



<https://doi.org/10.70728/c.series.ped.v08.i09.108>

МЕТОДИКА «АДАПТИВНЫЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКИЙ КЕЙС» В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Атажоновна Саидахон Бораталиевна

*доцент кафедры «Информационные технологии» Андиганского государственного
технического института*

<https://orcid.org/0000-0001-9453-3120>

Хасанова Махинур Юлдашбаевна

*PhD докторант 2-го курса Наманганского государственного
технического университета*

<https://orcid.org/0009-0005-8879-0442>

АННОТАЦИЯ: Цифровая трансформация инженерной деятельности постепенно меняет требования и к организации обучения в техническом вузе. Современному студенту недостаточно освоить отдельный программный продукт, алгоритм или информационную технологию вне контекста их функционирования в реальной технической системе. Возникает необходимость такой организации учебной деятельности, при которой программные, аппаратные, информационные и аналитические компоненты рассматриваются как части единого управляемого объекта. Одновременно сохраняется проблема существенной неоднородности студентов по уровню цифровой подготовки, способности работать с техническими данными, самостоятельности и готовности решать комплексные инженерные задачи. Цель исследования состоит в теоретическом обосновании и разработке методики «Адаптивный киберфизический кейс» (АКФК) для обучения студентов технических вузов дисциплине «Информационные технологии в технических системах». Методика основана на сочетании адаптивного обучения, case-based и project-based learning, имитационного моделирования, learning analytics и работы с киберфизическими объектами либо их цифровыми моделями. Проведён аналитический обзор современных исследований по адаптивному обучению, цифровым двойникам, киберфизическим учебным средам и аналитике обучения, а также проанализирована последовательность исследований автора, посвящённых моделированию взаимодействия обучающегося с учебным курсом, компьютерному имитационному моделированию, адаптивным цифровым маршрутам и системам обратной связи. В результате разработана структура АКФК, включающая диагностико-профильный, проблемно-контекстный, адаптивно-деятельностный, аналитико-коррекционный и рефлексивно-проектный этапы. Предложены три динамически взаимосвязанных режима деятельности студента —

операторский, инженерно-настроечный и аналитико-проектный. Принципиальным отличием методики является то, что адаптируется не только объём или последовательность учебного контента, но и характер профессионального взаимодействия обучающегося с одним и тем же киберфизическим объектом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адаптивное обучение, киберфизическая система, адаптивный киберфизический кейс, технический вуз, информационные технологии в технических системах, цифровой двойник, learning analytics, имитационное моделирование, инженерное образование, индивидуальная образовательная траектория.

“TEXNIK TIZIMLARDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARI” KURSIDA TEXNIKA OLIYGOHLARI TALABALARINI O‘QITISH UCHUN "ADAPTIV KIFERFIZIK KEYS" USULI

ANNOTATSIYA: Muhandislikning raqamli transformatsiyasi texnik universitetlarda ta'limni tashkil etish talablarini asta-sekin o'zgartirmoqda. Bugungi talabalar uchun bitta dasturiy mahsulot, algoritm yoki axborot texnologiyasini uning haqiqiy texnik tizimda ishlashi kontekstidan tashqarida o'zlashtirish yetarli emas. Dasturiy ta'minot, apparat vositalari, axborot va analitik komponentlar yagona, boshqariladigan mavjudotning bir qismi sifatida ko'rib chiqiladigan o'quv faoliyatini tashkil etish zarurati mavjud. Shu bilan birga, talabalar orasida raqamli ko'nikma darajasi, texnik ma'lumotlar bilan ishlash qobiliyati, mustaqilligi va murakkab muhandislik muammolarini hal qilishga tayyorligi jihatidan sezilarli darajada heterojenlik saqlanib qolmoqda. Tadqiqotning maqsadi texnik universitetlar talabalariga "Texnik tizimlarda axborot texnologiyalari" fanini o'qitish uchun "Adaptiv kiber-fizik keys" (AKFK) metodologiyasini nazariy jihatdan asoslash va ishlab chiqishdir. Metodologiya adaptiv o'rganish, holatlarga asoslangan va loyihaga asoslangan o'rganish, simulyatsiya modellashtirish, o'rganish tahlili va kiber-fizik obyektlar yoki ularning raqamli modellari bilan ishlashning kombinatsiyasiga asoslangan. Adaptiv o'rganish, raqamli egizaklar, kiber-fizik o'rganish muhiti va o'rganish tahlili bo'yicha joriy tadqiqotlarning analitik sharhi o'tkazildi. O'quvchilarning o'quv dasturi bilan o'zaro ta'sirini modellashtirish, kompyuter simulyatsiyasi modellashtirish, adaptiv raqamli yo'llar va fikr-mulohaza tizimlari bo'yicha muallifning tadqiqotlari ketma-ketligi tahlil qilindi. Natijada, diagnostika-profil, muammoga asoslangan kontekst, adaptiv-faoliyat, analitik-tuzatuvchi va refleksiv-loyiha bosqichlarini o'z ichiga olgan adaptiv o'quv kompleksi (AKFK) uchun tuzilma ishlab chiqildi. Talaba faoliyatining uchta dinamik ravishda o'zaro bog'liq rejimi taklif etiladi: operator, muhandislik-sozlash va analitik-loyiha. Ushbu metodologiyaning asosiy farqi shundaki, u nafaqat ta'lim mazmunining hajmi yoki ketma-ketligini, balki o'quvchining bir xil kiber-fizik obyekt bilan professional o'zaro ta'sirining xususiyatini ham moslashtiradi.

