $\vec{S}^T \approx \vec{S}^*$.

Компетентностная модель имеет иерархическую структуру и формируется последовательным объединением требований нескольких нормативных уровней [9,10]. Она включает универсальные компетенции, общепрофессиональные компетенции, профессиональные компетенции соответствующего направления подготовки, а также дополнительные требования, устанавливаемые конкретной образовательной программой университета [10]. В результате целевое состояние выпускника представляет собой композицию требований государственных образовательных стандартов, профессионального сообщества и образовательной политики конкретного университета.

Следует подчеркнуть, что компетентностная модель не является полным описанием состояния обучаемого. Реальное состояние человека представляет собой значительно более сложный многомерный вектор характеристик, включающий знания, умения, навыки, интеллектуальные способности, личностные качества, профессиональный опыт, мотивацию и другие свойства. Компетенции являются лишь нормативно определенной проекцией этого пространства, выделяющей совокупность характеристик, подлежащих внешней оценке и официальному подтверждению.

Таким образом, в рамках предложенной модели последовательно разделяются четыре самостоятельные сущности: объект обучения - обучаемый; состояние обучаемого, описываемое вектором его параметров; компетентностная модель как нормативная спецификация требуемого выходного состояния; и

образовательная среда $\mathcal{E}$, определяющая технологию реализации образовательного оператора. Такое разделение позволяет независимо анализировать влияние различных факторов на образовательный процесс. В частности, цифровые технологии и искусственный интеллект изменяют прежде всего образовательную среду и способы реализации образовательного оператора, не изменяя ни объект обучения, ни нормативно задаваемую компетентностную модель выпускника.

Естественной количественной характеристикой качества образовательного процесса является мера соответствия (или, что эквивалентно, отклонения) фактически достигнутого состояния выпускника от нормативно заданного компетентностной моделью. Если нормативное состояние описывается вектором $\vec{S}^*$, а фактически достигнутое - вектором $\vec{S}^T$, то качество результата может быть охарактеризовано функционалом

$$Q = \rho(\vec{S}^T, \vec{S}^*),$$

где $\rho(\dots)$ представляет собой меру соответствия (или отклонения) между фактически достигнутым и нормативно требуемым состояниями. Конкретный вид данной функции определяется принятой системой оценки и не является предметом настоящей работы. Существенным является лишь то, что введение такой меры позволяет формализовать критерий качества образовательного процесса и использовать его при дальнейшем анализе его результативности и ресурсной эффективности.

4.4. Структура образовательной программы

Образовательная программа представляет собой образовательный оператор верхнего уровня, реализуемый в течение нормативного срока обучения и обеспечивающий преобразование исходного состояния обучаемого в целевое состояние выпускника. Достижение этого результата обеспечивается не единым образовательным воздействием, а совокупностью взаимосвязанных образовательных операторов более низкого уровня, объединенных в единую систему [32,35].

Структура образовательной программы имеет двумерную декомпозицию. Первая координата соответствует функциональной декомпозиции образовательного оператора и определяет состав образовательных воздействий [26,32,35]. К ним относятся обязательные дисциплины, дисциплины по выбору, учебные и производственные практики, проектная и исследовательская деятельность, промежуточная аттестация, государственная итоговая аттестация и выпускная квалификационная работа [23]. Каждый из перечисленных элементов представляет собой самостоятельный образовательный оператор,

предназначенный для формирования определенной совокупности характеристик состояния обучаемого.

Вторая координата соответствует временной декомпозиции образовательного процесса и определяет последовательность реализации образовательных операторов [27,32,35]. В традиционной университетской модели она задается системой семестров (или учебных модулей), внутри которых реализуются различные образовательные воздействия [26,32,36]. Таким образом, каждый образовательный оператор характеризуется одновременно своим функциональным назначением и своим местом в общей временной структуре образовательной программы.

Для каждого элемента образовательной программы нормативно определяются трудоемкость, последовательность освоения, логические связи с другими элементами программы, ожидаемые результаты обучения и формы контроля их достижения [15,19,23,31]. Тем самым образовательная программа представляет собой не произвольный набор дисциплин и мероприятий, а формально определенную архитектуру взаимосвязанных образовательных операторов, совместная реализация которых обеспечивает достижение целевого состояния выпускника.

Следует подчеркнуть, что ни отдельная дисциплина, ни результаты ее освоения сами по себе не являются целью образовательной программы. Целью образовательного процесса является достижение требуемого изменения состояния обучаемого, описываемого вектором его параметров. Отдельные дисциплины, практики, проекты и другие элементы образовательной программы представляют собой лишь частные образовательные операторы, обеспечивающие формирование отдельных компонентов этого состояния. Аналогично, результаты промежуточной аттестации и полученные оценки не являются самостоятельной целью образовательной деятельности, а служат средствами внешней оценки степени достижения промежуточных состояний обучаемого и контроля реализации образовательной программы [13,15,18].

Таким образом, образовательная программа представляет собой не перечень дисциплин и не календарный график их изучения, а двумерную архитектуру взаимосвязанных образовательных операторов, одновременно организованную в функциональном и временном измерениях. Такое представление позволяет рассматривать отдельные элементы образовательного процесса как самостоятельные объекты анализа и совершенствования, не нарушая целостности образовательной программы и ее основной цели -

формирования заданного выходного состояния выпускника (Рис 3).

4.5. Учебный план как структурная модель образовательного оператора

Учебный план представляет собой инструмент реализации целевого подхода к построению образовательной программы. Его назначение состоит не в простом перечислении дисциплин и видов учебной деятельности, а в документированном описании структуры образовательного оператора, обеспечивающего достижение нормативно заданного целевого состояния выпускника [19,23,32,36].

В рамках предложенной модели учебный план фиксирует состав локальных образовательных операторов, их распределение по семестрам или учебным модулям, последовательность реализации, взаимосвязи, трудоемкость и формы контроля [19,23,31]. Тем самым он выступает структурной моделью образовательной программы, связывающей целевые требования к выпускнику с конкретной организацией образовательного процесса.

Принципиально важно, что учебный план должен формироваться не от исторически сложившегося набора дисциплин, а от целевого состояния выпускника, заданного компетентностной моделью [13,15,19]. Именно требуемое изменение состояния обучаемого определяет, какие локальные образовательные операторы должны быть включены в программу, в какой последовательности они должны реализовываться и какой вклад каждый из них должен вносить в достижение общего результата. В этом смысле логика построения образовательной программы направлена от цели к структуре ее реализации, а не от имеющегося перечня дисциплин к последующему обоснованию их необходимости.

Трудоемкость отдельных элементов учебного плана выражается в стандартизованных единицах

- зачетных единицах трудоемкости, ECTS или аналогичных кредитах. Эти единицы характеризуют прежде всего нормативный объем образовательной деятельности обучаемого, необходимый для достижения предусмотренного результата, а не только объем непосредственной преподавательской нагрузки [31]. Тем самым кредитная система обеспечивает сопоставимость и управляемость отдельных элементов образовательной программы.

Вместе с тем учебный план описывает структуру образовательного оператора, но не исчерпывает технологию его реализации [3,26,36]. Один и тот же учебный план может быть реализован в различных образовательных средах, отличающихся формами взаимодействия преподавателя и обучаемого, используемыми информационными средствами, организацией самостоятельной работы и степенью применения цифровых технологий и искусственного интеллекта. Поэтому изменение технологической среды не обязательно требует изменения учебного плана, если сохраняются целевые результаты, состав локальных операторов и нормативная трудоемкость программы.

Таким образом, учебный план является не только нормативным документом, регламентирующим организацию образовательного процесса, но и инструментальной структурной моделью образовательного оператора. В рамках целевого подхода он связывает нормативно заданное целевое состояние выпускника с композицией локальных образовательных операторов, их последовательностью, трудоемкостью и взаимосвязями. Тем самым учебный план выступает инструментом реализации образовательной программы, обеспечивающим переход от целей подготовки к организации образовательного процесса.



Рис 3 Логика реализации целевого подхода в образовательной программе

4.6. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств представляет собой измерительную и верификационную подсистему образовательного оператора. Его назначение состоит в установлении того, произошло ли требуемое изменение состояния обучаемого и достигнут ли целевой уровень соответствия фактически сформированного состояния требованиям компетентностной модели [13,15,18,23].

Преобразование состояния обучаемого, рассмотренное в предыдущих разделах,

$$\mathcal{F}_T(\vec{S}^0) \xrightarrow{\varepsilon} \vec{S}^T,$$

само по себе представляет собой разомкнутый оператор. Полученное состояние обучаемого $\vec{S}^T$ непосредственно ненаблюдаемо и, следовательно, не может быть непосредственно использовано для принятия решений о достижении целей образовательной программы [24,37].

Для замыкания контура управления вводится измерительная подсистема - фонд оценочных средств. Ее задача состоит в отображении внутреннего состояния обучаемого в пространство наблюдаемых результатов [24,37]

$$\vec{S}^T \xrightarrow{\mathcal{M}} \vec{R},$$

где $\mathcal{M}$ - оператор измерения, а $\vec{R}$ - вектор наблюдаемых результатов образовательной деятельности. Его компонентами являются результаты выполнения контрольных заданий, ответы на вопросы, решения задач, проекты, лабораторные и практические работы, а также другие наблюдаемые продукты учебной деятельности [13,15,18].

На основании наблюдаемых результатов формируется решение о степени соответствия фактически достигнутого состояния нормативному целевому состоянию

$$(\vec{R}, \vec{S}^*) \xrightarrow{\mathcal{D}} Q,$$

где $\mathcal{D}$ - оператор принятия решения, а Q представляет собой количественную или качественную оценку соответствия (или отклонения) фактически достигнутого состояния относительно требований компетентностной модели [13,15,19,23]. Конкретный вид метрики соответствия определяется принятой системой оценивания и не является предметом настоящей работы.

