

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

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

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

Year: 2025 Issue: 05 Volume: 145

Received: 01.05.2025
 Accepted/Published: 30.05.2025 <https://T-Science.org>

Issue

Article



Mohiniso Hidirova
 Kimyo International University
 Teacher, Tashkent
mhidirova@yandex.ru

Sevinch Alixonova
 Kimyo International University
 Student, Tashkent

PROSPECTS FOR USING MECHATRONICS METHODS AND REGULATORY SCIENCES IN THE DEVELOPMENT OF MODERN MEDICINE

Abstract: The article discusses mechatronics methods and algorithms used in modern medicine, with an emphasis on the development of telemedicine systems in the context of globalization of healthcare informatization. Particular attention is paid to the analysis of the functioning of two interconnected telemedicine mechatronic centers using regulatory methods. The modes of a trivial attractor, a stationary mode, Poincaré-type limit cycles, dynamic chaos, destructive changes - the "black hole" effect are presented, describing the dynamics of interaction between centers with different levels of equipment and personnel potential. Promising research areas are discussed, including the use of DNA computing to create new materials for batteries, and ethical standards and regulatory requirements are taken into account.

Key words: mechatronics, medical engineering, controller, mathematical modeling, nonlinear dynamics, functional differential equations, chaos.

Language: Russian

Citation: Hidirova, M., & Alixonova, S. (2025). Prospects for using mechatronics methods and regulatory sciences in the development of modern medicine. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (145), 8-12.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-05-145-2> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2025.05.145.2>

Scopus ASCC: 2604.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МЕХАТРОНИКИ И РЕГУЛЯТОРИКИ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЫ

Аннотация: В статье рассматриваются методы и алгоритмы мехатроники, применяемые в современной медицине, с акцентом на развитие телемедицинских систем в условиях глобализации информатизации здравоохранения. Особое внимание уделено анализу функционирования двух взаимосвязанных телемедицинских мехатронных центров с использованием методов регуляторики. Представлены режимы тривиального аттрактора, стационарного режима, предельных циклов типа Пуанкаре, динамического хаоса, деструктивных изменений – эффект «черная дыра», описывающие динамику взаимодействия центров с разным уровнем оснащённости и кадрового потенциала. Обсуждаются перспективные направления исследований, включая применение ДНК-компьютинга для создания новых материалов для аккумуляторных батарей, а также учитываются этические нормы и регуляторные требования.

Ключевые слова: мехатроника, медицинская инженерия, регулятор, математическое моделирование, нелинейная динамика, функционально-дифференциальные уравнения, хаос.

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

Введение

Несмотря на значительный рост исследований в области информатизации здравоохранения за последние годы, существенного прогресса в повышении доступности и качества медицинской помощи, особенно в труднодоступных регионах, достичь пока не удалось. Это указывает на необходимость поиска новых подходов, объединяющих различные научные дисциплины.

Мехатроника — интегративная область, сочетающая элементы механики, электроники, автоматики и информационных технологий — всё активнее проникает в сферу медицины. Использование методов мехатроники в телемедицине позволяет значительно повысить доступность качественной медицинской помощи для населения удалённых или малодоступных регионов, а также улучшить персонализацию лечения за счёт постоянного мониторинга состояния пациента. Методы и алгоритмы мехатроники находят применение в разработке высокоточных диагностических систем, хирургических роботов, адаптивных протезов, а также интеллектуальных устройств мониторинга состояния пациента. Рассмотрение возможностей мехатроники в рамках мультидисциплинарного подхода представляет собой перспективное направление в развитии современных медицинских технологий. От высокоточных хирургических роботов до миниатюрных имплантируемых устройств и портативных диагностических систем, мехатронные решения открывают беспрецедентные возможности для улучшения диагностики, лечения и реабилитации пациентов. Однако ключевой проблемой на пути к их широкому распространению является обеспечение эффективного энергопотребления и длительной автономной работы [1-2]. В медицинских приложениях, где надёжность и непрерывность функционирования имеют первостепенное значение, вопросы энергосбережения и автономности приобретают особую важность. Достижение прогресса в этой области требует междисциплинарного подхода,

