

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2025 Issue: 12 Volume: 152

Received: 27.12.2025

Accepted/Published: 30.12.2025 <https://T-Science.org>

Issue



Article



Mohiniso Hidirova

Kimyo International University

Teacher, Tashkent

mhidirova@yandex.ru

Barno Ubaydullayeva

The Academic Lyceum branch of the Russian State University
of Oil and Gas named after Gubkin in Tashkent

MATHEMATICAL MODELLING REGULATORICS OF EDUCATIONAL ECOSYSTEM IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Abstract: This article deals with the modeling of the regulatorics of the educational process based on the ORASTA concept, integrating project-based, event-driven, and systems-oriented approaches. Depending on the objectives addressed, the study considers functional–differential equations of regulatorics incorporating time delays, advances, as well as temporal stretching and compression. The proposed methodology includes monitoring mechanisms designed to identify complex dynamic regimes, such as limit cycles, irregular oscillations, “black hole” effects, and r-windows. These phenomena may indicate the emergence of instability or a loss of controllability within educational systems operating in the context of artificial intelligence, digital transformation, and big data.

Key words: regulatorics, educational ecosystem, nonlinear dynamics, limit cycles, irregular oscillations, “black hole” effects, r-windows.

Language: Russian

Citation: Hidirova, M., & Ubaydullayeva, B. (2025). Mathematical modelling regulatorics of educational ecosystem in the context of digital transformation. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (152), 60-65.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-12-152-11> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2025.12.152.11>

Scopus ASCC: 2600.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРИКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Аннотация: В статье рассматривается моделирование регуляторики образовательного процесса на основе понятия ORASTA с учетом проектных, событийно-ориентированных и системных подходов. В зависимости от решаемых задач можно рассматривать функционально-дифференциальные уравнения регуляторики с запаздыванием, с опережением, растяжением и сжатием по времени. Методология включает механизмы мониторинга для выявления сложных динамических режимов, включая предельные циклы, нерегулярные колебания, эффекты «чёрных дыр» и r-окна, которые могут свидетельствовать о формировании неустойчивости или утрате управляемости образовательной системы в эпоху искусственного интеллекта, цифровой трансформации и больших данных.

Ключевые слова: регуляторика, образовательная экосистема, нелинейная динамика, предельные циклы, нерегулярные колебания, эффекты «чёрных дыр», r-окна.

Введение

Высшие учебные заведения сталкиваются с возрастающими вызовами в подготовке выпускников к рынкам труда, характеризующимся цифровой трансформацией

быстрыми технологическими изменениями, большими данными и ростом системной сложности, что требует развития адаптивных компетенций, цифровой грамотности и системного мышления [1-6]. Современные

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

профессии требуют не только предметно-специфических знаний, но и способности функционировать в сложных адаптивных системах, интерпретировать данные обратной связи и проектировать либо управлять регуляторными процессами в технологических, биологических и социотехнических сферах. В результате университеты по всему миру пересматривают учебные планы и внедряют новые междисциплинарные предметы, соответствующие формирующимся знаниям и требованиям рынка труда [7-8]. В этом контексте внедрение новых моделей и создание новых академических дисциплин всё чаще рассматривается не как расширение учебных программ, а как стратегический и тактический механизм, посредством которого ВУЗы поддерживают актуальность, адаптивность и качество образования [9-10]. Исследования подчёркивают, что учебные программы должны интегрировать системное мышление, работу с данными, адаптивное принятие решений и технологическую компетентность для обеспечения конкурентоспособности выпускников в условиях меняющихся рынков труда [11-13]. Образовательные технологии играют центральную роль в этой трансформации, изменяя как педагогические практики, так и институциональное управление. Цифровые образовательные среды, аналитика обучения, искусственный интеллект и адаптивные образовательные системы требуют концептуальных рамок, выходящих за пределы традиционных педагогических моделей и учитывающих регуляцию, обратные связи и процессы принятия решений на различных уровнях образовательной системы. Однако многие существующие подходы к образовательным технологиям носят фрагментарный характер, фокусируясь преимущественно на инструментах, а не на базовых регуляторных принципах, определяющих обучение, преподавание и институциональные управленческие решения [14-15].