Системная причина существования фонда оценочных средств состоит не в необходимости проведения экзаменов и выставления оценок как таковых, а в необходимости замыкания контура управления образовательным процессом. Без измерения результата образовательный оператор остается разомкнутым: невозможно объективно определить степень достижения поставленной

цели, выявить отклонение фактически сформированного состояния от требуемого и сформировать корректирующее управляющее воздействие [25,29,38].

После введения фонда оценочных средств образовательный процесс приобретает структуру замкнутой системы управления

$$\mathcal{F}_T(\vec{S}^0) \xrightarrow{\varepsilon} \vec{S}^T \xrightarrow{\mathcal{M}} \vec{R} \xrightarrow{\mathcal{D}} Q,$$

где образовательный оператор $\mathcal{F}_T$ обеспечивает преобразование состояния обучаемого, оператор $\mathcal{M}$ реализует его измерение, оператор $\mathcal{D}$ интерпретирует результаты измерения и формирует оценку достижения цели, а полученная информация используется для последующей корректировки образовательного процесса. Полученная оценка Q представляет собой информационную основу для замыкания контура управления образовательным процессом. На ее основании субъект управления - преподаватель, руководитель образовательной программы или интеллектуальная информационная система - принимает решения о сохранении либо корректировке последующих образовательных воздействий. Таким образом, введение фонда оценочных средств превращает образовательный процесс из разомкнутого оператора преобразования состояния обучаемого в систему управления с обратной связью [25,29,30,38].

Предложенная модель позволяет естественным образом разделить три принципиально различные функции образовательной системы: преобразование состояния обучаемого, измерение результатов этого преобразования и управление образовательным процессом на основе полученной обратной связи. Именно такая декомпозиция создает основу для последующего анализа роли цифровых технологий и искусственного интеллекта, которые могут быть встроены в каждый из указанных контуров без изменения фундаментальной структуры образовательного процесса.

V. УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА КАК ОСНОВНОЙ СУБОПЕРАТОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Образовательная программа включает различные виды образовательной деятельности, каждый из которых представляет собой самостоятельный образовательный оператор. Помимо учебных дисциплин к ним относятся учебные и производственные практики, проектная деятельность, научно-исследовательская работа, подготовка выпускной квалификационной работы, государственная итоговая аттестация и другие предусмотренные образовательной программой элементы [23].

Несмотря на такое разнообразие, именно учебная дисциплина является основным

структурным элементом образовательной программы. Через совокупность дисциплин реализуется основная часть образовательного процесса, формируется значительная часть требуемых компетенций и осуществляется основная образовательная деятельность преподавателей и обучающихся [19,23]. Поэтому дальнейшее изложение сосредоточено на анализе учебной дисциплины как базового субоператора образовательной программы. Полученные результаты в дальнейшем могут быть распространены и на другие виды образовательной деятельности.

5.1. Учебная дисциплина как образовательный оператор

После рассмотрения образовательной программы как образовательного оператора верхнего уровня естественным является переход к ее основному структурному элементу - учебной дисциплине. Именно на этом уровне общая архитектура образовательной программы приобретает конкретное содержательное и организационное воплощение.

В рамках предлагаемой модели учебная дисциплина рассматривается как самостоятельный образовательный оператор, реализующий часть общего преобразования состояния обучающегося. Она не формирует целевое состояние выпускника в целом, а обеспечивает изменение определенной совокупности параметров состояния обучающегося, внося вклад в достижение общих целей образовательной программы.

Тем самым операторная модель, построенная для образовательной программы, непосредственно распространяется на уровень отдельной дисциплины. Каждая дисциплина имеет собственное входное состояние обучающегося, ожидаемое выходное состояние, образовательную среду реализации и фонд оценочных средств. Входные требования определяют необходимое начальное состояние обучающегося, ожидаемые результаты - локальное изменение его состояния, образовательная среда определяет способы организации образовательной деятельности, а фонд оценочных средств обеспечивает измерение достигнутых результатов и проверку их соответствия поставленным целям [13,15,19,23].

Каждая дисциплина характеризуется общей трудоемкостью, продолжительностью освоения, местом в учебном плане, входными требованиями, ожидаемыми результатами обучения, используемыми формами образовательной деятельности и формой итогового контроля. Совокупность этих параметров определяет место дисциплины в образовательной программе и условия ее согласования с другими дисциплинами и видами образовательной деятельности.

Общая трудоемкость характеризует нормативный объем деятельности обучающегося,

необходимый для достижения предусмотренных результатов [31]. Продолжительность освоения определяет время действия образовательного оператора. Место дисциплины в учебном плане задает ее положение в общей последовательности подготовки и взаимосвязь с предшествующими и последующими дисциплинами. Формы образовательной деятельности определяют способы реализации образовательного воздействия, а форма итогового контроля - способ внешней проверки достигнутого результата.

Таким образом, учебная дисциплина представляет собой не просто самостоятельный учебный предмет, а структурный элемент образовательной программы, реализующий собственный оператор преобразования состояния обучающегося. Совокупность взаимосвязанных дисциплин образует композицию образовательных операторов, совместная реализация которых обеспечивает достижение целевого состояния выпускника.

5.2. Внутренняя структура учебной дисциплины

Учебная дисциплина представляет собой не однородный образовательный процесс, а композицию взаимосвязанных видов образовательной деятельности, каждый из которых выполняет определенную функцию в преобразовании состояния обучающегося. При этом различие между лекциями, практическими занятиями, лабораторными работами и другими элементами определяется не их организационной формой и не относительной значимостью, а характером образовательного воздействия и решаемыми образовательными задачами.

Основу структуры дисциплины образуют нормативно закрепленные виды образовательной деятельности: лекции, практические или семинарские занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа обучающихся. Совместно они реализуют основной контур образовательного воздействия. Лекции обеспечивают формирование и систематизацию новых знаний, практические занятия и семинары - их осмысление и применение, лабораторные работы - приобретение практического опыта и освоение методов деятельности, самостоятельная работа - закрепление материала, развитие самостоятельности и индивидуальное углубление подготовки [9,12,13]. Каждая из этих форм изменяет различные компоненты состояния обучающегося и потому не может быть исключена без изменения свойств образовательного оператора в целом.

Для решения специальных образовательных задач в структуру дисциплины могут включаться дополнительные виды образовательной деятельности: курсовые работы, курсовые

проекты, расчетно-графические работы, индивидуальные и групповые проекты, коллоквиумы и другие формы. Их назначение состоит в реализации образовательных воздействий, требующих интеграции знаний, выполнения законченных инженерных, исследовательских или проектных задач, а также развития профессиональной самостоятельности обучающегося. Эти элементы не заменяют основной контур образовательного процесса, а расширяют его функциональные возможности.

Завершающим компонентом дисциплины является подсистема верификации достигнутых результатов обучения. В нормативной практике она реализуется в форме зачета, зачета с оценкой или экзамена. Независимо от конкретной организационной формы ее функциональное назначение остается неизменным - измерение степени достижения целей дисциплины, подтверждение сформированного состояния обучающегося и принятие решения о завершении данного этапа образовательного процесса.

Таким образом, учебная дисциплина представляет собой композицию образовательных операторов различного функционального назначения. Одни из них обеспечивают непосредственное образовательное воздействие, другие - организацию самостоятельной деятельности обучающегося, третьи - интеграцию и закрепление результатов, четвертые - их объективную проверку. Именно согласованная работа этих компонентов обеспечивает реализацию дисциплины как целостного образовательного оператора.

5.3. Граница исследования

Как было показано выше, учебная дисциплина представляет собой композицию образовательных операторов различного функционального назначения. Каждый из них обладает собственной структурой, технологией реализации, системой взаимодействия преподавателя и обучающегося, а также специфическими возможностями применения цифровых технологий и искусственного интеллекта. Поэтому построение целостной модели цифровой трансформации учебной дисциплины требует последовательного исследования каждого из входящих в нее образовательных операторов и выходит за рамки одной статьи.

В настоящей работе объектом исследования выбран лекционный оператор дисциплины. Такой выбор обусловлен тем, что лекционный оператор является нормативно устойчивым элементом большинства образовательных программ, занимает существенную долю трудоемкости дисциплины, обладает относительно однородной внутренней структурой и реализуется практически независимо от направления подготовки. Благодаря этим свойствам он представляет собой удобный

объект для разработки и верификации общей модели цифровой трансформации образовательного процесса.

Исследование лекционного оператора позволяет выявить основные закономерности применения современных цифровых технологий и искусственного интеллекта при организации образовательной деятельности. Полученные результаты рассматриваются как первый этап построения общей модели цифровой трансформации учебной дисциплины и в дальнейшем могут быть распространены на другие виды образовательных операторов.

В настоящей статье рассматриваются исключительно процессы подготовки и реализации лекционного оператора дисциплины. Особенности цифровой трансформации практических и лабораторных занятий, самостоятельной работы обучающихся, проектной деятельности, а также процедур промежуточной и итоговой аттестации требуют самостоятельного исследования и в данной работе не рассматриваются.

VI. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИЧЕСКОГО ЛЕКЦИОННОГО БЛОКА

6.1. Назначение лекционного оператора дисциплины

Лекционный оператор является основным элементом образовательной деятельности, обеспечивающим введение нового предметного содержания в процесс обучения. Его назначение состоит в организации такого взаимодействия преподавателя и обучающегося, при котором новое предметное содержание становится основой изменения состояния обучающегося и формирования его внутренней модели предметной области [2,9,12,14].

С функциональной точки зрения лекционный оператор включает два взаимосвязанных процесса. Первый процесс реализуется преподавателем и заключается в формировании, структурировании и предъявлении нового предметного содержания. Его результатом является организованный поток знаний

$$K = P(D),$$

где D - предметное содержание дисциплины, P - оператор его подготовки и представления, а K - информационный поток, поступающий обучающему.