KALIT SO'ZLAR: adaptiv o'rganish, kiber-fizik tizim, adaptiv kiber-fizik holat, texnik universitet, texnik tizimlarda axborot texnologiyalari, raqamli egizak, o'quv tahlili, simulyatsiya modellashtirish, muhandislik ta'limi, individual ta'lim traektoriyasi.

THE “ADAPTIVE CYBER-PHYSICAL CASE” METHODOLOGY IN TEACHING THE COURSE "INFORMATION TECHNOLOGIES IN TECHNICAL SYSTEMS" TO TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

ABSTRACT: The digital transformation of engineering practice is gradually altering the requirements for organizing instruction at technical universities. For today's students, it is insufficient to merely master a specific software product, algorithm, or information technology in isolation from its operational context within a real-world technical system. There is a need to structure educational activities so that software, hardware, information, and analytical components are viewed as parts of a unified, controllable system. At the same time, a significant challenge remains regarding the heterogeneity of students in terms of their digital proficiency, ability to handle technical data, level of autonomy, and readiness to solve complex engineering problems. The aim of this study is to provide a theoretical rationale for and develop the "Adaptive Cyber-Physical Case" (ACPC) methodology for teaching the course "Information Technologies in Technical Systems" to technical university students. The methodology integrates adaptive learning, case-based and project-based learning, simulation modeling, learning analytics, and practical work involving cyber-physical objects or their digital models. An analytical review of contemporary research on adaptive learning, digital twins, cyber-physical learning environments, and learning analytics was conducted, alongside an analysis of the author's own research regarding the modeling of learner-course interaction, computer simulation, adaptive digital pathways, and feedback systems. As a result, a structure for the Adaptive Cyber-Physical Case (ACPC) was developed, comprising diagnostic-profiling, problem-contextual, adaptive-activity, analytical-corrective, and reflective-design stages. Three dynamically interconnected modes of student activity were proposed: operator, engineering-adjustment, and analytical-design. A fundamental distinction of this methodology is that it adapts not only the volume or sequence of educational content but also the nature of the learner's professional interaction with the specific cyber-physical object.

KEYWORDS: adaptive learning, cyber-physical system, adaptive cyber-physical case, technical university, information technologies in technical systems, digital twin, learning analytics, simulation modeling, engineering education, individual educational trajectory.

ВВЕДЕНИЕ. Цифровизация промышленности заметно изменила содержание инженерной деятельности. Реальная техническая система сегодня редко представляет собой исключительно механический или электротехнический объект. Датчики, микроконтроллеры, программное обеспечение, сетевые протоколы, базы данных, интерфейсы оператора, алгоритмы управления и средства аналитики образуют общий контур, внутри которого физические процессы постоянно взаимодействуют с цифровой средой. Именно поэтому понятие киберфизической системы стало одним из ключевых для описания современной автоматизированной промышленности.

Однако учебный процесс не всегда воспроизводит эту целостность. Студент может отдельно изучать программирование, базы данных, компьютерные сети, автоматизацию и моделирование, но испытывать затруднения, когда требуется связать эти знания применительно к одному техническому объекту. В результате возникает своеобразный разрыв: отдельные операции освоены, а способность увидеть систему целиком и принять инженерное решение остаётся недостаточно сформированной.

Эта проблема особенно заметна при преподавании дисциплины **«Информационные технологии в технических системах»**. Её содержание по самой своей природе находится на пересечении информационной и инженерной логики. Здесь недостаточно научить студента пользоваться программой. Необходимо сформировать понимание того, откуда появляются технические данные, как они передаются, каким образом интерпретируются, на что влияет изменение управляющих параметров и какие последствия программное решение вызывает в физической части системы.

Современные исследования адаптивного обучения предлагают значительный инструментарий для учёта индивидуальных различий студентов. Е. Смирнова-Трыбульская, Н. Морс и Л. Варченко-Троценко подчёркивают, что адаптивность предполагает изменение содержания и образовательного маршрута с учётом возможностей и потребностей обучающегося. В их исследовании студенты также указывали на потребность в большей персонализации материалов и возможности выбора уровня обучения [1].

Вместе с тем для инженерного образования одной адаптации текстового или тестового контента недостаточно. Если студент изучает техническую систему, адаптироваться должна сама *учебно-профессиональная деятельность*: глубина вмешательства в объект, объём доступных параметров, степень самостоятельности, сложность диагностической ситуации и характер требуемого инженерного решения.

