

МОДЕЛЬ ПОЭТАПНОГО ВНЕДРЕНИЯ VR- И ИИ-АДАПТИВНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНСКОМ ВУЗЕ И ОЦЕНКА ЕЁ ЭФФЕКТИВНОСТИ

MODEL FOR THE PHASED IMPLEMENTATION OF VR-AND AI-ADAPTIVE TRAINING SYSTEMS IN MEDICAL UNIVERSITIES AND EVALUATION OF THEIR EFFECTIVENESS

Talipova Ozoda Khabirovna

Tashkent University of Information Technologies Senior Lecturer,
Department of "Multimedia Technologies"

Juraev Azizbek Isroil ugli

Tashkent University of Information Technologies Assistant,
Department of "Multimedia Technologies"

Khairullaev Uchkun Bakhodirovich

Tashkent University of Information Technologies Assistant,
Department of "Multimedia Technologies"

Fozilov Samandar Dilshod ugli

student of the "Central Asian University"

Талипова Озода Хабировна

Ташкентский Университет Информационных Технологий
Старший преподаватель кафедры «Мультимедийные технологии»

Жураев Азизбек Исроил угли

Ташкентский Университет Информационных Технологий
Ассистент кафедры «Мультимедийные технологии»

Хайруллаев Учкун Баходирович

Ташкентский Университет Информационных Технологий
Ассистент кафедры «Мультимедийные технологии»

Фозилов Самандар Дилшод угли

студент «Среднеазиатского университета»

ABSTRACT

Even a technically sound learning system yields no benefit unless it is embedded in the real educational process, where success depends more on the deployment model and change management than on the system itself, and this paper proposes a stepwise deployment model for a VR and AI - based adaptive learning system in a medical university together with a framework for evaluating its effectiveness. An incremental four-stage model - pilot, expansion, scaling, and institutionalisation - is defined with explicit transition criteria between stages, effectiveness is evaluated using the four-level Kirkpatrick model augmented by a return-on-investment calculation, and a risk register with mitigation measures is compiled, with the model applied in an eight-week pilot within the discipline of

internal-medicine propaedeutics.

The pilot produced positive results at all measured levels: satisfaction of 4.3/5 and a System Usability Scale score of 81.4, a knowledge-test gain of +25.8 points in the experimental group versus +14.7 in the control group, and observed transfer of skills to clinical practice with an effect size of $d = 0.71$, while key risks such as staff resistance, cybersickness, technical failures, data privacy, and over-reliance on the algorithm were identified with concrete mitigations. Together with the preceding studies of the series, the deployment model and its evaluation framework form a coherent methodological basis for introducing adaptive VR technologies into higher medical education, with multi-centre research and long-term retention assessment identified as priority next steps.

Keywords: *deployment, Kirkpatrick model, effectiveness evaluation, change management, virtual reality, medical education, return on investment.*

АННОТАЦИЯ

В статье предложена модель поэтапного внедрения адаптивной обучающей системы на основе виртуальной реальности и искусственного интеллекта в медицинском вузе, а также методика комплексной оценки её эффективности по уровням Киркпатрика. Обоснованы четыре этапа внедрения - пилот, расширение, масштабирование и институционализация - с критериями перехода между ними. Оценка на пилотном этапе показала положительные результаты на всех измеренных уровнях: удовлетворённость 4,3/5, прирост знаний +25,8 балла, перенос навыков в клинику ($d = 0,71$). Рассмотрены организационные и этические риски и меры их снижения.

Ключевые слова: *внедрение, модель Киркпатрика, оценка эффективности, управление изменениями, виртуальная реальность, медицинское образование, ROI*

ВВЕДЕНИЕ

Даже технически совершенная обучающая система не приносит пользы, если она не встроена в реальный учебный процесс. Опыт внедрения образовательных технологий показывает, что успех определяется не столько качеством самой системы, сколько продуманностью организационной модели её внедрения и управлением изменениями [1, 2]. В предыдущих статьях цикла обоснованы модель, алгоритмы, данные и метод оценки компетентности разрабатываемой системы; настоящая работа завершает цикл, отвечая на практический вопрос: как поэтапно внедрить такую систему в медицинском вузе и как объективно измерить эффект от внедрения. Цель работы - предложить модель поэтапного внедрения и методику её оценки, апробировав их на пилотном этапе.