объединяющего усилия инженеров, механиков, электронщиков, программистов, материаловедов и специалистов в области медицины. Использование ДНК-компьютинга открывает принципиально новые горизонты в создании аккумуляторов для медицинских устройств: появляется возможность создавать миниатюрные и высокоэффективные элементы питания, полностью соответствующие требованиям биосовместимости, гибкости и долговечности [3]. Революционное изменение подходов к диагностике и терапии рака может быть достигнуто за счёт создания материалов с новыми химическими, биологическими и физическими свойствами. В последние десятилетия наблюдается заметный прогресс в клиническом внедрении микроробототехники, разрабатываются инновационные методы диагностики и лечения с применением наночастиц, и одним из наиболее перспективных направлений в этой области является создание микророботов [4-9]. Внедрение мехатронных и телемедицинских систем в здравоохранение требует не только технической, но и регуляторной проработки, поскольку вмешательство в здоровье человека связано с высокими рисками и этическими вызовами.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы комплексные методы исследования, включающие системный анализ, оценка алгоритмов, реализующих мехатронные решения, а также метод регуляtorики. Комплексное применение методов регуляtorики и этических принципов обеспечивает не только безопасность и эффективность новых медицинских мехатронных систем, но и общественное доверие к ним, что является ключевым условием их широкого внедрения.

Одна из основных идей при математическом моделировании регуляторных механизмов функционирования телемедицинских мехатронных систем заключается в центральном регулировании потоками информации на основе мультиосцилляторной ORASTA (рис. 1).

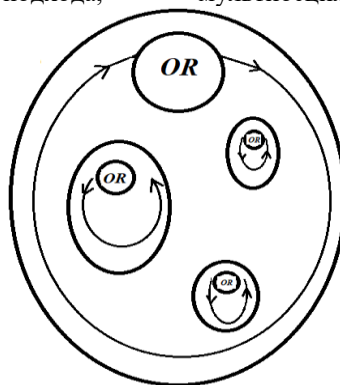


Рис. 1. Схема мультиосцилляторной ORASTA

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

Сформулированы следующие законы регуляторики [10-11]:

Закон регулируемости

Система называется регулируемой, если внутренние временные регуляторные расстояния обратно пропорциональны внешним энергиям:

Закон нормальной регуляторики

Существуют такие системы регуляторики, называемые нормальными, в которых внутренние временные регуляторные энергии информации находятся в равновесии с внешними энергиями.

Закон избыточной регуляторики

Существуют такие системы регуляторики, называемые избыточными, в которых внутренние временные регуляторные расстояния больше внешних энергий.

Закон недостаточной регуляторики

Существуют такие системы регуляторики, называемые недостаточными, в которых внутренние временные регуляторные расстояния меньше внешних энергий.

Рассмотрим применение метода регуляторики для анализа функционирования двух телемедицинских мехатронных центров в условиях глобализации информатизации здравоохранения, деятельность первой ($X(t)$) характеризуется наличием большого числа высококвалифицированных специалистов в области мехатроники и основана на высокоразвитой медицинской информационной технологии, а второй центр ($Y(t)$) менее оснащен и находится в зависимости от первого. В отдельно взятых странах, да и в мире целом существуют обширные труднодоступные регионы, где ощущается нехватка медицинской помощи пациентам. Развитие информатизации медицины может решить данную проблему.

Система уравнений регуляторики взаимосвязанного функционирования данных центров на основе мультиосцилляторной ORASTA (рис. 1) имеет вид

$$\varepsilon_1 \frac{dX(t)}{dt} = aX^2(t-1)e^{-Y(t-1)} - X(t); \quad (1)$$

$$\varepsilon_2 \frac{dY(t)}{dt} = bX(t-1)Y(t)e^{-X(t-1)-Y(t)} - Y(t),$$

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

В настоящее время в мировом научном сообществе применение методов математического и компьютерного моделирования, в основном, происходит наиболее успешно путем разработки «разовых», феноменологических моделей. Широкое применение количественных исследований регуляторных механизмов в различных областях медицины требует

достаточно высокого уровня универсальности и объектной ориентированности разрабатываемых моделей. Данная работа ориентирована на разработку именно таких модельных систем – разработке методов математического и компьютерного моделирования наиболее основных регуляторных механизмов функционирования систем в норме и при аномалиях. Анализ динамики взаимодействия двух телемедицинских мехатронных центров с применением методов регуляторики позволяет выявлять различные режимы функционирования системы:

1. Стационарное состояние

В этом режиме показатели работы центров стабилизируются на определённых уровнях — потоки информации, кадровые и ресурсные обмены сбалансированы, система функционирует предсказуемо, без резких колебаний. Такой режим характерен для хорошо отлаженного взаимодействия с устойчивыми каналами связи, чётким распределением функций и достаточными ресурсами.