Второй процесс реализуется обучаемым и заключается в восприятии, осмыслении, анализе, установлении внутренних связей и интеграции полученного содержания в ранее сформированную систему знаний. Этот процесс может быть представлен оператором

$$\vec{S}^{i+1} = \mathcal{A}(\vec{S}^i, K),$$

где $\vec{S}^i$ - состояние обучаемого до начала лекционного процесса, $\vec{S}^{i+1}$ - состояние после его завершения, а $\mathcal{A}$ - оператор индивидуальной когнитивной обработки поступившего предметного содержания.

Таким образом, лекционный оператор представляет собой последовательную композицию двух взаимосвязанных процессов:

$$D \xrightarrow{\mathcal{P}} K \xrightarrow{\mathcal{A}} \vec{S}^{i+1}.$$

При этом ни один из указанных процессов не является самодостаточным. Формирование и предъявление предметного содержания без его активной когнитивной обработки не приводит к изменению состояния обучаемого. В то же время познавательная деятельность невозможна без поступления организованного и методически структурированного входного потока знаний. Только совместное функционирование обоих процессов образует лекционный оператор как самостоятельный элемент образовательной программы.

Следовательно, результатом функционирования лекционного оператора является не проведение лекционного занятия и не предъявление определенного объема информации, а изменение состояния обучаемого, выражающееся в формировании новых понятий, установлении взаимосвязей между ними и включении нового предметного содержания в его внутреннюю модель предметной области. Именно это изменение создает основу для последующего выполнения практических, лабораторных, проектных и иных видов образовательной деятельности.

6.2. Деятельность преподавателя

Деятельность преподавателя в составе лекционного оператора направлена на формирование, организацию и адаптацию входного потока предметного содержания, поступающего обучаемым. При этом непосредственным объектом управления является не состояние обучаемого, а содержание, структура и способ представления учебного материала. Изменение состояния обучаемого достигается опосредованно - посредством его собственной познавательной деятельности.

На этапе подготовки лекции преподаватель осуществляет отбор предметного содержания в соответствии с целями дисциплины, определяет объем изучаемого материала, устанавливает последовательность рассмотрения вопросов, формирует систему понятий и взаимосвязей между ними, подбирает примеры, иллюстрации и иные средства, обеспечивающие понимание изучаемой предметной области. Результатом этой деятельности является формирование структурированного входного потока знаний,

предназначенного для последующего предъявления обучаемым.

Во время проведения лекции преподаватель реализует этот поток, организуя его восприятие обучаемыми. Он определяет темп изложения, акцентирует внимание на ключевых понятиях и закономерностях, поясняет сложные вопросы, использует примеры и аналогии, а также обеспечивает логическую связность и целостность изложения материала.

Важной особенностью лекционного оператора является наличие непрерывной обратной связи [25,29,38]. В процессе лекции преподаватель наблюдает реакцию аудитории, оценивает степень понимания материала, отвечает на возникающие вопросы, изменяет темп изложения, дополняет объяснения или возвращается к ранее рассмотренным вопросам. Таким образом, входной поток знаний не является заранее фиксированным, а непрерывно адаптируется к состоянию аудитории.

Формально поток предметного содержания может быть представлен как

$$K(t; R) = \mathcal{P}(D; t; R),$$

где D - предметное содержание дисциплины, t - текущее время лекционного занятия, R - совокупность наблюдаемых реакций аудитории, а $\mathcal{P}$ - оператор формирования и адаптации потока знаний. Тем самым подчеркивается, что содержание лекции определяется не только заранее подготовленным материалом, но и динамически изменяется в процессе взаимодействия преподавателя с обучаемыми.

Следовательно, деятельность преподавателя представляет собой непрерывный процесс формирования и управления входным потоком предметного содержания, обеспечивающий наиболее благоприятные условия для последующей когнитивной обработки информации обучаемыми. Именно эта деятельность образует первую функциональную составляющую лекционного оператора дисциплины.

6.3. Деятельность обучаемого

Деятельность обучаемого представляет собой вторую функциональную составляющую лекционного оператора. Ее назначение состоит в преобразовании входного потока предметного содержания, сформированного преподавателем, в изменения собственной внутренней модели предметной области. Именно этот процесс обеспечивает достижение образовательного результата и завершает функционирование лекционного оператора.

Получаемое в ходе лекции предметное содержание первоначально воспринимается обучаемым и фиксируется в различных формах, включая конспектирование, выделение ключевых положений и построение предварительных

логических связей. Однако получение информации само по себе еще не означает ее усвоения. Основной этап образовательной деятельности заключается в последующей когнитивной обработке поступившего материала.

В процессе такой обработки обучаемый интерпретирует новые сведения, сопоставляет их с уже имеющимися знаниями, выявляет причинно-следственные связи, обнаруживает возможные противоречия и формирует новые элементы собственной предметной модели [9,10-12]. При недостаточном понимании материала обучаемый формулирует вопросы, уточняет отдельные положения и тем самым участвует в формировании обратной связи лекционного оператора.

После завершения лекционного занятия образовательная деятельность продолжается. Повторение материала, восстановление логики изложения, анализ конспекта, обращение к дополнительным источникам и повторное осмысление изученного обеспечивают закрепление новых знаний и их интеграцию в существующую систему представлений. Таким образом, лекционный оператор не ограничивается временем проведения лекции, а включает последующую самостоятельную когнитивную деятельность обучаемого.

Формально деятельность обучаемого может быть представлена оператором

$$\vec{S}^{i+1} = \mathcal{A}(\vec{S}^i, K),$$

где $\vec{S}^i$ - состояние обучаемого до начала лекционного оператора, K - входной поток предметного содержания, сформированный преподавателем, а $\mathcal{A}$ - оператор когнитивной обработки информации. Состояние $\vec{S}^i$ включает ранее сформированную внутреннюю модель предметной области M , определяющая контекст интерпретации новых знаний. Введение величины M отражает принципиальное свойство образовательного процесса: новое предметное содержание никогда не усваивается изолированно, а всегда интерпретируется через уже имеющуюся систему знаний, понятий и представлений обучаемого. Именно поэтому один и тот же лекционный материал может приводить к различным образовательным результатам у разных обучаемых.

Следовательно, основная функция обучаемого в составе лекционного оператора состоит не в пассивном восприятии информации, а в ее активной когнитивной переработке, обеспечивающей изменение собственного состояния знаний и формирование более полной и внутренне согласованной модели изучаемой предметной области.

6.4. Два контура деятельности преподавателя

Анализ деятельности преподавателя показывает, что в составе лекционного оператора одновременно реализуются два взаимосвязанных контура, выполняющих различные функции. Первый контур обеспечивает формирование и предъявление предметного содержания обучаемым. Второй контур обеспечивает управление процессом представления этого содержания на основе непрерывной обратной связи с аудиторией [25,29,38]. Совместная работа этих контуров определяет эффективность функционирования лекционного оператора.

Первый контур реализует основную предметную функцию лекции. Преподаватель последовательно представляет подготовленный материал, раскрывает новые понятия, объясняет закономерности, устанавливает логические связи между отдельными разделами, использует примеры, иллюстрации и аналогии. Результатом функционирования первого контура является формирование входного потока предметного содержания K , поступающего обучаемым.

Одновременно с этим преподаватель реализует второй контур деятельности, связанный с непрерывным наблюдением за состоянием аудитории [24,25,37]. В процессе лекции оценивается уровень внимания, понимания материала, характер возникающих затруднений, количество и содержание вопросов, темп восприятия и другие признаки, отражающие реакцию обучаемых на предъявляемое содержание. Получаемая информация используется для оперативной корректировки способа представления материала.

Таким образом, второй контур представляет собой контур управления процессом формирования входного потока знаний. Объектом управления является не состояние обучаемого непосредственно, а характеристики информационного потока, формируемого преподавателем: последовательность изложения, глубина объяснений, темп представления материала, выбор примеров, повторение отдельных положений, изменение акцентов и другие параметры лекционного процесса. Реакция аудитории образует канал обратной связи, обеспечивающий адаптацию лекции к текущему состоянию обучаемых [25,29,30,38].

Формально эта зависимость может быть представлена выражением

$$K(t; R) = \mathcal{P}(D; t; R),$$

где D - предметное содержание дисциплины, t - текущее время лекции, R - совокупность наблюдаемых реакций аудитории, а $\mathcal{P}$ - оператор формирования и адаптации входного потока знаний. Из приведенного выражения следует, что поток предметного содержания определяется не только заранее подготовленным материалом, но и

непрерывно изменяется в процессе проведения лекции.



Рис. 4. Двухконтурная функциональная модель деятельности преподавателя в составе лекционного оператора

Именно второй контур (Рис. 4) в наибольшей степени определяется педагогическим мастерством преподавателя. Он требует способности интерпретировать реакцию аудитории, выявлять признаки непонимания, прогнозировать возможные затруднения и оперативно изменять способ представления материала. В отличие от первого контура, который в значительной степени может быть заранее спроектирован, второй контур реализуется в реальном времени и требует непрерывного принятия педагогических решений.

Таким образом, классический лекционный оператор представляет собой не линейный процесс передачи предметного содержания, а адаптивную систему с обратной связью, в которой непрерывное управление способом представления материала является не менее важной функцией преподавателя, чем подготовка самого содержания лекции.

6.5. Непрерывность верификации и мотивированность обучаемого

Одним из важнейших свойств лекционного оператора является наличие непрерывной познавательной деятельности обучаемого. Изменение его состояния происходит не дискретно в момент проведения контрольных

мероприятий, а непрерывно в процессе восприятия, осмысления, последующего повторения и интеграции нового предметного содержания в ранее сформированную систему знаний. Следовательно, для эффективного управления образовательным процессом объективная информация о достигнутом состоянии обучаемого также должна формироваться непрерывно или, по крайней мере, с минимально возможной задержкой.