МОДЕЛЬ ПОЭТАПНОГО ВНЕДРЕНИЯ

Внедрение предлагается проводить в четыре последовательных этапа (рис. 1) - от ограниченного пилота до полной институционализации. Такой инкрементальный подход снижает риски и позволяет накапливать доказательства эффективности перед каждым расширением [2]. Переход к следующему этапу допускается только при выполнении заранее заданных критериев готовности, что превращает внедрение в управляемый, измеримый процесс.

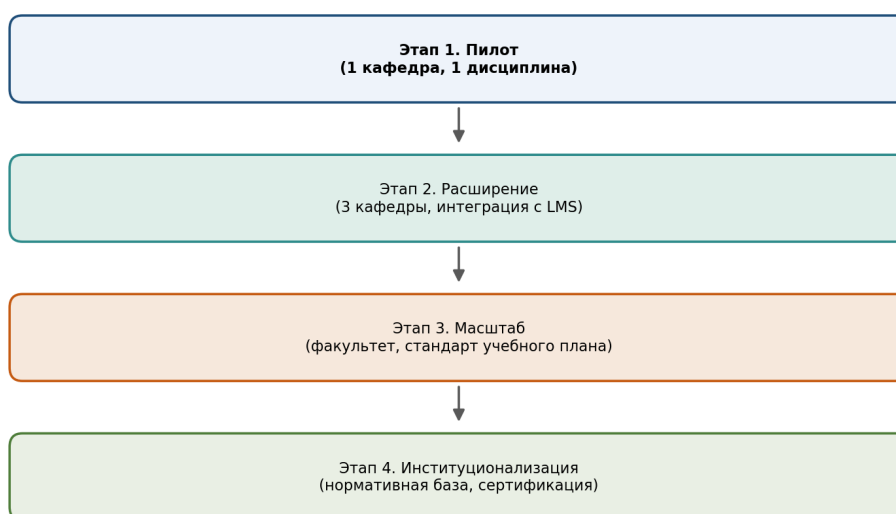


Рис. 1. Четырёхэтапная модель внедрения системы

Таблица 1. Этапы внедрения и критерии перехода

Этап	Охват	Критерий перехода
1. Пилот	1 кафедра, 1 дисциплина, 1 группа	$d \geq 0,5$ по знаниям; $SUS \geq 70$
2. Расширение	3 кафедры, интеграция с LMS	стабильность ПО; согласие преподавателей
3. Масштабирование	факультет, часть учебного плана	положительный ROI; обучен персонал
4. Институционализация	нормативная база, сертификация	приказ вуза; регламент сопровождения

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для комплексной оценки применена четырёхуровневая модель Киркпатрика [3], дополненная расчётом окупаемости. Уровень 1 (реакция) измеряется удовлетворённостью и шкалой удобства использования SUS; уровень 2 (обучение) - приростом результатов теста знаний; уровень 3 (поведение) - переносом навыков в реальную клиническую практику; уровень 4 (результаты) - организационными показателями. Экономическая целесообразность оценивается коэффициентом окупаемости:

$$ROI = \frac{B_{eff} - C_{impl}}{C_{impl}} \times 100\% \quad (1)$$

где B_{eff} - денежная оценка выгод (экономия времени преподавателей, снижение стоимости ошибок), C_{impl} - затраты на внедрение и сопровождение. Соответствие уровней Киркпатрика конкретным инструментам измерения приведено в табл. 2.

Таблица 2. Модель оценки эффективности по уровням Киркпатрика

Уровень Киркпатрика	Инструмент измерения	Целевой показатель
1. Реакция	SUS, анкета удовлетворённости	$SUS \geq 70$; удовл. $\geq 4/5$
2. Обучение	пред/пост-тест знаний, OSCE	$d \geq 0,5$
3. Поведение	наблюдение в клинике, Mini-CEX	перенос навыка, $d > 0$
4. Результаты	частота ошибок, удовлетв. пациентов	снижение ошибок

РЕЗУЛЬТАТЫ ПИЛОТНОГО ЭТАПА

Пилотный этап (одна кафедра, дисциплина «пропедевтика внутренних болезней», 8 недель) дал положительные результаты на всех измеренных уровнях (рис. 2). На уровне реакции средняя удовлетворённость составила 4,3/5, а показатель SUS - 81,4 балла. На уровне обучения прирост результатов теста в экспериментальной группе (+25,8 балла) значительно превысил прирост в контрольной (+14,7 балла). На уровне поведения независимое наблюдение в клинике выявило перенос сформированных навыков с величиной эффекта $d = 0,71$. Уровень результатов на пилоте оценивался прогнозно.