С другой стороны, исследования цифровых двойников и киберфизических обучающих фабрик демонстрируют перспективу работы с объектами, близкими к производственной практике. Дж. Челини и Д. Ричерт используют фабрику киберфизического обучения в сочетании с проектным обучением для формирования инженерного проектирования, навыков использования современных инструментов, индивидуальной и командной работы [4]. Исследование Дж. Чжан с соавторами показывает, что применение системы цифрового двойника обучения в сочетании с проектным обучением способно создавать более насыщенную среду для развития критического мышления и работы с инженерной проблемой [5].

Здесь обнаруживается методически важное противоречие. *Адаптивные образовательные системы хорошо персонализируют обучение, но часто работают главным образом с цифровым контентом; киберфизические лаборатории и цифровые двойники хорошо передают реальную инженерную сложность, но не всегда адаптируют эту сложность к конкретному студенту.* Именно преодоление указанного противоречия лежит в основе предлагаемой методики «Адаптивный киберфизический кейс».

Цель настоящего исследования - разработать и теоретически обосновать методику АКФК как средство интеграции адаптивного обучения и профессионально ориентированной деятельности с киберфизическими системами при преподавании дисциплины «Информационные технологии в технических системах».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Исследование построено как теоретико-методическое с элементами сравнительного анализа и педагогического

проектирования. Аналитическую базу составили современные исследования, посвящённые четырём взаимосвязанным направлениям:

- адаптивное и персонализированное обучение;
- аналитика обучения и адаптивная обратная связь;
- использование цифровых двойников и киберфизических медиа в инженерном образовании;
- имитационное и проектное обучение и условия Industry 4.0.

Особое внимание уделялось исследованиям 2020–2026 гг., представленным в международных рецензируемых изданиях, включая журналы и конференционные серии, входящие в международные библиографические базы. Анализ международного исследовательского поля показывает, что адаптивное обучение постепенно переходит от простой дифференциации материалов к системам, способным собирать и интерпретировать цифровые следы образовательной деятельности.

Систематический обзор С.К. Соавтор Банихашема показывает значительную роль аналитики обучения в организации обратной коммуникации и высшего образования. Авторы рассматривают взаимосвязь четырёх составляющих: какие данные собираются, как они анализируются, для какой цели используется аналитика и кому адресуется обратная связь [2]. Для предлагаемой методики это принципиально: данные о студенте нужны не ради накопления статистики, а для принятия педагогического решения о том, какой вариант инженерной деятельности следует предложить следующим.

К. Шарма, А. Нгуен и Ю. Хонг в систематическом обзоре 59 эмпирических исследований подтверждают связь адаптивных цифровых медиа с процессами саморегуляции, планирования, контроля и рефлексии. Авторы отмечают возможность связи персонализированных адаптивных медиа с совместной деятельностью [3]. Эта позиция имеет личную ценность для инженерного образования, поскольку профессиональные инженерные задачи редко решаются только индивидуально.

Одновременно развивается направление цифровых двойников. Их образовательная ценность связана не столько с визуальной привлекательностью модели, сколько с возможностью работать с ведением объектов, его параметрами, потоками данных и консультациями управляющих воздействий. Обзор системы, проведенный Х. Лю и соавторами, показывает, что архитектура цифрового двойника включает в себя физическую стабильность, виртуальную модель, сбор данных и механизм обмена информацией [6]. Именно эта структура позволяет превратить цифровой двойник из демонстрационного материала в области инженерной деятельности. Для АКФК существуют такие исследования киберфизических обучающихся фабрик. В работе Дж. Челини и Д. Рихерт проектное обучение организует внутри киберфизическая учебная фабрика, которая позволяет связать инженерное проектирование с технологиями Индустрии 4.0 [4]. Таким образом, анализ литературы показывает, что необходимые методологические элементы уже присутствуют в современной педагогической и инженерно-образовательной практике, но часто изучаются отдельно.

Таблица 1.

Сопоставление современных исследовательских направлений с методикой АКФК

Исследовательское направление	Основной результат исследований	Ограничение для рассматриваемой задачи	Реализация в АКФК
Адаптивное обучение [1]	Персонализация темпа, содержания и маршрута	Преобладание адаптации учебного контента	Адаптируется характер инженерной деятельности
Learning analytics [2]	Диагностика деятельности и поддержка обратной связи	Аналитика может оставаться лишь информационной	Аналитика непосредственно изменяет следующий этап кейса
Саморегулируемое обучение [3]	Планирование, мониторинг, контроль и рефлексия	Не всегда связано с реальным техническим объектом	Саморегуляция включена в решение инженерной проблемы
Cyber-physical learning factory [4]	Реалистичная среда Industry 4.0	Единая сложность задания для разных студентов	Несколько режимов работы с одним объектом
Digital twin learning [5, 6]	Безопасное исследование поведения объекта	Цифровая модель не обеспечивает адаптацию автоматически	Digital twin становится ядром адаптивного кейса
Имитационное моделирование [7]	Изучение процессов через управляемую модель	Модель иногда используется как демонстрация	Модель превращается в проблемную профессиональную ситуацию
Моделирование взаимодействия с учебным курсом [8]	Формализация освоения элементов знаний	Основной объект — пространство знаний	Добавляется пространство профессиональных действий
Адаптивный цифровой маршрут [9]	Диагностика, профиль и изменение траектории	Маршрут преимущественно организует последовательность обучения	Маршрут определяет уровень взаимодействия с CPS
Адаптивная обратная связь [10]	Коррекция действий на основе образовательных данных	Может быть оторвана от физического результата	Обратная связь строится по цифровому и физическому состоянию объекта