Для преодоления данного разрыва в статье предлагается в качестве новой академической дисциплины для высшего образования дисциплину Регуляторика — научно-образовательная концепция, введённая Б. Н. Хидировым, Регуляторика представляет собой научную теорию, разрабатываемую Б. Н. Хидировым с 1970-х годов и ориентированную на изучение принципов, моделей и механизмов регуляции в сложных биологических системах [16]. В отличие от системной биологии или кибернетики, регуляторика не является методологическим подмножеством этих направлений, а выступает как самостоятельная теоретическая дисциплина, обладающая

собственным понятийным аппаратом, терминологией и историей развития [17-18].

Б. Н. Хидиров вводит регуляторику на основе фундаментального понятия **ORASTA**, которое обеспечивает формальное и операциональное описание регуляторных процессов в сложных системах. ORASTA состоит из двух взаимосвязанных компонентов: оператора-регулятора (OR) и активной системы со средним по времени (ASTA). Оператор-регулятор (OR) определяется как функциональная сущность, способная принимать, хранить, обрабатывать и передавать сигналы, осуществляя регуляторные решения путём преобразования входной информации в управляющие воздействия. В образовательном контексте таким оператором могут выступать цифровые образовательные технологии, интеллектуальные алгоритмы, преподаватели или гибридные человеко-машинные системы, ответственные за адаптивную регуляцию процессов обучения.

Второй компонент — ASTA (активная система со средним по времени) — представляет собой активную информационно-регуляторную среду, характеризующуюся конечной временной постоянной. ASTA обеспечивает реализацию замкнутого контура обратной связи в конечном временном интервале, гарантируя отзывчивость, устойчивость и адаптивность системы. Наличие механизма усреднения по времени отличает ASTA от статических сред и позволяет системе интегрировать прошлые состояния и сигналы в текущие регуляторные решения. Совместно OR и ASTA образуют единую регуляторную структуру, в рамках которой управляющие воздействия непрерывно корректируются за счёт обратной связи, функционирующей в условиях конечных временных ограничений.

Такая ORASTA-ориентированная формализация позволяет рассматривать регуляцию не только как абстрактный принцип управления, но как динамический, событийно и информационно обусловленный процесс, применимый к биологическим, техническим и образовательным системам. В высшем образовании концепция ORASTA формирует строгую теоретическую основу для интерпретации цифровых образовательных сред как регуляторных систем, в которых аналитика обучения, адаптивные платформы и искусственный интеллект функционируют в роли операторов-регуляторов, встроенных в активную информационную среду. Такой подход непосредственно поддерживает проектирование образовательных технологий, ориентированных на формирование компетенций, востребованных современными рынками труда, включая системное мышление, адаптивное принятие решений и регуляцию на основе данных.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном исследовании применяется проектно и событийно-ориентированный и системный подходы к образовательным технологиям, основанный на концепции регуляторики и модели ORASTA в качестве ключевого теоретического каркаса. Образовательные системы рассматриваются как сложные адаптивные экосистемы, в которых процессы обучения, институциональные структуры и технологические компоненты динамически взаимодействуют во времени. Также в рамках рассматриваемого подхода создаются цифровые двойники процесса, основанные на представлении образовательных систем, интегрирующие данные в реальном времени в вертикальные и горизонтальное разделения для поддержки мониторинга, анализа и обоснованного принятия решений. Модель ORASTA задаёт иерархическую регуляторную структуру, согласующуюся с многоуровневыми перспективами. На системном уровне верхнеуровневый оператор-регулятор (OR) отвечает за координацию агрегированных подсистем и согласование их поведения с институциональными или программными целями. Этот уровень поддерживает стратегическое управление за счёт синтеза информации из различных подсистем и обеспечения согласованности между педагогическими целями, организационными ограничениями и технологическими возможностями.

На аналитическом уровне ORASTA определяет когнитивные механизмы обработки сигналов — такие как ассоциация, индукция, дедукция, анализ, синтез, обобщение и конкретизация — как функциональные процессы, встроенные в цифровой двойник. Методологически исследование следует концептуальному проектированию и системному моделированию, ориентированным на архитектурный и методологический вклад в развитие образовательных технологий. Фреймворк ORASTA реализуется в виде многослойной архитектуры цифрового двойника, представляющей образовательную систему как активную среду (ASTA).