Однако в классической университетской модели подобная непрерывная индивидуальная верификация практически недостижима. Причиной этого являются не недостатки конкретной образовательной методики, а объективные ограничения классической образовательной технологии. Один преподаватель физически не способен непрерывно наблюдать, анализировать и оценивать образовательную деятельность каждого обучаемого. При массовом обучении отсутствуют и технологические средства, позволяющие регистрировать и интерпретировать образовательную деятельность каждого студента в реальном времени. Вследствие этих ресурсных и технологических ограничений объективная оценка результатов обучения переносится на промежуточную и итоговую аттестацию.

Таким образом, в классическом лекционном операторе возникает объективное противоречие. С одной стороны, образовательная деятельность обучаемого представляет собой непрерывный процесс, требующий регулярной обратной связи и своевременной коррекции. С другой стороны, объективная верификация достигнутого состояния осуществляется дискретно и со значительной временной задержкой. Между моментом изучения материала и подтверждением степени его усвоения могут проходить недели или месяцы.

В результате значительная часть образовательной деятельности обучаемого оказывается вне зоны оперативного управления. В течение длительного времени обучаемый не располагает объективной информацией о степени достижения требуемого образовательного результата и не имеет возможности своевременно корректировать собственную образовательную деятельность на основании достоверных данных. Соответственно, преподаватель также лишен возможности осуществлять индивидуальное управление процессом формирования знаний каждого обучаемого.

В этих условиях особое значение приобретает внутренняя мотивация обучаемого. Именно она компенсирует отсутствие непрерывной внешней обратной связи и обеспечивает поддержание необходимой интенсивности и качества образовательной деятельности между контрольными мероприятиями. Следовательно, в классической модели университета высокая учебная мотивация выступает не только как желательное личностное качество обучаемого, но и как объективно необходимый компенсирующий механизм, обеспечивающий работоспособность образовательной системы в условиях ограниченных ресурсов и технологических возможностей.

Таким образом, зависимость результатов обучения от уровня внутренней мотивации обучаемого является не случайной особенностью классического университетского образования, а закономерным следствием его архитектурных, ресурсных и технологических ограничений. Именно эти ограничения определяли возможности организации образовательного процесса на протяжении нескольких столетий и сформировали традиционную модель лекционного обучения, основанную на эпизодической верификации достигнутых результатов.

6.6. Иные ограничения классической реализации лекционного оператора

Построенная функциональная модель позволяет выявить ряд объективных ограничений классической реализации лекционного оператора. Следует подчеркнуть, что эти ограничения не являются следствием недостатков конкретных образовательных программ или отдельных

преподавателей. Они сформировались как закономерный результат ресурсных и технологических возможностей классического университета и определяли организацию лекционного процесса на протяжении нескольких столетий.

Прежде всего, качество лекционного процесса в значительной степени зависит от профессионального и педагогического мастерства преподавателя. Именно преподаватель формирует структуру предметного содержания, организует его представление, поддерживает внимание аудитории и осуществляет адаптацию лекционного процесса на основе наблюдаемой обратной связи. Соответственно, образовательные результаты оказываются существенно зависимыми от индивидуальных качеств конкретного лектора. При этом подготовка преподавателей, обладающих одновременно глубокими предметными знаниями и высоким педагогическим мастерством, представляет собой длительный и ресурсоемкий процесс, что объективно формирует дефицит сильных лекторов.

Вторым существенным ограничением является преимущественно групповой характер обратной связи. Даже опытный преподаватель способен оценивать лишь общее состояние аудитории, ориентируясь на косвенные признаки понимания материала, характер задаваемых вопросов и общую динамику взаимодействия. При массовом обучении индивидуальная диагностика степени усвоения материала каждым обучаемым практически недостижима.

Следствием этого является отсутствие регулярной объективной диагностики понимания учебного материала каждым студентом. Преподаватель не располагает достоверной информацией о том, какие именно понятия уже усвоены, какие требуют дополнительного объяснения, а какие остаются непонятыми. Аналогично, обучаемый в большинстве случаев не получает оперативной объективной оценки собственного продвижения до момента проведения очередного контрольного мероприятия.

Дополнительным ограничением является значительный временной интервал между представлением нового материала и его формальной верификацией в ходе промежуточной или итоговой аттестации. За этот период могут накапливаться пробелы в знаниях, ошибочные представления и неверные причинно-следственные связи, своевременное выявление и коррекция которых в рамках классического лекционного процесса существенно затруднены.

Наконец, классическая лекционная модель практически не обеспечивает накопления объективных данных о качестве самого лекционного процесса [7,39,40]. Как правило,

сохраняются сведения о факте проведения лекций и итоговых результатах аттестации, однако практически отсутствует информация о динамике усвоения отдельных тем, возникающих затруднениях, эффективности различных способов представления материала и особенностях образовательной деятельности конкретных обучаемых [7,39-42]. Это существенно ограничивает возможности анализа, совершенствования и воспроизводимого повышения качества лекционных курсов.

Таким образом, классическая реализация лекционного оператора характеризуется совокупностью взаимосвязанных ограничений: высокой зависимостью от индивидуального мастерства преподавателя, дефицитом квалифицированных лекторов, преимущественно групповым характером обратной связи, отсутствием непрерывной индивидуальной диагностики образовательной деятельности, значительной задержкой между представлением материала и его объективной верификацией, а также недостаточным накоплением данных для последующего анализа и совершенствования образовательного процесса. Эти ограничения имеют объективный характер и отражают уровень развития образовательных технологий классического университета.

VII. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО ОПЕРАТОРА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Развитие образовательных технологий не является изолированным процессом. На протяжении всей истории содержание, организация и инструменты образовательной деятельности изменялись под воздействием общего уровня технологического развития общества. Каждая крупная технологическая революция сопровождалась изменением способов накопления, передачи и использования знаний, что неизбежно отражалось на формах организации образовательного процесса [5,22,33].

Современный этап развития общества, связываемый с четвертой промышленной революцией и широкомасштабной цифровой трансформацией, характеризуется повсеместным внедрением цифровых платформ, интеллектуальных информационных систем, больших данных и искусственного интеллекта в производственную, научную и управленческую деятельность. Образование, являясь одной из фундаментальных подсистем общества, объективно не может оставаться вне этих процессов. Поэтому цифровая трансформация образовательной деятельности представляет собой не локальную модернизацию отдельных педагогических методик, а закономерный этап эволюции образовательных технологий,

обусловленный изменением технологической базы современного общества [22,33,43].

При этом принципиально важно отметить, что цифровая трансформация не изменяет фундаментальную цель образовательного процесса, сформулированную в предыдущих разделах статьи. Как и прежде, целью образования остается преобразование состояния обучаемого в соответствии с нормативно заданной компетентностной моделью. Изменения затрагивают прежде всего технологию реализации образовательных операторов, распределение функций между участниками образовательного процесса и доступные механизмы организации, сопровождения и верификации образовательной деятельности.

Далее рассматривается модификация классического лекционного оператора, возникающая вследствие появления цифровой образовательной среды и интеллектуальных информационных технологий.

7.1. Принцип технологической модификации лекционного оператора

Цифровая трансформация образовательной деятельности не изменяет фундаментального назначения лекционного оператора. Как и в классической модели, его основной функцией остается введение нового предметного содержания в образовательный процесс и формирование у обучаемого требуемых изменений состояния посредством собственной познавательной деятельности. Следовательно, неизменными остаются образовательная функция лекционного оператора, характер деятельности обучаемого и ответственность преподавателя за предметное содержание дисциплины, его научную корректность и соответствие целям образовательной программы [4,8,34,44].

Изменения затрагивают не сущность образовательного процесса, а способы его технологической реализации. Новые информационные технологии позволяют существенно изменить методы подготовки, представления и сопровождения учебного материала, организацию взаимодействия участников образовательного процесса, способы получения обратной связи и механизмы верификации результатов обучения. Таким образом, объектом цифровой трансформации выступает технология реализации лекционного оператора при сохранении его образовательного назначения.

При анализе современной технологической эволюции образовательного процесса принципиально важно различать два качественно различных уровня изменений. Первый уровень связан с цифровизацией существующих образовательных процессов. Он включает использование электронных образовательных

ресурсов, систем дистанционного обучения, цифровых библиотек, видеолекций, средств электронного документооборота и других информационных технологий, обеспечивающих автоматизацию хранения, передачи и сопровождения образовательной информации. При этом функциональная структура лекционного оператора и распределение ролей между преподавателем и обучаемым принципиально не изменяются.

Второй уровень связан с применением технологий искусственного интеллекта. В отличие от традиционной цифровизации, искусственный интеллект способен принимать участие в выполнении отдельных интеллектуальных функций, ранее осуществлявшихся исключительно человеком [8,34,44,45]. Это относится к подготовке и структурированию образовательного контента, анализу образовательной деятельности, адаптации способов представления материала, интерпретации результатов обучения и поддержке принятия педагогических решений [4,8,34,44]. Таким образом, искусственный интеллект не просто автоматизирует существующие процессы, а изменяет технологическую организацию лекционного оператора за счет перераспределения отдельных интеллектуальных функций между преподавателем, обучаемым и цифровой образовательной средой.

В настоящей работе оба уровня рассматриваются последовательно. Сначала анализируются возможности цифровизации как технологической основы модернизации лекционного оператора, после чего исследуются изменения, возникающие при включении в образовательный процесс технологий искусственного интеллекта. Такое разделение позволяет последовательно проследить эволюцию образовательной технологии и отделить эффекты общей цифровой трансформации от качественно новых возможностей, обусловленных применением интеллектуальных систем.

7.2. Возможности цифровизации

Первым этапом технологической модификации лекционного оператора стала широкомасштабная цифровизация образовательного процесса [5,33,43]. Ее основная цель заключалась в переносе традиционных образовательных технологий в цифровую среду и использовании современных информационных средств для повышения эффективности подготовки, представления и распространения учебных материалов.