Таблица показывает, что АКФК не противопоставляется существующим подходам. Напротив, методика собирает их в единую педагогическую конструкцию, где адаптивность отвечает на вопрос «*какое действие доступно студенту сейчас?*»,

киберфизический объект - «с чем он действует?», а learning analytics - «на каком основании изменяется следующий шаг?».

Предлагаемая методика является продолжением ранее проводимых нами исследований. В работе А. Горовик, М. Лазарева, М. Хасанова и Д. Юлдошева мы рассматривали моделирование взаимодействия обучающегося с учебным курсом и ввели представление об освоении элементов пространства знаний. Важным для настоящего исследования являлось положение о возможности задавать различные пороговые значения освоения элементов, благодаря чему процесс обучения может индивидуализироваться [8]. В совместной работе Ж. Суюмов, М. Лутфиллаев, Д. Юлдошева, М. Хасанова и А. Полвонов акцент смещён в сторону компьютерного имитационного моделирования. В данной работе рассматривалось его использование с формированием компьютерных навыков, поиском решений учебно-практических задач и прогнозированием развития моделируемого процесса [7].

Следующий этап отражён в разработке **Adaptive Digital Learning Route Method (Метод адаптивного цифрового образовательного маршрута)**. Здесь адаптивность уже становится непосредственно педагогическим механизмом. Метод включает диагностико-ориентационный этап, профилирование, проектирование маршрута, коррекционно-развивающую поддержку и рефлексивно-оценочный этап [9].

В публикации, посвящённой информационно-технологическим решениям и системам обратной связи в адаптивных средах, мы рассматривали образовательную аналитику, мониторинговые панели, рекомендательные механизмы и AI-supported feedback [10]. Следовательно, внутренняя логика наших исследований может быть представлена следующим образом:

модель взаимодействия с учебным содержанием → компьютерная имитация → адаптивный маршрут → аналитика и обратная связь → адаптивная профессионально-инженерная деятельность.

Именно последняя позиция составляет содержательное ядро АКФК.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Далее рассмотрим сущность методики «Адаптивный киберфизический кейс». Под *адаптивным киберфизическим кейсом* предлагается понимать метод обучения, при котором студент решает профессионально ориентированную проблемную ситуацию посредством взаимодействия с физическим техническим объектом, его виртуальной моделью или цифровым двойником, а содержание, глубина и степень самостоятельности этого взаимодействия динамически изменяются на основании диагностических данных и результатов предыдущих действий обучающегося. В традиционном кейсе всем студентам, как правило, предлагается приблизительно одинаковая проблемная ситуация. Различия проявляются главным образом в качестве решения. В АКФК различается уже *сама глубина входа в инженерную проблему*.

Например, объектом кейса является автоматизированный модуль контроля температуры технологического участка. В систему входят:

- температурный датчик;
- микроконтроллер или PLC;

- канал передачи данных;
- база или журнал измерений;
- пользовательский интерфейс;
- алгоритм формирования предупреждений;
- модель изменения температуры;
- исполнительный элемент;
- средства визуализации и аналитики.

Студент с недостаточно сформированной подготовкой не исключается из работы с этим объектом. Он начинает с понимания его структуры и управления параметрами. А более подготовленный студент изменяет конфигурацию системы. А студент высокого уровня получает уже не инструкцию, а инженерную проблему: например, появление аномалии, задержки передачи данных, ложного предупреждения, отказа датчика или неустойчивости алгоритма управления. Таким образом, объект остаётся общим, но интеллектуальная глубина взаимодействия с ним различается. Это особенно важно с педагогической точки зрения. При обычной уровневой дифференциации слабому студенту часто предлагают просто «более лёгкую задачу». В АКФК он работает с тем же профессиональным контекстом, что и сильный студент, но выполняет доступную на данном этапе роль. Благодаря этому не разрушается профессиональная целостность дисциплины.

В структуре АКФК выделяются три базовых режима.

1. Операторский режим

Студент знакомится с назначением и архитектурой объекта, наблюдает его состояние, определяет основные входные и выходные параметры, работает с интерфейсом и готовым набором данных.

Типичные задания:

- *определить назначение датчиков;*
- *установить соответствие между параметром и источником данных;*
- *изменить допустимый рабочий параметр;*
- *получить данные;*
- *выполнить их первичную визуализацию;*
- *определить выход параметра за установленный диапазон;*
- *объяснить наблюдаемую реакцию системы.*

Операторский режим нельзя рассматривать как «слабый уровень». Его функция состоит в формировании исходной системной ориентировки.