Обучающий слой осуществляет непрерывное наблюдение за образовательной средой, фиксируя данные о взаимодействиях обучающихся, динамике обучения и показателях эффективности системы. Эти потоки данных формируют эмпирическую основу для адаптивной регуляции и поэтапно интегрируются в цифровой двойник.

В зависимости от решаемых задач можно рассматривать функционально-дифференциальные уравнения регуляторики с запаздыванием, с опережением, растяжением и сжатием по времени [19]. Запаздывание отражает

конечное время передачи, обработки и усреднения информации в ASTA. Регулятор (OR) принимает решение на основе не только текущего состояния системы, но и прошлых состояний. Опережение моделирует предиктивные механизмы регуляции, когда OR формирует управляющее воздействие на основе прогнозируемого будущего состояния системы, для предиктивной аналитики и адаптивных образовательных платформ, цифровых двойников с прогнозом траекторий обучения; стратегического планирования и опережающего управления. Растяжение времени соответствует замедленной динамике ASTA, когда процессы усреднения и адаптации происходят медленно по сравнению с внешними воздействиями. Как стратегическая регуляция в условиях инерционных систем. Сжатие времени отражает ускоренные регуляторные процессы, характерные для кризисных режимов или высокочастотного управления в виде интенсивных обучающих модулей, оперативной адаптации образовательных платформ и антикризисного управления в условиях трансформирующихся цифровых трансформациях и сложных социотехнических систем.

Рассмотрим регуляторику двух образовательных центров и пусть деятельность первой OR ($x(t)$) характеризуется наличием большого числа высококвалифицированных специалистов и основана на высокоразвитой информационной технологии, а второй ASTA центр ($y(t)$) менее оснащен и находится в зависимости от первого. Система уравнений регуляторики ORASTA взаимосвязанного функционирования данных центров имеет вид

$$\varepsilon_1 \frac{dx(t)}{dt} = ax^2(t-1)e^{-y(t-1)} - x(t); \quad (1)$$

$$\varepsilon_2 \frac{dy(t)}{dt} = bx(t-1)y(t-1)e^{-x(t-1)} - y(t),$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — параметры регуляторики, a, b — параметры ресурсообеспеченности центров ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, a, b > 0$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе методов качественного и количественного анализа характерных решений системы уравнений регуляторики (1) с использованием фазовых и параметрических портретов, вычисления энтропии Колмогорова, показателя Ляпунова, Хаусдорфовой, информационной и высших размерностей были выявлены следующие области однотипного функционирования в параметрическом портрете модельного уравнения регуляторики (1)

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- [1 0 0 0 0] – тривиальный аттрактор
- [0 1 0 0 0] – стационарный режим
- [0 0 1 0 0] – предельный цикл типа Пуанкаре
- [0 0 0 1 0] – динамический хаос
- [0 0 0 0 1] – эффект «черная дыра»
- [0 0 0 0 1] – “r-windows”

Методология включает механизмы мониторинга для выявления сложных динамических режимов, включая нерегулярные колебания, эффекты «чёрных дыр» и г-окна, которые могут свидетельствовать о формировании нестабильности или утрате управляемости образовательной системы. Цифровой двойник содержит ранние диагностические механизмы, позволяющие обнаруживать подобные состояния до их перерастания в критические нарушения. Нейрокогнитивные механизмы селективного внимания, включая ретикулярную активирующую систему, могут быть концептуализированы как оператор-регулятор, осуществляющий фильтрацию и приоритизацию входящих информационных потоков. В условиях высокой информационной насыщенности цифровых образовательных сред данный оператор обеспечивает устойчивость когнитивной системы обучающегося, предотвращая перегрузку и хаотизацию восприятия. В рамках регуляторного подхода образовательная реальность, воспринимаемая обучающимся, формируется не как полное отображение учебной среды, а как результат регулируемого усреднения информации во времени. Данный процесс определяет индивидуальные различия в образовательных траекториях, мотивации и результатах обучения.

При выявлении рискованных состояний регуляторные механизмы ORASTA инициируют адаптивные реакции, такие как перенастройка параметров системы или перераспределение ресурсов. Это обеспечивает устойчивое, надёжное и эффективное функционирование образовательной системы и поддерживает принятие решений, основанных на больших данных, на различных организационных уровнях.

