



Московский
государственный
университет
имени М. В. Ломоносова



Филиал МГУ
в городе Севастополе

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция МГУ

«ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ, УПРАВЛЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

МАТЕРИАЛЫ

ЧЕРНОМОРСКАЯ
научно-практическая
конференция
МГУ

17 – 22 мая 2022 года

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

ФИЛИАЛ МГУ в г. СЕВАСТОПОЛЕ



**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
IV Международной Черноморской научно-практической
конференции**

**«ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ, УПРАВЛЕНИЯ И
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»**

17-22 мая 2022 г.

**СЕВАСТОПОЛЬ
2022**

**УДК 001
ББК 72
Ч 49**

ПУБЛИКУЕТСЯ

по решению программного комитета IV Черноморской международной научно-практической конференции «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта»

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Е.И. Игнатов - профессор, доктор географических наук, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования филиала МГУ в г. Севастополе

С.А. Усов - доцент, доктор политических наук, профессор кафедры истории и международных отношений филиала МГУ в г. Севастополе

Тексты тезисов докладов проверены программой «Антиплагиат»,
прошли научное и литературное редактирование.

Ответственность за правильность, точность и корректность цитирования, ссылок и перевода, достоверность информации и оригинальность представленных материалов несут их авторы.

Ч 49

Черноморская конференция – 2022.

Сборник материалов IV Черноморской международной научно-практической конференции Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта» (17-22 мая 2022 года, г. Севастополь) [Электронный ресурс] / Под ред. О.А. Шпырко. - Эл. изд. - Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2022 г.- 1 электрон. опт. диск (CD - Rom). - Сист. требования: Adobe Reader; экран 10'.- 91 с.- ISBN 978-5-907330-99-3. DOI: 10.35103/SMSU.2022.11.80.001

ISBN 978-5-907330-99-3 DOI: 10.35103/SMSU.2022.11.80.001

Сборник содержит результаты научных исследований учёных и практиков, преподавателей, представителей государственных и общественных структур, научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений города Севастополя, Республики Крым, Российской Федерации и зарубежных стран. Для ученых, аспирантов, студентов и всех, кто интересуется новейшими научными достижениями.

ISBN 978-5-907330-99-3



9 785907 330993 >

**УДК 001
ББК 72
Ч 49**

© Коллектив авторов,
2022
© Оформление эл. издания
Филиал МГУ в
г. Севастополе, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

УДАЛЕННАЯ ЗАНЯТОСТЬ КАК ФАКТОР ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И СОТРУДНИКОВ	
Алтухова Н.В.	6
ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ	
Бекишев Ю. А., Куликов Д. А., Писаренко Ж. В.	11
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФОКУСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ	
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Садаков В.А., Евтушенко Е.В., Чупаков М.В.	18
МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БПЛА МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ	
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Садаков В.А., Евтушенко Е.В., Чупаков М.В., Линник И.И., Морозова В.Г.	19
МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЕДИНИЧНЫХ ЗАМЕРОВ ПЕРВИЧНЫХ КООРДИНАТ В РЕЗУЛЬТИРУЮЩУЮ ТРАЕКТОРИЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Линник И.И., Морозова В.Г.	20
МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ БПЛА С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕЖПОЗИЦИОННОГО ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЕДИНИЧНЫХ ЗАМЕРОВ И ТРАЕКТОРИЙ	
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Линник И.И., Морозова В.Г.	21
МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ БПЛА, ПОСТРОЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЗИЦИЯХ АВТОНОМНО	
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Линник И.И., Морозова В.Г.	22
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗЬЮ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	
Егоров Н.И.	23

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПЬЕЗОПРОТЕИНОВ И СЕТЕЙ БЕЛОК-БЕЛКОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ У ЖИВОТНЫХ TRICHOPLAX (PLACOZOA)