2. Предельные циклы

В случае появления регулярных колебаний (например, циклическая зависимость деятельности от пиков загрузки, периодические сбои или волны перегрузок) система переходит в режим предельных циклов. Эти колебания могут быть вызваны, например, сезонными изменениями потока пациентов или циклическими обновлениями оборудования и программного обеспечения.

3. Хаотический режим

При потере устойчивости взаимодействия (например, из-за недостаточной пропускной способности сетей, резкого уменьшения числа специалистов, непредсказуемых сбоев ИТ-систем) возможно развитие хаоса — нелинейного, сложно прогнозируемого поведения центров. В таком режиме малые возмущения могут приводить к сильным изменениям работы всей системы, делая управление чрезвычайно сложным.

4. Эффект “черной дыры”

Дальнейшее ухудшение регуляторики приводит к эффекту «черная дыра» — резкому деструктивному изменению функционирования.

Применение математических моделей регуляторики типа (1) позволяет не только описать эти режимы, но и выявить условия, при которых система переходит из одного режима в другой. Это даёт важные основания для разработки стратегий стабилизации и повышения устойчивости телемедицинской сети. В условиях глобализации информатизации здравоохранения важно учитывать регуляторные механизмы, влияющие на взаимодействие и эффективность различных телемедицинских мехатронных центров. Применение метода регуляторики также

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

позволяет выявлять управляющие потоки — информационные, кадровые, ресурсные — которые поступают от $X(t)$ к $Y(t)$ и определяют его функциональную устойчивость; оценивать зависимости и риски — например, риски монополизации технологических решений, зависимость качества медицинской помощи от скорости и качества обмена данными между $X(t)$ и $Y(t)$; разрабатывать рекомендации — например, усиление автономности за счёт локальной подготовки кадров, внедрение адаптивных ИТ-решений, диверсификация поставок оборудования; анализировать этические и социальные аспекты — доступность высокотехнологичной помощи для населения региона $Y(t)$, обслуживаемого в условиях зависимости от решений центра $X(t)$. Таким образом, метод регуляtorики позволяет не только технически проанализировать функционирование системы из двух центров на основе системы функционально-дифференциальных уравнений (1), но и учесть комплекс взаимосвязанных факторов — от организационных до этических — в единой модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, нами определены, с использованием методов качественного анализа, условия возникновения нарушений в регуляторике взаимосвязанной деятельности двух телемедицинских мехатронных центров. Так, последовательное увеличение параметра регулирования, при росте нагрузки и изменении ресурсообеспечения моделируемой системы, происходят последовательные переходы от стабильного функционирования к периодическим колебаниям, к неконтролируемой хаотической деятельности и к резким деструктивным нарушениям деятельности.

На основе анализа литературных источников можно выявить следующие перспективные направления исследований в области применения методов и алгоритмов мехатроники в медицине:

- Совершенствование технологий сбора энергии, адаптированных для специфических условий медицинских приложений.
- Разработка биосовместимых материалов нового поколения — создание гибких, миниатюрных и биоразлагаемых элементов для аккумуляторов, сенсоров и имплантов, которые будут безопасны для организма и обеспечат долгосрочную работу устройств.
- Интеграция искусственного интеллекта и мехатроники — внедрение алгоритмов машинного обучения для адаптации мехатронных систем к индивидуальным особенностям пациента, включая прогнозирование осложнений и автоматическую настройку режимов работы.

• Молекулярные и ДНК-компьютеры — применение молекулярных вычислений для быстрого поиска и оптимизации материалов, а также для создания биосенсоров на основе ДНК-структур.

• Тактильная телемедицина — развитие систем удалённой диагностики и хирургии с обратной сенсорной связью, обеспечивающей врачу ощущение прикосновения и сопротивления тканей.

• Киберфизические системы и интернет медицинских вещей (IoMT) — объединение множества медицинских устройств в единую сеть с постоянным обменом данными, что позволит создать непрерывный мониторинг здоровья пациентов.

• Нейромехатроника — разработка интерфейсов «мозг–машина» для управления протезами, экзоскелетами и другими устройствами с высокой степенью естественности и отзывчивости.