В рамках цифровизации лекционный оператор получил широкий спектр новых технологических возможностей. Современные презентационные средства позволяют существенно повысить наглядность изложения и использовать мультимедийные способы представления

информации. Технологии записи лекций и их последующего повторного просмотра обеспечивают многократный доступ обучаемых к образовательному материалу независимо от времени и места его первоначального представления. Онлайн-трансляции расширяют возможности участия в образовательном процессе, а средства автоматической расшифровки речи позволяют формировать текстовые версии лекций практически без участия преподавателя. Дополнительное развитие получили электронные конспекты, цифровые образовательные ресурсы и единые информационные среды, обеспечивающие централизованный доступ к учебным материалам дисциплины [5,33,43].

Все перечисленные технологии существенно повышают доступность образовательного контента, упрощают его распространение, улучшают условия повторного изучения материала и создают единое цифровое информационное пространство образовательной программы. При этом цифровизация позволяет значительно снизить трудоемкость подготовки и сопровождения лекционного процесса, повысить воспроизводимость образовательных материалов и обеспечить их длительное хранение и повторное использование.

Однако функциональная структура лекционного оператора при этом остается практически неизменной. Цифровые технологии совершенствуют способы представления предметного содержания и обеспечивают более удобный доступ к нему, но не изменяют принципиальную организацию образовательного процесса. Обучаемый по-прежнему самостоятельно осуществляет когнитивную обработку материала, а преподаватель сохраняет традиционные функции подготовки и представления предметного содержания.

Наиболее существенным является то обстоятельство, что сама по себе цифровизация не устраняет фундаментального противоречия классической лекционной модели, рассмотренного в предыдущем разделе. Несмотря на качественное улучшение представления и доступности образовательного контента, она практически не создает непрерывного индивидуального контура управления пониманием материала каждым обучаемым [5,33,39,40]. Верификация образовательной деятельности остается преимущественно дискретной, а обратная связь продолжает носить в основном групповой характер. Следовательно, цифровизация существенно совершенствует технологические средства реализации лекционного оператора, но не изменяет его базовую функциональную архитектуру.

7.3. Возможности искусственного интеллекта

В отличие от традиционной цифровизации, ориентированной преимущественно на совершенствование способов подготовки, хранения и представления образовательного контента, применение искусственного интеллекта затрагивает интеллектуальные функции самого образовательного процесса [8,34,44]. Благодаря современным большим языковым моделям и другим технологиям искусственного интеллекта становится возможным автоматизированный анализ образовательной деятельности обучаемого и интерпретация результатов такого анализа в масштабах, ранее недостижимых при традиционной организации обучения [7,8,34,41,42,44-46].

Наиболее существенным следствием этого является возможность организации содержательной индивидуальной диагностики понимания учебного материала после завершения каждого лекционного фрагмента, каждой темы или каждого лекционного занятия. Принципиально важно, что такая диагностика может проводиться для каждого обучаемого без пропорционального увеличения нагрузки преподавателя, что ранее являлось практически невозможным вследствие объективных ресурсных ограничений классического университета.

При этом диагностика перестает рассматриваться исключительно как средство промежуточной или итоговой аттестации. Она становится регулярным элементом самого образовательного процесса и включается в общий цикл формирования знаний. Основной целью такой диагностики является не выставление оценки, а своевременное выявление непонимания, обнаружение ошибочных представлений, определение пробелов в освоении материала и формирование оснований для последующей коррекции образовательной деятельности обучаемого.

Таким образом, искусственный интеллект впервые создает технологическую возможность формирования практически непрерывного индивидуального контура содержательной верификации образовательной деятельности каждого учащегося. Это позволяет существенно сократить временной разрыв между изучением материала и объективной оценкой степени его понимания, который был показан в разделе 6 как одно из фундаментальных ограничений классического лекционного оператора.

Следует подчеркнуть, что применение искусственного интеллекта не изменяет распределение ответственности между участниками образовательного процесса. Преподаватель по-прежнему определяет содержание дисциплины, образовательные цели, критерии оценки и принимает все педагогически значимые решения. Искусственный интеллект выполняет интеллектуально трудоемкие операции

анализа образовательной деятельности, подготовки диагностической информации и формирования рекомендаций, создавая условия для качественно нового уровня сопровождения образовательного процесса.

Таким образом, принципиальное отличие применения искусственного интеллекта от традиционной цифровизации состоит не в автоматизации отдельных процедур, а в появлении новой образовательной функции - непрерывной содержательной индивидуальной диагностики, встроенной непосредственно в процесс формирования знаний. Именно эта возможность открывает путь к построению принципиально новой архитектуры лекционного оператора, в которой диагностика становится не завершающим этапом обучения, а его неотъемлемой составной частью.

7.4. Индивидуальный контур образовательной деятельности

Появление средств содержательной индивидуальной диагностики позволяет сформировать для каждого обучаемого собственный замкнутый контур управления образовательной деятельностью [7,25,29,30,39,40,46]. В отличие от классической модели, в которой проверка степени усвоения материала осуществляется эпизодически и преимущественно в рамках промежуточной или итоговой аттестации, диагностика становится регулярным элементом образовательного процесса и сопровождает освоение каждой темы, каждого лекционного фрагмента или отдельного занятия.

Индивидуальный образовательный контур реализуется в виде последовательности взаимосвязанных этапов: освоение нового материала, диагностика степени его понимания, выявление пробелов и ошибочных представлений, повторное обращение к соответствующим разделам учебного материала и последующая повторная диагностика. Таким образом, процесс продолжается до достижения требуемого уровня освоения темы, а образовательная деятельность приобретает характер замкнутого цикла.

Принципиальное значение имеет изменение функционального назначения промежуточной диагностики. В рассматриваемой модели она не является формой итогового контроля и не предназначена для выставления оценки обучаемому. Ее основная задача состоит в измерении текущего состояния объекта управления - степени освоения изучаемого материала - и формировании информации, необходимой для принятия последующих образовательных решений. Отрицательный промежуточный результат рассматривается не как академическая неуспешность и не как основание для применения санкций, а как объективное

свидетельство того, что требуемое состояние обучаемого еще не достигнуто и образовательный цикл должен быть продолжен.

Такой подход принципиально изменяет место диагностики в архитектуре образовательного процесса. Она становится не завершающим этапом обучения, а встроенным элементом управления процессом формирования знаний. Каждая диагностическая процедура уточняет текущее состояние обучаемого и создает основания для выбора последующих образовательных воздействий, обеспечивая тем самым непрерывное сопровождение процесса освоения дисциплины.

Результаты всех диагностических процедур сохраняются и включаются в индивидуальную историю освоения дисциплины. В ней накапливаются сведения о последовательности изучения материала, динамике достижения требуемого уровня освоения отдельных тем, характерных затруднениях, повторных обращениях к учебным материалам и результатах повторных диагностик. В отличие от традиционной системы, в которой фиксируется преимущественно итоговая оценка, формируется целостная история образовательной деятельности обучаемого, отражающая процесс постепенного формирования знаний.

Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта позволяет впервые реализовать индивидуальный непрерывный контур управления образовательной деятельностью без пропорционального увеличения нагрузки преподавателя. Это обеспечивает переход от дискретного контроля достигнутого результата к непрерывному измерению текущего состояния обучаемого и его последовательному приближению к целевому уровню освоения дисциплины. Именно этот переход представляет собой одно из ключевых следствий технологической модификации лекционного оператора в условиях цифровой трансформации.

7.5. Ансамблевый контур управления лекционным оператором

Непрерывная индивидуальная диагностика образовательной деятельности создает не только условия для сопровождения каждого обучаемого, но и принципиально новые возможности анализа образовательного процесса в целом. Результаты, полученные в ходе освоения дисциплины отдельными обучаемыми, могут агрегироваться на уровне академической группы, учебного потока, образовательной программы и последующих реализаций учебного курса [7,39-42]. В результате формируется интегральное представление о закономерностях освоения учебного материала значительным числом обучаемых.

Агрегированный анализ позволяет выявлять устойчивые особенности образовательного

процесса, которые невозможно обнаружить при наблюдении за отдельными студентами. К ним относятся системно трудные понятия, устойчиво неусваиваемые взаимосвязи между изучаемыми объектами, типовые ошибки, повторяющиеся ложные интерпретации и другие закономерности, характеризующие качество освоения конкретных разделов дисциплины]. Подобные результаты отражают уже не особенности отдельных обучаемых, а свойства самого лекционного материала и способов его представления.

Накопленные данные позволяют анализировать эффективность различных компонентов лекционного оператора. На основании результатов большого числа обучаемых становится возможным выявление неудачной последовательности изложения отдельных вопросов, недостаточно понятных объяснений, неэффективных примеров и иллюстраций, а также тех способов представления материала, которые обеспечивают наиболее полное и устойчивое понимание изучаемой темы. Тем самым объектом анализа становится не только деятельность обучаемого, но и качество самого образовательного контента.

Полученная информация используется для последующей модификации лекционного материала. На ее основе преподаватель может изменять структуру лекции, уточнять последовательность рассмотрения вопросов, заменять отдельные примеры, дополнять объяснения, усиливать акценты на наиболее сложных понятиях и совершенствовать другие элементы образовательного процесса. В отличие от классической модели, где развитие лекционного курса в основном опирается на личный педагогический опыт преподавателя, основанием для его совершенствования становятся объективные данные, накопленные в ходе массовой образовательной практики.

Таким образом, наряду с индивидуальным контуром управления образовательной деятельностью формируется ансамблевый контур управления лекционным оператором. Если индивидуальный контур обеспечивает сопровождение процесса формирования знаний конкретного обучаемого, то ансамблевый контур обеспечивает последовательное совершенствование самого лекционного оператора на основании агрегированных результатов его многократного применения. Лекционный курс приобретает способность к систематическому развитию на основе объективной информации о собственной образовательной эффективности, что представляет собой качественно новое свойство цифровой образовательной технологии.