Кузнецов А. В. 32

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ: ДИПЛОМАТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Ладыгина-Глазунова Н.И., Петрова Е.В..... 50

ОБЗОР МЕТОДИКИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУБЪЕКТА

Потапов Ю.А..... 54

ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩЕГО СУБЪЕКТА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРАКТИКИ

Потапов Ю.А..... 61

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Пряшникова П.Ф. 67

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Пряшникова П.Ф. 70

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Скаковская А.Н. 74

ПЕРЕХОД ОТ АНАЛОГОВОГО МЫШЛЕНИЯ К ЦИФРОВОМУ В ОБЩЕСТВЕ КАК ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ, БИЗНЕСА И НАУКИ СТРАНЫ

Царюк Д. А. 79

КОЛЕБАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА, ВЫЗВАННЫЕ ДВИЖУЩИМИСЯ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Ярошенко А.А., Маленко Ж.В., Маркина Е.В., Костюкова Л.О., Бабиков И.И..... 84

УДК 338

**УДАЛЕННАЯ ЗАНЯТОСТЬ КАК ФАКТОР ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ:
ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И СОТРУДНИКОВ**

Научная статья

Алтухова Н.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Филиал в
г. Севастополе, доцент кафедры экономики

Аннотация

Новые формы организации труда позволяют уменьшить затраты предприятий и повысить эффективность работы за счет повышения цифровых компетенций сотрудников и снижения отвлекающих факторов при работе вне офиса. Снижается вероятность профессионального выгорания работающих за счет уменьшения стрессовых факторов, возникающих во время проезда к месту работы или в результате конфликтов в коллективе. Однако для максимального влияния позитивных факторов удаленной работы на уровень цифровизации экономики необходимо найти способы обеспечения информационной безопасности, недопущения потери лояльности клиентов и размывания корпоративной культуры.

Ключевые слова: цифровизация; онлайн- занятость; IT-компетенции; офисные расходы; корпоративная культура; производительность труда; рабочие коммуникации.

**REMOTE EMPLOYMENT AS AN ECONOMY DIGITALIZATION FACTOR:
PROSPECTS FOR ORGANIZATION AND EMPLOYEES**

Research Article

Altukhova N.V.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Филиал в
г. Севастополе, доцент кафедры экономики

Abstract

New work organization forms will reduce the enterprises costs and increase work efficiency by increasing the employee's digital competencies, reducing distractions when home working. The probability of employee's professional burnout is reduced by reducing stress factors that arise during travel to the work place or as a result of conflicts in the team. However, in order to maximize the impact of the positive factors of remote work on the level of digitalization of the economy, it is necessary to find ways to ensure information security, prevent the loss of customer loyalty and the erosion of corporate culture.

Keywords: digitalization; online employment; IT competencies; office expenses; corporate culture; labor productivity; work communications.

Два года пандемии значительно изменили бизнес-процессы в российских организациях. По сообщению аналитического агентства «Тэдвайзер» [5], более восьмидесяти процентов российских организаций в большей или меньшей степени используют удаленную занятость сотрудников (рисунок 1).

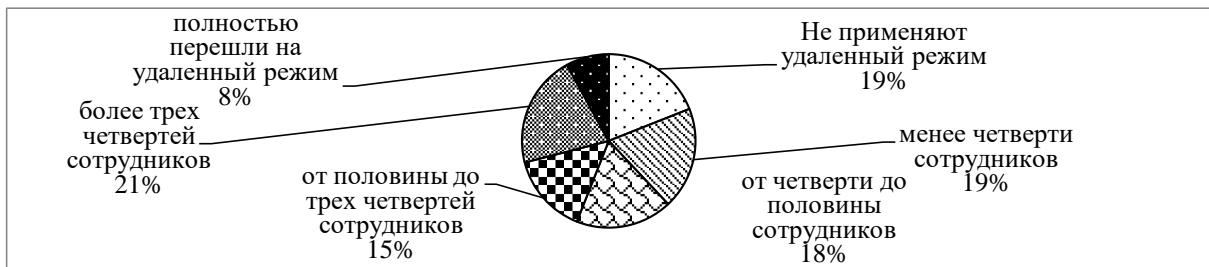


Рисунок 1. Доля предприятий, применяющих удаленный режим работы*

*Примечание: Диаграмма построена автором по материалам источника

[5].