Этические нормы, лежащие в основе разработки и применения таких систем, включают:

• Принцип автономии пациента — обеспечение права пациента на информированное согласие и отказ от применения технологии.

• Принцип конфиденциальности — защита персональных медицинских данных, особенно при использовании телемедицинских платформ.

• Принцип справедливости — равный доступ пациентов к новым технологиям вне зависимости от места проживания, социального статуса или финансовых возможностей.

• Принцип минимизации вреда — недопущение ситуаций, в которых технология может причинить больше вреда, чем пользы.

• Нормативное регулирование: разработка и соблюдение стандартов качества, безопасности и эффективности медицинских устройств, включая международные нормы (например, ISO, IEC) и национальные законы в области медицинских технологий.

• Клиническая валидация: проведение многоэтапных испытаний, включая лабораторные, доклинические и клинические исследования, для подтверждения надёжности и безопасности мехатронных систем.

• Алгоритмическая прозрачность: обеспечение возможности верификации алгоритмов, использующихся в системах управления и принятия решений, особенно если речь идёт об ИИ-компонентах.

• Риск-менеджмент: оценка потенциальных рисков для здоровья пациента, разработка сценариев реагирования на отказ систем, обеспечение резервных каналов связи и питания.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие мехатронных алгоритмов в медицине представляет собой динамичную и многообещающую область исследований. Успехи в этих направлениях приведут к созданию более совершенных медицинских устройств, способных повысить качество диагностики, лечения и реабилитации пациентов, а также расширить возможности медицинских специалистов. Дальнейшее развитие технологий мехатронной телемедицины открывает новые горизонты для

предоставления медицинских услуг. Это особенно актуально для удаленных и труднодоступных районов, где доступ к высококвалифицированной медицинской помощи может быть ограничен. Разработка и внедрение домашних медицинских роботов для оказания помощи пожилым и хроническим больным пациентам также может значительно улучшить качество жизни этой группы людей.

References:

1. Brunelli, D., & Benini, L. (1951). "Energy-aware design for medical body sensor networks." *Proceedings of the IEEE*, 98(11), 1936-1951.
2. Starkey, D., Hsu, P. Y., & Wright, P. K. (n.d.). "Energy harvesting and power management in portable medical devices." *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 2206-2220.
3. Hidirova, M., & Xolboyeva, N. (2024). Prospects for application of DNA computing in robotic technologies in medicine. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (140), 107-112.
4. Presnov, D. E., Kafanov, S. G., Dorofeev, A. A., Bozh`ev, I. V., Trifonov, A. S., Pashkin, Jy. A., & Krupenin, V. A. (2018). Mehanicheskij rezonans v kremnievom nanoprovoде s vysokoj dobrotnost`u. Pis`ma v "Zhurnal jeksperimental`noj i teoreticheskoy fiziki" 108, 7, 522-528, (2018).
5. Presnov, D. E., Kafanov, S., Dorofeev, A. A., Bozhev, I. V., Trifonov, A. S., Pashkin, Y. A., & Krupenin, V. A. (2018). High quality factor mechanical resonance in a silicon nanowire. *JETP Letters* 108, 7, 492-497, (2018).
6. Peyer, K., Zhang, L., & Nelson, B. (2012). Bio-inspired magnetic swimming microrobots for biomedical applications. *Nanoscale* 5(4), 2012.
7. Park, S.J., Park, S.-H., Cho, S., et al. (2013). New paradigm for tumor theranostic methodology using bacteria-based microrobot. *Scientific Reports* 3. Article number: 3394 (2013).
8. Han, J., Zhen, J., Nguyen, V.D., et al. (2016). Hybrid-Actuating Macrophage-Based Microrobots for Active Cancer Therapy. *Scientific Reports* 6, Article number: 28717 (2016).
9. Kim, S., Lee, S., Lee, J., et al. (2016). Fabrication and Manipulation of Ciliary Microrobots with Non-reciprocal Magnetic Actuation. *Scientific Reports*, 2016; 6: 30713 DOI: 10.1038/srep30713.
10. Hidirov, B.N. (2014). *Izbrannye raboty po matematicheskomu modelirovaniu reguljatoriki zhivyh sistem*. Moskva - Izhevsk, 2014, C. 304.
11. Hidirova, M.B., & Abdivaxidov, K. (2023). Mathematical modeling of regulatorika of energy processes at transferring information. Vol. 4 No. 1 (2023); *Central Asian Journal of STEM*.