7.6. Референтная функциональная модель лекционного оператора

Предлагаемая референтная функциональная модель лекционного оператора представлена на рис. X. В отличие от традиционных процессных схем, она описывает не последовательность отдельных процедур, а функциональную архитектуру цифрового лекционного оператора, объединяющую жизненный цикл курса, образовательную деятельность обучающихся, индивидуальный контур сопровождения освоения материала и ансамблевый контур развития самого лекционного курса. Исходной точкой модели является деятельность преподавателя по разработке учебного курса. Преподаватель определяет предметное содержание дисциплины, структуру изложения, систему понятий и связей, подготавливает диагностические материалы и устанавливает критерии достижения образовательных результатов. Далее курс проходит референтную апробацию на пилотной группе обучающихся, после чего формируется его

качественное цифровое представление. Именно оно становится центральным объектом модели и представляет собой не просто запись лекции, а целостный цифровой образовательный объект, включающий учебный материал, средства диагностики, историю версий и необходимые метаданные.

От цифрового представления курса начинается индивидуальный образовательный контур. После освоения очередного фрагмента материала проводится содержательная диагностика степени его понимания. При выявлении пробелов обучаемый повторно обращается к соответствующим разделам курса, после чего вновь проходит диагностику. Таким образом, образовательная деятельность приобретает характер управляемого итерационного процесса, продолжающегося до достижения требуемого уровня освоения темы.

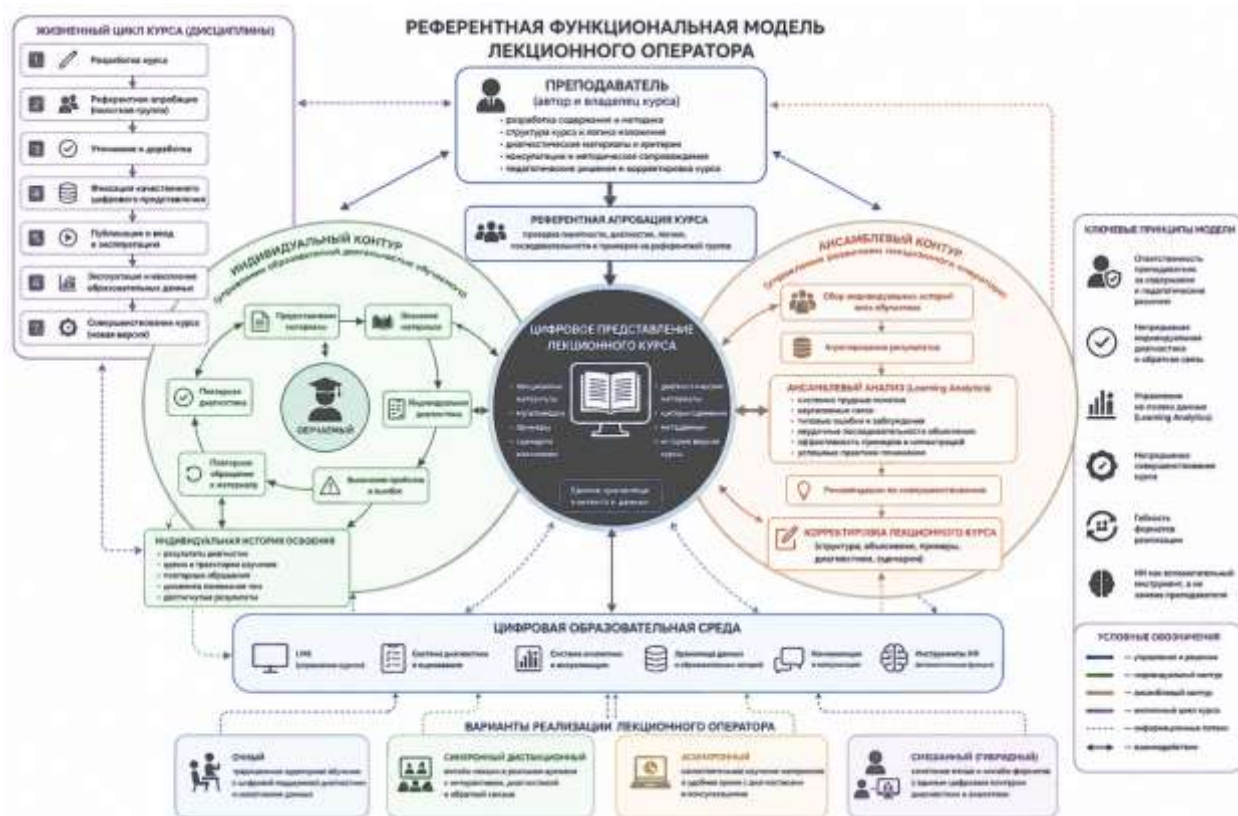


Рисунок 5 - Референтная функциональная модель лекционного оператора в условиях цифровой трансформации образовательного процесса

Принципиальным отличием предлагаемой модели (Рис.5) является то, что повторное освоение материала становится штатным механизмом образовательного процесса. Цифровое представление курса и средства искусственного интеллекта позволяют обучаемому многократно возвращаться к отдельным разделам дисциплины, получать индивидуальную диагностику и устранять выявленные пробелы без необходимости

повторного проведения лекции преподавателем. Тем самым итерационность перестает быть следствием академической неуспеваемости и становится нормальным способом достижения требуемого образовательного результата.

Каждая диагностическая процедура фиксируется в индивидуальной образовательной истории обучаемого. В ней накапливаются сведения о

последовательности освоения материала, количестве итераций, характере возникающих затруднений, результатах повторных диагностик и динамике формирования знаний. Таким образом, объектом фиксации становится не только итоговая оценка, но и весь процесс достижения требуемого образовательного состояния.

Совокупность индивидуальных образовательных историй образует вход ансамблевого контура управления. Их агрегированный анализ позволяет выявлять системно трудные понятия, устойчиво неусваиваемые взаимосвязи, типовые ошибки, неудачные последовательности объяснения, а также оценивать эффективность используемых примеров, иллюстраций и способов представления материала. В результате объектом анализа становится уже не отдельный обучаемый, а сам лекционный оператор.

Полученные результаты используются преподавателем для совершенствования лекционного курса. На их основе корректируются структура материала, последовательность его изложения, объяснения, примеры и диагностические сценарии. После внесения изменений формируется новая версия цифрового курса, которая вновь поступает в образовательный процесс. Тем самым ансамблевый контур замыкается на жизненный цикл курса и обеспечивает его непрерывное развитие на основании объективных данных образовательной практики.

Еще одной важной особенностью предлагаемой модели является изменение распределения функций между участниками образовательного процесса. Значительная часть процедур, традиционно выполняемых преподавателем в ходе повторных объяснений, консультаций и многочисленных пересдач, переносится на цифровую образовательную среду и средства искусственного интеллекта. Они обеспечивают многократную индивидуальную диагностику, сопровождение повторного освоения материала, накопление образовательной истории и обработку результатов обучения. При этом преподаватель полностью сохраняет ответственность за содержание дисциплины, методические решения, консультационную поддержку и проведение итоговой аттестации, концентрируя свои усилия на задачах, требующих предметной и педагогической экспертизы.

Одновременно накопленные данные приобретают значение не только для сопровождения конкретного обучающегося, но и для управления образовательным процессом на уровне университета. Информация о количестве итераций освоения материала, динамике достижения образовательных результатов, характере возникающих затруднений и других параметрах может использоваться учебными управлениями и деканатами как объективная основа мониторинга качества образовательного процесса. Тем самым значительная часть рутинных процедур текущего сопровождения обучения становится технологически воспроизводимой и перестает требовать непосредственного участия преподавателя, тогда как его деятельность все в большей степени смещается в

область проектирования, развития и научно-методического сопровождения образовательного процесса.

Предлагаемая функциональная архитектура является инвариантной относительно формы организации обучения и может быть реализована в очном, синхронном дистанционном, асинхронном и смешанном форматах. Во всех случаях сохраняются цифровое ядро курса, индивидуальный и ансамблевый контуры управления, а также ведущая роль преподавателя в принятии содержательных и педагогических решений.

Таким образом, референтная функциональная модель объединяет три взаимосвязанных уровня управления: жизненный цикл лекционного курса, индивидуальное сопровождение формирования знаний каждого обучающегося и ансамблевое совершенствование самого лекционного оператора. Их интеграция в единую цифровую образовательную среду позволяет перейти от эпизодического контроля результатов обучения к непрерывному управлению процессом формирования знаний и непрерывному развитию образовательного контента на основе объективных данных образовательной практики.

VIII. ОЖИДАЕМЫЕ ЭФФЕКТЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ

Предлагаемая модель определяет ожидаемые эффекты технологической модификации лекционного оператора. На данном этапе они являются следствием построенной функциональной архитектуры и требуют последующей экспериментальной верификации.

Ожидается повышение наблюдаемости процесса формирования знаний за счет непрерывной индивидуальной диагностики и накопления образовательной истории. Существенно сокращается интервал между представлением материала, выявлением непонимания и корректирующим образовательным воздействием.

Модель обеспечивает возможность индивидуализации массового обучения без пропорционального увеличения нагрузки преподавателя. Повторное освоение материала становится штатной частью образовательного процесса и не рассматривается как академическая санкция. Достижение требуемого уровня подготовки обеспечивается последовательными итерациями освоения материала, а не системой повторных экзаменов и пересдач.

Использование цифрового представления курса повышает воспроизводимость базового качества лекционного материала и уменьшает зависимость результата от индивидуальных особенностей конкретного лектора. Одновременно ансамблевый контур обеспечивает накопление педагогического опыта на уровне дисциплины и создает механизм непрерывного совершенствования лекционного курса на основе объективных данных образовательной практики.