2. Инженерно-настроечный режим

Студент получает возможность изменять конфигурацию системы.

Типичные действия:

- *настройка логики обработки данных;*
- *изменение пороговых значений;*
- *настройка протокола информационного обмена;*
- *изменение структуры таблицы или потока данных;*
- *подключение нового виртуального датчика;*

- изменение параметров алгоритма;
- настройка визуального интерфейса;
- тестирование поведения объекта после изменения конфигурации.

Здесь появляется причинно-следственное инженерное мышление: студент должен не просто выполнить операцию, но заранее представить, каким образом его действие изменит состояние системы.

3. Аналитико-проектный режим

На этом уровне студент сталкивается с ситуацией неопределённости.

Например: На протяжении последних 40 минут цифровой интерфейс фиксирует периодические резкие изменения температуры. Физическое состояние установки остаётся стабильным. После изменения сетевой конфигурации количество аномальных значений увеличилось. Необходимо установить наиболее вероятный источник проблемы и предложить вариант модернизации системы мониторинга.

Здесь уже нет единственной заранее прописанной последовательности действий.

Студент должен:

- определить необходимые данные;
- выдвинуть гипотезы;
- проверить работоспособность датчика;
- проанализировать сетевой обмен;
- оценить корректность фильтрации данных;
- сопоставить физическое и виртуальное состояние объекта;
- локализовать источник ошибки;
- предложить техническое решение;
- аргументировать его ограничения.

Таблица 2.

Содержание трёх режимов АКФК

Параметр	Операторский	Инженерно-настроечный	Аналитико-проектный
Характер задачи	Структурированный	Частично структурированный	Проблемный
Степень самостоятельности	Ограниченная	Средняя	Высокая
Доступ к параметрам	Основные	Расширенные	Полные/исследовательские
Работа с программной частью	Использование	Настройка	Модификация/проектирование
Работа с данными	Просмотр первичная обработка	Анализ изменение способов обработки	Диагностика, интерпретация и прогноз
Работа с ошибками	Распознавание	Исправление известных ошибок	Поиск неизвестной причины
Тип обратной	Подсказывающая	Направляющая	Рефлексивно-аналитическая

СВЯЗИ			
Итоговый продукт	Корректно выполненная операция	Работоспособная настройка	Аргументированное инженерное решение

Важно подчеркнуть, что данные уровни не должны жёстко закрепляться за студентами. Студент не получает статус «слабого», «среднего» или «сильного». Адаптируется не личность студента, а текущая педагогическая ситуация. Один и тот же студент может работать на аналитико-проектном уровне с базами данных, но потребовать операторской поддержки при настройке сетевого протокола. Такой подход делает адаптацию более точной и снимает риск устойчивого деления группы на категории.

На основе проведённого анализа разработана пятиэтапная структура методики.

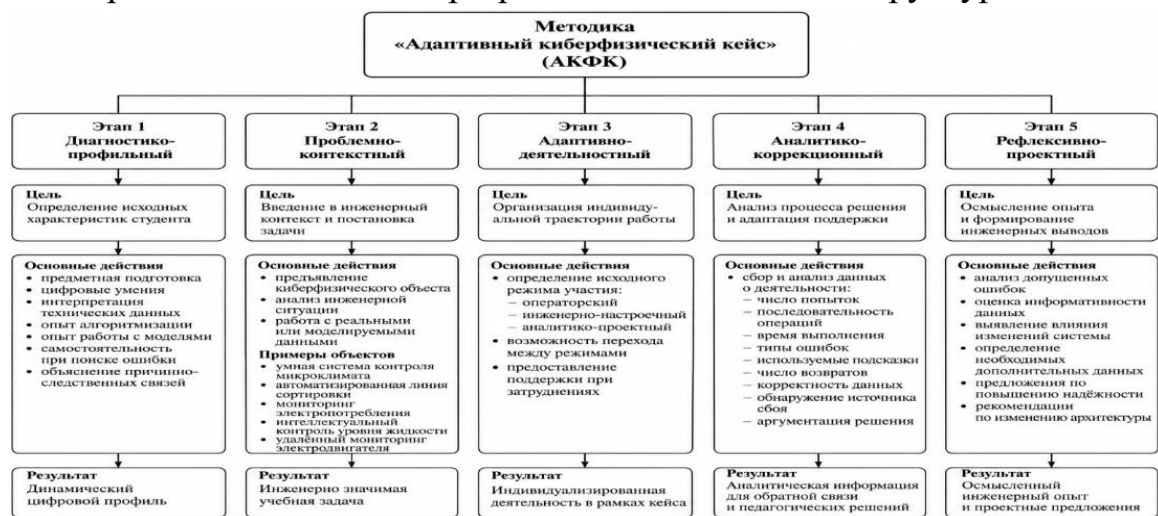


Рисунок-1. Этапы реализации метода АКФК

Именно на этом этапе выполненная учебная операция превращается в осмысленный инженерный опыт.