Анализ опросов и научных исследований позволяет извлечь некоторые уроки из происходящего. Налицо безусловные положительные стороны удаленной работы для организации. Необходимость использовать онлайн-технологии для коммуникации с сотрудниками ускоряет процесс цифровизации в организации, рост ИТ-компетенций работников. Уменьшение потребности в офисных площадях, обеспечивает снижение расходов на содержание, аренду, страховку, оплату парковки, имущественные налоги. Сокращается время вынужденного отсутствия сотрудника на работе по причине пребывания на больничном, либо замаскированных прогулов в связи с недомоганием. Уменьшается травматизация на рабочем месте. Молодые мамы могут приступать к служебным обязанностям раньше достижения ребенком возраста трех лет, а работники, находящиеся на реабилитации после хирургических операций, имеют возможность выполнять свои трудовые функции дома без вреда для здоровья. Предприятие получает возможность привлечения квалифицированных работников из других городов. Взаимодействие сотрудников только в рамках рабочих функций снижает вероятность конфликтов в коллективе [2], [3], [7].

Однако на уровне организации обнаруживаются и негативные последствия новаций. «Атомизация» сотрудников неизбежно вызовет снижение уровня корпоративной культуры, навыков рабочей коммуникации, что приведет к потере производительности в процессах, требующих общения и взаимодействия сотрудников. В результате отсутствия личного общения с персоналом неизбежно снижение лояльности клиентов. В перспективе уменьшение взаимодействия

между сотрудниками может привести к снижению эффекта эмерджентности и потери синергетичности в результате ослабления системного эффекта рабочего коллектива. Это чревато не только падением производительности труда, но и снижением уровня производственного знания, которое трудно артикулируется и циркулирует только в личном общении. Результатом может явиться потеря качества результатов труда и торможение внедрения инноваций. Пока неизвестны, но вполне возможны «подводные камни» удаленной работы, связанные с требованиями трудового, налогового и корпоративного законодательства. Снижение производительности труда в случае отсутствия у работников самоорганизации и самодисциплины в присутствии отвлекающих факторов: расслабляющая домашняя обстановка, семейные конфликты и т.д. Необходимость оборудования «домашнего офиса» сотрудников вызовет дополнительные затраты. Неизбежны информационные риски и необходимость построения новой системы информационной безопасности. Не всегда объективная оценка компетентности и полезности сотрудника, который не находится на глазах у руководителя, затруднит процессы управления в организации [2], [4], [6].

С точки зрения сотрудника, снижается стрессовая нагрузка в связи с проездом к месту работы, сокращаются расходы на офисный дресс-код, на проезд, на питание вне дома. Налицо улучшение собственных технических навыков и освоения новых навыков коммуникации в цифровой среде. Отсутствие отвлекающих факторов – присутствия большого количества людей, шума офисной техники, телефонных звонков по корпоративному коммутатору – дает возможность сосредоточиться и увеличить производительность. Возможность делать перерывы в работе и легкую физкультуру снижает вероятность утомления, мотивирует к труду и уменьшает вероятность стресса или профессионального выгорания. Лучший баланс между работой и личной жизнью, больше общения с детьми и пожилыми родственниками гарантирует отсутствие чувства вины перед близкими за увлеченность сотрудника карьерой.

Появляются возможности для трудоустройства людей с ограниченными возможностями. [1], [6].