Предлагаемая модель изменяет и распределение функций внутри университета. Значительная часть процедур текущего сопровождения обучения, повторного освоения материала и накопления образовательной статистики переносится на цифровую образовательную среду [5,8,34,43,44].. Полученные данные могут использоваться деканатами и учебными управлениями как формализованные показатели сопровождения образовательного процесса. При этом преподаватель сохраняет ответственность за содержание дисциплины, методические решения, консультационную деятельность и итоговую аттестацию.

Вместе с тем технологическая модификация сопровождается рядом объективных ограничений. Возможны снижение качества живой адаптации материала, ослабление непосредственного взаимодействия обучаемого с преподавателем, пассивное потребление цифрового контента, чрезмерная формализация диагностики, ошибки интеллектуального анализа, недостоверность образовательной истории, консервация устаревших курсов и существенные начальные затраты на разработку качественного цифрового представления дисциплины.

Рациональное применение модели предполагает сохранение преподавателя как центрального субъекта образовательной деятельности. Искусственный интеллект должен усиливать педагогическую деятельность, а не подменять ее. Промежуточная диагностика должна использоваться как средство управления процессом формирования знаний, а не как механизм непрерывного санкционного контроля. Цифровое представление курса должно дополнять живое педагогическое взаимодействие, а не исключать его.

Рассмотренный лекционный оператор подтверждает конструктивную применимость операторного подхода к анализу образовательного процесса. Искусственный интеллект включается не в произвольные образовательные процедуры, а в функционально определенные контуры индивидуальной диагностики, накопления образовательной истории, ансамблевого анализа и совершенствования курса. При этом образовательное назначение лекционного оператора остается неизменным, модифицируется лишь технология его реализации.

Полученные результаты относятся только к лекционному оператору. Аналогичный функциональный анализ требуется для практических и лабораторных занятий, самостоятельной работы, проектной деятельности, практик и процедур итоговой аттестации. Совокупность таких исследований может стать основой сквозной системной модификации образовательного процесса.

Предлагаемая модель представляет собой референтную функциональную архитектуру лекционного оператора. Ее универсальность, границы применимости и количественные образовательные

эффекты требуют последующей экспериментальной проверки на реальных образовательных программах.

IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен системный подход к модификации образовательного процесса в условиях цифрового интеллекта. Его основой является разделение инвариантного назначения образования и изменяемой технологии его реализации. Образовательный процесс представлен как композиция операторов преобразования состояния обучаемого, а цифровые технологии и искусственный интеллект - как компоненты образовательной среды, изменяющие способы выполнения этих операторов, но не их целевое назначение.

На примере лекционного оператора показана конструктивная применимость предложенного подхода. Выявлено объективное противоречие классической реализации: непрерывная познавательная деятельность обучаемого сопровождается дискретной и существенно отложенной верификацией ее результатов. Именно это противоречие определяет ключевое направление технологической модификации лекционного процесса.

Основным результатом работы является референтная функциональная модель лекционного оператора, объединяющая жизненный цикл цифрового курса, индивидуальный контур итерационного освоения материала и ансамблевый контур совершенствования курса. Модель обеспечивает возможность содержательной диагностики понимания, многократного доосвоения материала без академической санкции и накопления данных, необходимых для развития образовательного контента и сопровождения образовательного процесса.

Предложенный подход сохраняет ведущую роль преподавателя в определении содержания, критериев и педагогически значимых решений. Искусственный интеллект используется для выполнения массовых интеллектуально трудоемких процедур диагностики и анализа, расширяя наблюдаемость образовательного процесса и повышая потенциальную производительность преподавательского труда.

Дальнейшая работа должна включать разработку и экспериментальную апробацию конкретной реализации модели, формирование методов содержательной диагностики и показателей индивидуальной образовательной истории, а также количественную оценку образовательных эффектов и ресурсных затрат. Вторым направлением является распространение операторного подхода на практические и лабораторные занятия, самостоятельную, проектную и исследовательскую деятельность, практики и аттестацию. Совокупность таких исследований должна сформировать основу сквозной системной модификации образовательного процесса.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Dewey J. *Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education*. New York, NY: The Macmillan Company, 1916. 434 p.
- [2] Леонтьев А. Н. Деятельность. Сознание. Личность. - М.: Политиздат, 1975. - 304 с.
- [32] [3] Simon H. A. *The Sciences of the Artificial*. 3rd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996. 248 p. ISBN 978-0-262-69191-8.
- [4] UNESCO. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO, 2023. 64 p.
- [5] Bates A. W. (Tony). *Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning*. 2nd ed. Vancouver, BC: Tony Bates Associates Ltd., 2022. ISBN 978-0-9952692-7-7 (online edition).
- [6] Checkland P. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester: John Wiley & Sons, 1981. 330 p. ISBN 978-0-471-27911-4.
- [7] Lang C., Siemens G., Wise A. F., Gašević D., eds. *The Handbook of Learning Analytics*. 1st ed. Beaumont, AB: Society for Learning Analytics Research (SoLAR), 2017. 342 p. ISBN 978-0-9952420-7-2.
- [8] Kasneci E., Sessler K., Küchemann S., Bannert M., Dementieva D., Fischer F., et al. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. Art. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.
- [9] Bruner J. S. *The Process of Education*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1960. 97 p. ISBN 978-0-674-71001-6.
- [10] Выготский Л. С. Мышление и речь. - М.: Лабиринт, 1999. - 352 с.
- [11] Piaget J. *The Origins of Intelligence in Children*. New York: International Universities Press, 1952. 419 p.
- [12] Ausubel D. P. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968. 685 p.
- [13] Biggs J., Tang C. *Teaching for Quality Learning at University*. 4th ed. Maidenhead: Open University Press; McGraw-Hill Education, 2011. 389 p. ISBN 978-0-335-24275-7.
- [14] Рубинштейн С. Л. *Основы общей психологии*. СПб.: Питер, 2002. 720 с. ISBN 5-272-00015-4.
- [15] Kennedy D., Hyland Á., Ryan N. *Writing and Using Learning Outcomes: A Practical Guide*. Cork: University College Cork, 2007. 30 p.
- [16] OECD. *The Definition and Selection of Key Competencies (DeSeCo): Executive Summary*. Paris: OECD Publishing, 2005.
- [17] Rychen D. S., Salganik L. H., eds. *Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society*. Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers, 2003. 332 p. ISBN 978-0-88937-248-1.
- [18] Bloom B. S. (Ed.) *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David McKay Company, 1956. 207 p.
- [19] González J., Wagenaar R., eds. *Tuning Educational Structures in Europe. Final Report. Phase One*. Bilbao: University of Deusto; Groningen: University of Groningen, 2003. 316 p. ISBN 84-7485-893-0.
- [20] Kolmogorov A. N., Fomin S. V. *Elements of the Theory of Functions and Functional Analysis*. Mineola, NY: Dover Publications, 1999. 288 p. ISBN 978-0-486-40683-3.
- [21] Kantorovich L. V., Akilov G. P. *Functional Analysis*. 2nd ed. Translated by H. L. Silcock. Oxford: Pergamon Press, 1982. 589 p. ISBN 978-0-08-026781-4.
- [22] UNESCO. *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. Paris: UNESCO, 2021. 205 p. ISBN 978-92-3-100478-0.
- [23] Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО). Портал ФГОС ВО. Режим доступа: fgosvo.ru.
- [24] Zadeh L. A., Desoer C. A. *Linear System Theory: The State Space Approach*. New York: McGraw-Hill, 1963. 628 p.
- [25] Wiener N. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1961. 212 p. ISBN 978-0-262-73009-9.
- [26] Maier M. W., Rechtin E. *The Art of Systems Architecting*. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. 472 p. ISBN 978-1-4200-7913-5.
- [27] Bellman R. *Dynamic Programming*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1957. 339 p. ISBN 978-0-691-07951-6.
- [28] Pontryagin L. S., Boltyanskii V. G., Gamkrelidze R. V., Mishchenko E. F. *The Mathematical Theory of Optimal Processes*. Translated by K. N. Trivelpiece; edited by L. W. Neustadt. New York; London: Interscience Publishers, John Wiley & Sons, 1962. viii, 360 p.
- [29] Ashby W. R. *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p. ISBN 978-0-416-68300-6.
- [30] Conant R. C., Ashby W. R. Every Good Regulator of a System Must Be a Model of That System // *International Journal of Systems Science*. 1970. Vol. 1, no. 2. P. 89–97. DOI: 10.1080/00207727008920220.
- [31] Ashby W. R. *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p. ISBN 978-0-416-68300-6 DOI: 10.2766/87192
- [32] INCOSE. *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities Based on ISO/IEC/IEEE 15288:2023*. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2023. ISBN 978-1-119-81429-0. DOI: 10.1002/9781119894192
- [33] Selwyn N. *Education and Technology: Key Issues and Debates*. 3rd ed. London: Bloomsbury Academic, 2021. ISBN 978-1-350-14033-2.
- [34] Holmes W., Bialik M., Fadel C. *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign, 2019. 240 p. ISBN 978-1-7320602-1-0.
- [35] ISO/IEC/IEEE 15288:2023. *Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes*. Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
- [36] ISO/IEC/IEEE 42010:2022. *Software, Systems and Enterprise - Architecture Description*. Geneva: International Organization for Standardization, 2022.
- [37] Kalman R. E. Mathematical Description of Linear Dynamical Systems // *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Series A: Control*. 1963. Vol. 1, no. 2. P. 152–192. DOI: 10.1137/0301010.
- [38] Maxwell J. C. On Governors // *Proceedings of the Royal Society of London*. 1868. Vol. 16. P. 270–283. DOI: 10.1098/rspl.1867.0055.
- [39] Siemens G., Long P. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education // *EDUCAUSE Review*. 2011. Vol. 46, No. 5. P. 30–40.
- [40] Ferguson R. Learning Analytics: Drivers, Developments and Challenges // *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012. Vol. 4, No. 5–6. P. 304–317. DOI: 10.1504/IJTEL.2012.051816
- [41] Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*. 2010. Vol. 40, No. 6. P. 601–618. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2053532
- [42] Baker R. S., Inventado P. S. Educational Data Mining and Learning Analytics // In: *Learning Analytics: From Research to Practice*. New York: Springer, 2014. P. 61–75. DOI: 10.1007/978-1-4614-3305-7_4 ISBN 978-1-4614-3304-0.
- [43] European Commission. *Digital Education Action Plan 2021–2027: Resetting Education and Training for the Digital Age*. Brussels: European Commission, 2020.
- [44] OECD. *Generative AI in the Classroom: From Hype to Reality?* Paris: OECD Publishing, 2025.
- [45] OpenAI. GPT-5 System Card. OpenAI, August 7, 2025.
- [46] The Role of Large Language Models in Personalized Learning: A Systematic Review of Educational Impact // *Discover Sustainability*. 2025. Vol. 6. Art. 243. DOI: 10.1007/s43621-025-00812-5.