Рисунок 2. Функциональный цикл методики АКФК

Следует разграничивать обычный компьютерный кейс и киберфизический кейс. Наличие компьютера ещё не превращает задачу в киберфизическую. В АКФК должны быть представлены по меньшей мере четыре взаимосвязанных слоя:

Физический слой — реальный или моделируемый технический процесс.

Информационно-сенсорный слой — получение данных о физическом состоянии объекта.

Программно-управляющий слой — обработка информации и формирование управляющего воздействия.

Аналитико-интерпретационный слой — анализ накопленных данных и принятие решения.

На более высоких уровнях может добавляться цифровой двойник, отображающий текущее и прогнозируемое состояние объекта. Такая организация соответствует тенденции развития digital twin, где принципиальными компонентами выступают физический объект, виртуальное представление и обмен данными между ними [6].

Рассмотрим кейс «Диагностика интеллектуального узла контроля электродвигателя» как реальный пример АКФК для дисциплины «Информационные технологии в технических системах». Система содержит датчики температуры и вибрации, микроконтроллер, передачу данных, базу измерений, панель мониторинга и программный модуль выявления аномалий.

Исходная ситуация. Оператор сообщает о периодическом предупреждении системы о повышенной вибрации двигателя. Визуальный осмотр выраженных отклонений не выявил.

Операторский сценарий

Студент:

1. определяет перечень собираемых параметров;
2. открывает панель мониторинга;
3. находит периоды возникновения предупреждения;
4. извлекает необходимые данные;
5. сопоставляет температуру и вибрацию;
6. определяет превышение заданного порога.

Инженерно-настроечный сценарий

Студент дополнительно:

- изменяет параметры фильтрации;
- проверяет частоту опроса датчика;
- анализирует формат пакетов;
- изменяет пороговые значения;
- тестирует систему при нескольких режимах работы.

Аналитико-проектный сценарий

Студент получает минимальное количество подсказок.

Ему необходимо установить, связано ли предупреждение:

- с реальной механической проблемой;
- шумом датчика;

- частотой дискретизации;
- ошибкой передачи;
- алгоритмом фильтрации;
- некорректным порогом;
- рассогласованием цифровой модели и реального объекта.

После диагностики требуется предложить изменение архитектуры системы и обосновать его. Именно здесь проходит граница между обычной лабораторной работой и АКФК. В лабораторной работе студент знает, что делать. В киберфизическом кейсе более высокого уровня он должен сначала определить, *что именно необходимо сделать*.

ОБСУЖДЕНИЕ. Сопоставление АКФК с существующими подходами позволяет выделить несколько методически значимых особенностей. Во-первых, методика сохраняет базовый принцип адаптивного обучения - учёт текущего состояния обучающегося. Однако адаптация переносится с уровня «какой текст или тест показать студенту» на уровень профессиональной деятельности. Именно здесь подход отличается от значительной части традиционных адаптивных систем обучения. Исследование Смирнова-Трибулска с соавторами показывает значение персонализации содержания и маршрута [1]. В АКФК эти положения сохраняются, но маршрут становится *деятельностным*.

Во-вторых, аналитика обучения перестаёт быть только средством мониторинга. По выводам Банихашем с соавторами, образовательная аналитика способна существенно поддерживать обратную связь [2]. В предлагаемой методике делается следующий шаг: аналитические данные меняют сложность и структуру дальнейшей инженерной задачи. Иначе говоря: **аналитика → не просто сообщение студенту о результате → а изменение следующей профессиональной ситуации.**

В-третьих, АКФК отличается от обычной лаборатория цифровых двойников. Исследование Занг с соавторами показало положительный потенциал системы обучения на основе цифрового двойника в проектном обучении [5]. Однако цифровой двойник сам по себе является технологией, а не завершённой педагогической методикой. Один и тот же цифровой двойник может использоваться как демонстрация, лабораторный стенд или проектная среда. В АКФК цифровой двойник получает конкретную дидактическую функцию: он является изменяемым объектом адаптивной профессиональной деятельности.

В-четвёртых, методика соединяет индивидуальную адаптацию и возможность командной работы. Это важно в контексте выводов Шарма, Нгюен и Хонг о необходимости исследования саморегуляции и совместной регуляции деятельности в адаптивных цифровых средах [3].

Например, в одном кейсе возможно распределение ролей:

- инженер данных;
- специалист по датчикам;
- программист;
- системный аналитик;

- оператор;
- специалист по информационной безопасности.

Причём распределение также может быть адаптивным.

В-пятых, АКФК не требует обязательного дорогостоящего промышленного стенда.

Киберфизический объект может быть реализован в нескольких вариантах:

1. реальная лабораторная установка;
2. установка на Arduino, ESP32, Raspberry Pi или PLC;
3. виртуальный стенд;
4. имитационная модель;
5. цифровой двойник;
6. смешанная система, в которой часть компонентов физическая, а часть виртуальная.