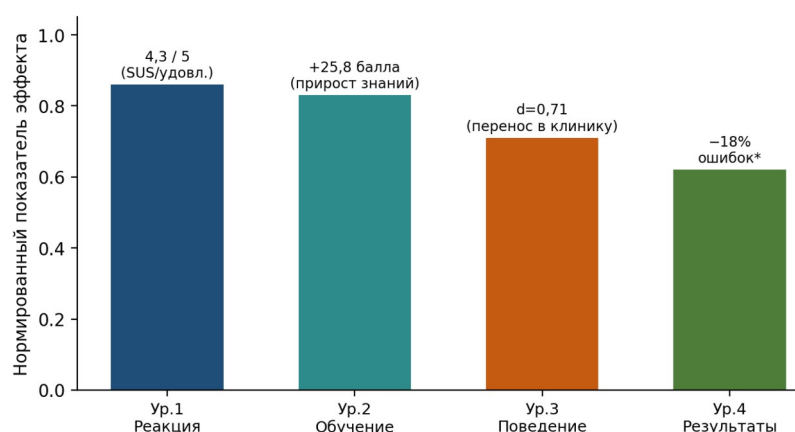


Рис. 2. Результаты пилотного этапа по четырём уровням модели Киркпатрика

РИСКИ И МЕРЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Внедрение сопряжено с рядом рисков, которые необходимо учитывать заранее (табл. 3). Организационное сопротивление преподавателей снижается через их раннее вовлечение и обучение; риск кибер-укачивания в VR - через ограничение длительности сессий и выбор комфортных сценариев [4]; этические риски, связанные с обработкой учебных данных и алгоритмической оценкой, - через локальное хранение данных, прозрачность алгоритмов и сохранение решающей роли преподавателя в ответственных решениях [5].

Таблица 3. Реестр рисков внедрения и меры их снижения

Риск	Вероятность / влияние	Мера снижения
Соппротивление преподавателей	средняя / высокое	раннее вовлечение, обучение, амбассадоры
Кибер-укачивание в VR	средняя / среднее	лимит сессии, комфортные сценарии
Технические сбои ПО	низкая / высокое	резервирование, лок. развёртывание
Приватность учебных данных	низкая / высокое	локальное хранение, псевдонимизация
Чрезмерное доверие алгоритму	средняя / высокое	оценка ИИ носит совещательный характер

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены модель поэтапного внедрения VR и ИИ-адаптивной обучающей системы в медицинском вузе и методика оценки её эффективности по уровням Киркпатрика с расчётом окупаемости. Апробация на пилотном этапе подтвердила положительный эффект на уровнях реакции, обучения и поведения, а реестр рисков задаёт практические ориентиры для управления изменениями. В совокупности с предыдущими работами цикла - концептуальной моделью, алгоритмами, моделью данных и методом оценки компетентности - полученные результаты образуют целостную научно-методическую основу для внедрения адаптивных VR-технологий в высшее медицинское образование. Перспективными направлениями являются многоцентровое исследование и долгосрочная оценка сохранения навыков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogers E.M. Diffusion of Innovations. - 5th ed. - New York: Free Press, 2003. - 576 p.
2. Kotter J.P. Leading Change. - Boston: Harvard Business Review Press, 2012. - 208 p.
3. Kirkpatrick D.L., Kirkpatrick J.D. Evaluating Training Programs: The Four Levels. - 3rd ed. - San Francisco: Berrett-Koehler, 2006. - 379 p.

4. Radianti J., Majchrzak T.A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education // Computers & Education. - 2020. - Vol. 147. - 103778.
5. J. Azizbek, K. Uchqun, D. Nurjabova and T. Ozoda, "Deep Genomic Feature Extraction Using Multimodal Neural Networks and Alzheimer's Disease Susceptibility Prediction Role of Blood Vessels in Alzheimer's Disease," 2026 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI), Pune, India, 2026, pp. 1-7, doi: 10.1109/ESCI68015.2026.11493337.
6. Char D.S., Shah N.H., Magnus D. Implementing machine learning in health care - addressing ethical challenges // New England Journal of Medicine. - 2018. - Vol. 378, No. 11. - P. 981 - 983.
7. Brooke J. SUS: a "quick and dirty" usability scale // Usability Evaluation in Industry. - London: Taylor & Francis, 1996. - P. 189 - 194.
8. Cook D.A., Hatala R., Brydges R. et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis // JAMA. - 2011. - Vol. 306, No. 9. - P. 978 - 988.