Статья получена 03 июля 2026

Жабитский М.Г. - заместитель директора ВИШ НИЯУ МИФИ (e-mail: jabitsky@mail.ru);

Invariants of the Educational Process and Their Technological Transformation in the Era of Digital Intelligence

M.G. Zhabitskii

Abstract - This paper proposes a systems approach to the technological transformation of the educational process in the era of digital intelligence. The approach is based on distinguishing the invariant purpose of education from the technological means used to implement it. The educational process is represented as a composition of state-transformation operators acting on the learner, where the competency model defines the target state, the curriculum specifies the structural and temporal composition of the process, and the assessment framework serves as the measurement and verification subsystem. The applicability of the proposed approach is demonstrated using the lecture operator as a representative example. An inherent contradiction of the conventional lecture model is identified, arising from the combination of continuous learner cognitive activity with discrete and substantially delayed verification of learning outcomes. A distinction is established between conventional digitalization, which improves the presentation and accessibility of educational content, and the application of artificial intelligence, which enables individualized content-based diagnosis of learner understanding without a proportional increase in instructor workload. A reference functional model of the lecture operator is proposed, incorporating the life cycle of a digital course, an individual iterative learning loop, and an ensemble feedback loop for continuous course improvement. The model supports repeated mastery of learning material without academic penalty, accumulation of an individual learning history, and the use of aggregated educational data for the continuous refinement of lecture content. The expected benefits, limitations, and directions for further experimental validation of the proposed model are also discussed.

Keywords - educational process, digital intelligence, artificial intelligence in education, operator model of education, educational operator, lecture operator, digital transformation of education, individualized diagnosis, learning history, ensemble analysis, digital lecture course, educational process management.

REFERENCES

- [1] Dewey J. *Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education*. New York, NY: The Macmillan Company, 1916. 434 p.
- [2] Leontiev A. N. *Deyatel'nost'. Soznanie. Lichnost'* [Activity. Consciousness. Personality]. Moscow: Politizdat Publ., 1975. 304 p.
- [32] [3] Simon H. A. *The Sciences of the Artificial*. 3rd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996. 248 p. ISBN 978-0-262-69191-8.
- [4] UNESCO. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO, 2023. 64 p.
- [5] Bates A. W. (Tony). *Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning*. 2nd ed. Vancouver, BC: Tony Bates Associates Ltd., 2022. ISBN 978-0-9952692-7-7 (online edition).
- [6] Checkland P. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester: John Wiley & Sons, 1981. 330 p. ISBN 978-0-471-27911-4.
- [7] Lang C., Siemens G., Wise A. F., Gašević D., eds. *The Handbook of Learning Analytics*. 1st ed. Beaumont, AB: Society for Learning Analytics Research (SoLAR), 2017. 342 p. ISBN 978-0-9952420-7-2.
- [8] Kasneci E., Sessler K., Küchemann S., Bannert M., Dementieva D., Fischer F., et al. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. Art. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.
- [9] Bruner J. S. *The Process of Education*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1960. 97 p. ISBN 978-0-674-71001-6.
- [10] Vygotsky L. S. *Myshlenie i rech'* [Thinking and Speech]. Moscow: Labirint Publ., 1999. 352 p.
- [11] Piaget J. *The Origins of Intelligence in Children*. New York: International Universities Press, 1952. 419 p.
- [12] Ausubel D. P. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968. 685 p.
- [13] Biggs J., Tang C. *Teaching for Quality Learning at University*. 4th ed. Maidenhead: Open University Press; McGraw-Hill Education, 2011. 389 p. ISBN 978-0-335-24275-7.
- [14] Рубинштейн С. Л. *Основы общей психологии*. СПб.: Питер, 2002. 720 с. ISBN 5-272-00015-4.
- [15] Kennedy D., Hyland Á., Ryan N. *Writing and Using Learning Outcomes: A Practical Guide*. Cork: University College Cork, 2007. 30 p.
- [16] OECD. *The Definition and Selection of Key Competencies (DeSeCo): Executive Summary*. Paris: OECD Publishing, 2005.
- [17] Rychen D. S., Salganik L. H., eds. *Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society*. Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers, 2003. 332 p. ISBN 978-0-88937-248-1.
- [18] Bloom B. S. (Ed.) *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David McKay Company, 1956. 207 p.
- [19] González J., Wagenaar R., eds. *Tuning Educational Structures in Europe. Final Report. Phase One*. Bilbao: University of Deusto; Groningen: University of Groningen, 2003. 316 p. ISBN 84-7485-893-0.
- [20] Kolmogorov A. N., Fomin S. V. *Elements of the Theory of Functions and Functional Analysis*. Mineola, NY: Dover Publications, 1999. 288 p. ISBN 978-0-486-40683-3.
- [21] Kantorovich L. V., Akilov G. P. *Functional Analysis*. 2nd ed. Translated by H. L. Silcock. Oxford: Pergamon Press, 1982. 589 p. ISBN 978-0-08-026781-4.
- [22] UNESCO. *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. Paris: UNESCO, 2021. 205 p. ISBN 978-92-3-100478-0.
- [23] Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. *Federal State Educational Standards for Higher Education (FSES HE)*. FSES HE Portal. Available: <https://fgosvo.ru>
- [24] Zadeh L. A., Desoer C. A. *Linear System Theory: The State Space Approach*. New York: McGraw-Hill, 1963. 628 p.
- [25] Wiener N. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1961. 212 p. ISBN 978-0-262-73009-9.

- [26] Maier M. W., Rechtin E. The Art of Systems Architecting. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. 472 p. ISBN 978-1-4200-7913-5.
- [27] Bellman R. Dynamic Programming. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1957. 339 p. ISBN 978-0-691-07951-6
- [28] Pontryagin L. S., Boltyanskii V. G., Gamkrelidze R. V., Mishchenko E. F. The Mathematical Theory of Optimal Processes. Translated by K. N. Trirgoff; edited by L. W. Neustadt. New York; London: Interscience Publishers, John Wiley & Sons, 1962. viii, 360 p.
- [29] Ashby W. R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p. ISBN 978-0-416-68300-6
- [30] Conant R. C., Ashby W. R. Every Good Regulator of a System Must Be a Model of That System // International Journal of Systems Science. 1970. Vol. 1, no. 2. P. 89–97. DOI: 10.1080/00207727008920220.
- [31] Ashby W. R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p. ISBN 978-0-416-68300-6 DOI: 10.2766/87192
- [32] INCOSE. Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities Based on ISO/IEC/IEEE 15288:2023. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2023. ISBN 978-1-119-81429-0. DOI: 10.1002/9781119894192
- [33] Selwyn N. Education and Technology: Key Issues and Debates. 3rd ed. London: Bloomsbury Academic, 2021. ISBN 978-1-350-14033-2.
- [34] Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign, 2019. 240 p. ISBN 978-1-7320602-1-0.
- [35] ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes. Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
- [36] ISO/IEC/IEEE 42010:2022. Software, Systems and Enterprise - Architecture Description. Geneva: International Organization for Standardization, 2022.
- [37] Kalman R. E. Mathematical Description of Linear Dynamical Systems // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Series A: Control. 1963. Vol. 1, no. 2. P. 152–192. DOI: 10.1137/0301010.
- [38] Maxwell J. C. On Governors // Proceedings of the Royal Society of London. 1868. Vol. 16. P. 270–283. DOI: 10.1098/rspl.1867.0055.
- [39] Siemens G., Long P. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education // EDUCAUSE Review. 2011. Vol. 46, No. 5. P. 30–40.
- [40] Ferguson R. Learning Analytics: Drivers, Developments and Challenges // International Journal of Technology Enhanced Learning. 2012. Vol. 4, No. 5–6. P. 304–317. DOI: 10.1504/IJTEL.2012.051816
- [41] Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C. 2010. Vol. 40, No. 6. P. 601–618. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2053532
- [42] Baker R. S., Inventado P. S. Educational Data Mining and Learning Analytics // In: Learning Analytics: From Research to Practice. New York: Springer, 2014. P. 61–75. DOI: 10.1007/978-1-4614-3305-7_4 ISBN 978-1-4614-3304-0.
- [43] European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027: Resetting Education and Training for the Digital Age. Brussels: European Commission, 2020.
- [44] OECD. Generative AI in the Classroom: From Hype to Reality? Paris: OECD Publishing, 2025.
- [45] OpenAI. GPT-5 System Card. OpenAI, August 7, 2025.
- [46] The Role of Large Language Models in Personalized Learning: A Systematic Review of Educational Impact // Discover Sustainability. 2025. Vol. 6. Art. 243. DOI: 10.1007/s43621-025-00812-5.