При построении цифровых двойников наблюдается высокая зависимость от существующих данных. Так, небольшие изменения входных данных, не приводящие к искажению человеческого понимания, вынуждают интеллектуальные системы совершать грубые ошибки. Вопросы измерения и сбора качественных данных не являются элементарными и все еще обсуждаются. Проблема качественных исходных данных для выработки адекватных баз правил и эффективных методов повышения точности принимаемых решений все еще актуальна. Одно из наиболее перспективных

решений в условиях ограниченности или плохого качества данных это применение Physics-Informed Neural Networks (PINNs), архитектуры нейронных сетей, в которых в обучение интегрируются функциональные уравнения, описывающие исследуемый процесс, позволяющие «достраивать» недостающую информацию за счёт встроенных законов регуляtorики.

В контексте регуляtorики физический эффект наблюдателя интерпретируется не как прямое квантовое влияние сознания на материю, а как регуляторный эффект измерения и фильтрации информации в сложных адаптивных системах. Внимание наблюдателя выполняет функцию оператора-регулятора, который изменяет динамику системы за счёт обратной связи. ASTA в данном случае — это информационная среда сознания с конечной временной константой, в которой происходит усреднение прошлого опыта и текущих стимулов. Таким образом, воспринимаемая «реальность» — это не полное состояние внешнего мира, а регуляторно усреднённая проекция, сформированная в результате работы ORASTA. Нейрокогнитивные механизмы селективного внимания, включая ретикулярную активирующую систему, могут быть концептуализированы как оператор-регулятор, осуществляющий фильтрацию и приоритизацию входящих информационных потоков. В условиях высокой информационной насыщенности цифровых образовательных сред данный оператор обеспечивает устойчивость когнитивной системы обучающегося, предотвращая перегрузку и хаотизацию восприятия. В рамках регуляторного подхода образовательная реальность, воспринимаемая обучающимся, формируется не как полное отображение учебной среды, а как результат регулируемого усреднения информации во времени. Данный процесс определяет индивидуальные различия в образовательных траекториях, мотивации и результатах обучения. В зависимости от внутренних и внешних условий, таких как мотивационные установки, ожидания и трансформации, система может переходить между следующими режимами функционирования: устойчивое, предельные циклы, квазипериодическое, нерегулярные, эффекты «черная дыра» и г-окна. Нерегулярные колебания в образовательной динамике проявляются, в частности, в нестабильности учебной мотивации, флуктуациях вовлечённости и резких изменениях интерпретации учебных событий. Эти явления усиливаются в условиях высокой неопределённости, характерной для цифровых и гибридных форм обучения. В рамках теории нелинейных систем особый интерес представляют так называемые г-окна — интервалы параметров, в которых система временно переходит от

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

хаотического режима к упорядоченному поведению. В образовательных системах г-окна соответствуют состояниям повышенной когнитивной пластичности, когда обучающиеся демонстрируют готовность к переосмыслению учебного материала и изменению стратегий обучения. К реализации относятся проектно и событийно-ориентированные, системные подходы, метакогнитивные паузы и целенаправленная педагогическая поддержка. Использование г-окон позволяет осуществлять мягкую перенастройку регуляторных механизмов без нарушения общей устойчивости образовательного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов регуляtorики в образовательном процессе позволяет рассматривать обучение как динамическую систему управления информацией, в которой внимание, интерпретация и обратная связь играют ключевую роль. Использование понятий нелинейной динамики, включая нерегулярные колебания, эффекты информационных «чёрных дыр» и г-окна, создаёт теоретическую основу для проектирования образовательных технологий, ориентированных на устойчивость, адаптивность и развитие системного мышления у

обучающихся. Использование функционально-дифференциальных уравнений с запаздыванием, опережением, растяжением и сжатием времени позволяет формализовать ключевые свойства регуляtorики в образовательном процессе: учет времени реакции, предиктивность, адаптивность и устойчивость. В контексте ORASTA такие модели обеспечивают строгую математическую основу для анализа и проектирования регуляции в биологических, технических и образовательных системах. Различия в образовательных результатах могут быть объяснены не только уровнем исходных знаний, но и различиями в параметрах когнитивного регулирования, включая временные константы усреднения информации и структуру обратных связей. В результате обучающиеся функционируют в различных регуляторных режимах одной и той же образовательной среды, формируя устойчивые индивидуальные траектории обучения. Регуляторные установки определяют траекторию системы в пространстве состояний, изменение внешних и внутренних параметров может переводить систему между устойчивыми, хаотическими и критическими режимами, включая нерегулярные колебания, эффекты «чёрных дыр» и г-окна когнитивной пластичности.