Последнее особенно важно для технических вузов, где необходимо масштабировать методику на большие группы студентов.

В более ранней авторской методике адаптивного цифрового маршрута выделены диагностика, профилирование, проектирование траектории, коррекционно-развивающее сопровождение и итоговая рефлексия [9]. АКФК не заменяет этот маршрут. Их отношения можно представить следующим образом:

- адаптивный цифровой маршрут отвечает за движение студента по дисциплине в целом;

- АКФК отвечает за адаптивную организацию профессиональной деятельности внутри конкретного содержательного модуля.

Например, цифровой маршрут определяет, что студент готов перейти к теме «IoT и мониторинг технических систем». АКФК определяет, какую роль он будет выполнять внутри данной темы и каким образом уровень сложности будет меняться непосредственно в ходе работы. Так формируется двухуровневая адаптация:

1. *макроуровень — индивидуальная траектория дисциплины;*
2. *микроуровень — динамическая сложность профессионального действия.*

На наш взгляд, это один из центральных принципов предлагаемой методики. При чрезмерном упрощении задания возникает риск, что студент с недостаточной подготовкой получит учебную деятельность, мало похожую на будущую профессию. АКФК предлагает другую логику: *уменьшать не профессиональную значимость задачи, а степень самостоятельности и глубину вмешательства в систему.* Например, и начинающий студент, и хорошо подготовленный студент работают с системой промышленного мониторинга. Первый определяет параметры и интерпретирует готовый график. Второй перестраивает правила обработки данных. Третий диагностирует источник аномалии и проектирует изменение архитектуры. Таким образом, профессиональный контекст остаётся общим.

В традиционной лабораторной работе ошибка часто трактуется как отклонение от инструкции. В АКФК ошибка становится диагностическим ресурсом. Особое значение имеет не только факт ошибки, но и её тип:

- предметная;

- алгоритмическая;
- информационная;
- системная;
- интерпретационная;
- операционная;
- стратегическая.

Если студент неправильно настроил порог, это один вид поддержки. Если он не понимает, какой параметр вообще необходимо анализировать, - другой. Если отдельные операции выполняются правильно, но студент не устанавливает причинной связи между ними, требуется уже не техническая подсказка, а системно-аналитическая поддержка. Тем самым адаптивность приобретает содержательный характер.

Для последующей опытно-экспериментальной проверки АКФК целесообразно оценивать не только итоговую отметку. Предлагаются четыре группы критериев.

Таблица 3.

Критерии оценки эффективности АКФК

Критерий	Основные показатели	Возможный инструмент
Когнитивно-системный	понимание архитектуры, связей и потоков данных	тесты, концептуальные задания
Операционально-технологический	настройка, работа с данными, программными и аппаратными компонентами	практическая работа, цифровой лог
Аналитико-диагностический	обнаружение причины отказа, построение гипотез, анализ данных	проблемный кейс
Проектно-рефлексивный	качество решения, обоснование, способность предложить улучшение	экспертная рубрика, защита проекта

Дополнительно система может автоматически фиксировать:

- длительность решения;
- число неверных операций;
- количество используемых подсказок;
- число возвратов к предыдущему этапу;
- самостоятельность перехода к гипотезе;
- количество проверенных гипотез;
- успешность переноса решения на новую конфигурацию объекта.

Особенно информативным представляется *перенос*. Если студент выполнил конкретную операцию один раз, это ещё не говорит о сформированности инженерного умения. Если после изменения датчика, структуры данных или параметров объекта студент самостоятельно перестраивает способ решения, можно говорить о более глубоком освоении принципа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что развитие адаптивного обучения и цифровизация инженерного образования постепенно сближаются, однако между ними сохраняется методический разрыв. Адаптивные системы хорошо учитывают индивидуальные образовательные особенности, тогда как digital twins, learning factories и киберфизические лаборатории обеспечивают высокую профессиональную реалистичность. Методика *«Адаптивный киберфизический кейс»* предлагается как способ интеграции этих двух направлений. Сущность АКФК состоит в организации работы студента с единым киберфизическим объектом при динамически меняющейся глубине профессиональной деятельности. Выделены операторский, инженерно-настроечный и аналитико-проектный режимы. Их следует рассматривать не как фиксированные уровни студентов, а как адаптируемые состояния учебной деятельности. Научно-методическая особенность АКФК заключается в следующих положениях. Во-первых, объектом адаптации становится не только учебный контент, но и *структура профессионального действия студента*.

Во-вторых, адаптация осуществляется на основании цифрового следа, результатов диагностики и характера ошибок обучающегося.

В-третьих, переход между уровнями может происходить непосредственно в процессе решения одного кейса.

В-четвёртых, цифровой двойник или имитационная модель рассматриваются не как демонстрационные средства, а как изменяемые объекты инженерного анализа.

В-пятых, методика сохраняет профессиональную направленность задания для студентов разного уровня подготовки, реализуя принцип *«адаптация без упрощения профессии»*.