References:

- Williamson, B. (2017). *Big data in education: The digital future of learning, policy and practice*.
- UNESCO. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* UNESCO Publishing.
- Siemens, G., & Baker, R. S. J. d. (2012). *Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration*. In Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge (pp. 252-254).
- Lin, Y., Chen, H., Xia, W., Lin, F., Wang, Z., & Liu, Y. (2025). A Comprehensive Survey on Deep Learning Techniques in Educational Data Mining: Y. Lin et al. *Data Science and Engineering*, 1-27.
- Lampropoulos, G., & Evangelidis, G. (2025). Learning analytics and educational data mining in augmented reality, virtual reality, and the metaverse: A systematic literature review, content analysis, and bibliometric analysis. *Applied Sciences*, 15(2), 971.
- Chen, H., & Anyanwu, C. C. (2025). AI in education: Evaluating the impact of moodle AI-powered chatbots and metacognitive teaching approaches on academic performance of higher Institution Business Education students. *Education and Information Technologies*, 1-16.
- Abbasi, B. N., Wu, Y., & Luo, Z. (2025). Exploring the impact of artificial intelligence on curriculum development in global higher education institutions. *Education and Information Technologies*, 30(1), 547-581.
- Kumayas, T., Luntungan, G. S., Arsai, A. N., & Tatipang, D. P. (2025). Curriculum Reform Meets Classroom Realities: Selected Indonesian Teachers' Perspectives on the Merdeka Curriculum. *REiLA: Journal of Research and Innovation in Language*, 7(1), 97-110.
- Shek, D. T., Chau, G. C., & Lee, B. M. (2025). Development of 21st-Century Skills: A Comprehensive Analysis Based on the OECD

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- Learning Compass 2030. *Promoting Holistic Development in University Students*, 17, 89.
10. Mima, N. (2025). The Future of AI Literacy Education: Integrating OECD Education 2030 with Technical and Ethical Perspectives. *The Journal of Applied Instructional Design*, 14(2).
 11. Avdiu, E., Bekteshi, E., & Gollopeni, B. (2025). Learning skills for the future-implementing the 21st-century learning. *Multidisciplinary Science Journal*, 7(1), 2025011-2025011.
 12. Luckin, R. (2025). Nurturing human intelligence in the age of AI: rethinking education for the future. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 39(1), 1-4.
 13. Zhong, R., & Zhao, Y. (2025). Education paradigm shifts in the age of AI: A spatiotemporal analysis of learning. *ECNU Review of Education*, 20965311251315204.
 14. Antoninis, M., Alcott, B., Al Hadheri, S., April, D., Fouad Barakat, B., Barrios Rivera, M., & Weill, E. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms?*
 15. Graham, C. R., Danaa, G., Purevsuren, T., Martínez, A., Spricigo, C. B., Camilotti, B. M., & Batsukh, T. (2023). Digital learning transformation in higher education: international cases of university efforts to evaluate and improve blended teaching readiness. *Education Sciences*, 13(11), 1143.
 16. Hidirov B. N. (2014) *Selected works on mathematical modeling living systems regulatorika*. Moscow Ijevsk, 2014, 304 P. (in Russian).
 17. Hidirov, B. N. (2008). Mathematical and computer modelling regulatorika of hierarchical molecular-genetic systems. *Scientiae Mathematicae Japonicae*, 67(2), 229-239.
 18. Hidirova, M. et al. (2024). Dynamic Model of Semantic Information Signal Processing. In: Samsonovich, A.V., Liu, T. (eds) *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2023. BICA 2023. Studies in Computational Intelligence*, vol 1130. Springer, ChamWilliamson, B. (2017).
 19. Hidirova, M.B., & Halbaeva, N. (2025). *Covremennye tendencii robotizirovannoj terapii kak jelement jekonomiki znanij*. «Innovacionnye tehnologii i inzhiniring»: sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnye tehnologii i inzhiniring» - Temirtau, KarIU, 2025, 722-725.