В логике предыдущих наших исследований АКФК является развитием подходов к моделированию взаимодействия студента с учебным курсом [8], компьютерному имитационному моделированию [7], адаптивному цифровому образовательному маршруту [9] и организации обратной связи в адаптивной цифровой среде [10]. Новым этапом становится перенос адаптивности непосредственно в пространство профессионально ориентированной инженерной деятельности. Перспективой дальнейшего исследования является экспериментальная проверка разработанной методики при преподавании дисциплины «Информационные технологии в технических системах», сопоставление динамики студентов экспериментальной и контрольной групп, а также изучение влияния АКФК на системное мышление, способность к диагностике технических ситуаций, самостоятельность и готовность студентов к решению комплексных информационно-инженерных задач.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Smyrnova-Trybulska E., Morze N., Varchenko-Trotsenko L. Adaptive learning in university students' opinions: Cross-border research // Education and Information Technologies. 2022. Vol. 27. P. 6787–6818. DOI: 10.1007/s10639-021-10830-7.
2. Banihashem S.K., Noroozi O., van Ginkel S., Macfadyen L.P., Biemans H.J.A. A systematic review of the role of learning analytics in enhancing feedback practices in higher

education // Educational Research Review. 2022. Vol. 37. Article 100489. DOI: 10.1016/j.edurev.2022.100489.

3. Sharma K., Nguyen A., Hong Y. Self-regulation and shared regulation in collaborative learning in adaptive digital learning environments: A systematic review of empirical studies // British Journal of Educational Technology. 2024. Vol. 55. P. 1398–1436. DOI: 10.1111/bjet.13459.

4. Chelini J., Richert D. Teaching Engineering Design for Industry 4.0 Using a Cyber-Physical Learning Factory // IFAC-PapersOnLine. 2023. Vol. 56, No. 2. P. 4699–4704. DOI: 10.1016/j.ifacol.2023.10.994.

5. Zhang J., Zhu J., Tu W., Wang M., Yang Y., Qian F., Xu Y. The Effectiveness of a Digital Twin Learning System in Assisting Engineering Education Courses: A Case of Landscape Architecture // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 15. Article 6484. DOI: 10.3390/app14156484.

6. Liu X., Jiang D., Tao B., Xiang F., Jiang G., Sun Y., Kong J., Li G. A systematic review of digital twin about physical entities, virtual models, twin data, and applications // Advanced Engineering Informatics. 2023. Vol. 55. Article 101876. DOI: 10.1016/j.aei.2023.101876.

7. Suyumov J., Lutfillayev M., Yuldosheva D., Xasanova M., Polvonov A. Technology for the formation and application of simulation modeling in the educational process // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 508. Article 04008. DOI: 10.1051/e3sconf/202450804008.

8. Gorovik A., Lazareva M., Khasanova M., Yuldosheva D. Modelling algorithms for learner interaction with training courses // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 508. Article 03013. DOI: 10.1051/e3sconf/202450803013.

9. Khasanova M.Y. Adaptive Digital Learning Route Method for Teaching the Course “Information Technologies in Technical Systems” to Technical University Students // International Journal of Pedagogics. 2026. Vol. 6, No. 3. P. 354–361. DOI: 10.37547/ijp/Volume06Issue03-74.

10. Хасанова М.Ю. Информационно-технологические решения и системы обратной связи в адаптивных средах // Science Time. 2026. Т. 4, № 3/1. С. 351–362. DOI: 10.66345/stj.v4i3/1.5474.

11. Khasanova M.Y., Suyumov J.Y. Ensuring Security in Virtual Adaptive Database Systems for Programming Education // Miasto Przyszłości. 2025. Vol. 61. P. 560–562.

12. Khasanova M.Y. Modern Paradigms and Innovative Technologies for Adapting the Educational Process // International Journal of Formal Education. 2025. Vol. 4, No. 9. P. 225–230.

13. Hernández-de-Menéndez M., Morales-Menendez R., Escobar C.A., Ramírez Mendoza R.A. Learning analytics: state of the art // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. 2022. Vol. 16. P. 1209–1230.

14. Tretow-Fish T.A.B., Khalid M.S. Evaluating Learning Analytics of Adaptive Learning Systems: A Work in Progress Systematic Review // Design, Learning, and Innovation. Springer, 2022. DOI: 10.1007/978-3-031-06675-7_3.

15. Keaveney S. et al. Development and Implementation of a Digital Manufacturing Demonstrator for Engineering Education // Procedia CIRP. 2021. Vol. 104. P. 1674–1679. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.282.

16. Broadening participation in learning factories through Industry 4.0 // Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 45. P. 534–539. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.074.

17. Teaching Industrie 4.0 technologies in a learning factory through problem-based learning: case study of a semi-automated robotic cell design // Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 45. P. 265–270. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.105.

18. Implementing an Energy Management System in a Learning Factory – A Project-Based Learning Approach // Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 45. P. 72–77. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.068.