Однако, недостаточно продуманный режим дня, невозможность сосредоточиться на работе вследствие отсутствия самодисциплины или по причине отвлекающих факторов может привести к снижению производительности труда. Чтобы исправить ситуацию, сотрудник может попытаться работать дольше, а это чревато стрессом и психологическим выгоранием. Изоляция, постоянное пребывание в замкнутом пространстве, потеря навыков личного общения с остальными сотрудниками могут влиять на психику или на ухудшение социализации [3], [2], [6].

Можно утверждать, что нивелировав негативные эффекты дистанционной занятости и развивая положительные, можно повысить уровень эффективности труда и ускорить цифровизацию экономики.

Список литературы

1. Антонова Н.Л., Касымова М.К. // Переход компаний на удаленную работу: преимущества и недостатки // Заметки ученого. 2021. № 6-1. С. 338-341.
2. Иванова А.А. Удаленный режим работы: перспективы развития. повышение эффективности труда // Аспирант. 2021. № 2 (59). С. 77-79.
3. Пряжникова О.Н. Рост объемов удаленной работы в период пандемии covid-19: последствия и перспективы // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 11: Социология. 2021. № 3. С. 116-125.
4. Сергеева И.И., Степанова М.А., Бабак А.Ю., Дутиков А.Е. Некоторые аспекты организации удаленной работы персонала в условиях пандемии // Экономическая среда. 2021. № 1 (35). С. 47-52.
5. Удаленная работа в России [электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Удаленная_работа_в_России#2022 (дата обращения 05.04.2022).

6. Lister Kate, Mamaysky Isaac Working from Home: Employment Law & Tax Implications of Remote Work for Employers // Global Workplace Analytics, 2022 URL: <https://globalworkplaceanalytics.com/whitepapers> (дата обращения 05.04.2022).

7. The Pros and Cons of Working From Home // <https://www.indeed.com/career-advice/finding-a-job/the-pros-and-cons-of-working-from-home>

ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Доклад

Бекишев Ю. А.¹, Куликов Д. А.², Писаренко Ж. В.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

соискатель на степень кандидата экономических наук

²Санкт-Петербургский государственный университет, аспирант

³Санкт-Петербургский государственный университет, доктор экономических наук

Аннотация

На сегодняшний день активно идёт завершение перехода на технологии Индустрии 4.0 и постепенно начинаются исследование и интеграция инструментов пятой промышленной революции. Кроме того, уже сейчас существуют способы замены человеческого труда роботизированными инструментами практически по каждому виду операций, начиная от хранения материала и заканчивая созданием готовой продукции. В данной работе эти технологии были разделены и рассмотрены в соответствии с функциональными площадками производства: зон предпроизводства, финальной линии и складской логистики.

Ключевые слова: автоматизация, логистические технологии, производственные технологии, Индустрия 4.0, оптимизация процессов, хозяйственная экономика, промышленная робототехника

TECHNOLOGIES OF PRODUCTION AUTOMATION AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE USED CURRENTLY Report

Yury A. Bekishev¹, Denis A. Kulikov², Zhanna V. Pisarenko³

¹St. Petersburg State University, Ph.D. in Economics seeking applicant

²St. Petersburg State University, graduate student

³St. Petersburg State University, Doctor of Economics

Abstract

Nowadays, the transition to Industry 4.0 technologies is being actively completed, and research and integration of the tools of the fifth industrial revolution are gradually beginning. In addition, there are already ways to replace human labor with robotic tools for almost all types of operations, from storing material to creating finished products. In this report, these technologies were divided and considered in accordance with the functional areas of production: pre-production zone, the final line and warehouse logistics.

Keywords: automation, logistics technologies, production technologies, Industry 4.0, process optimization, business economics, industrial robotics

Введение. Уже к 2020 году вложения в рынок интеллектуального производства выросли до отметки в 215 миллиардов долларов США и продолжают расти. Это можно увидеть на графике инвестиций, составленном из отчета аналитической компании «Markets and Markets» (Рисунок 1):

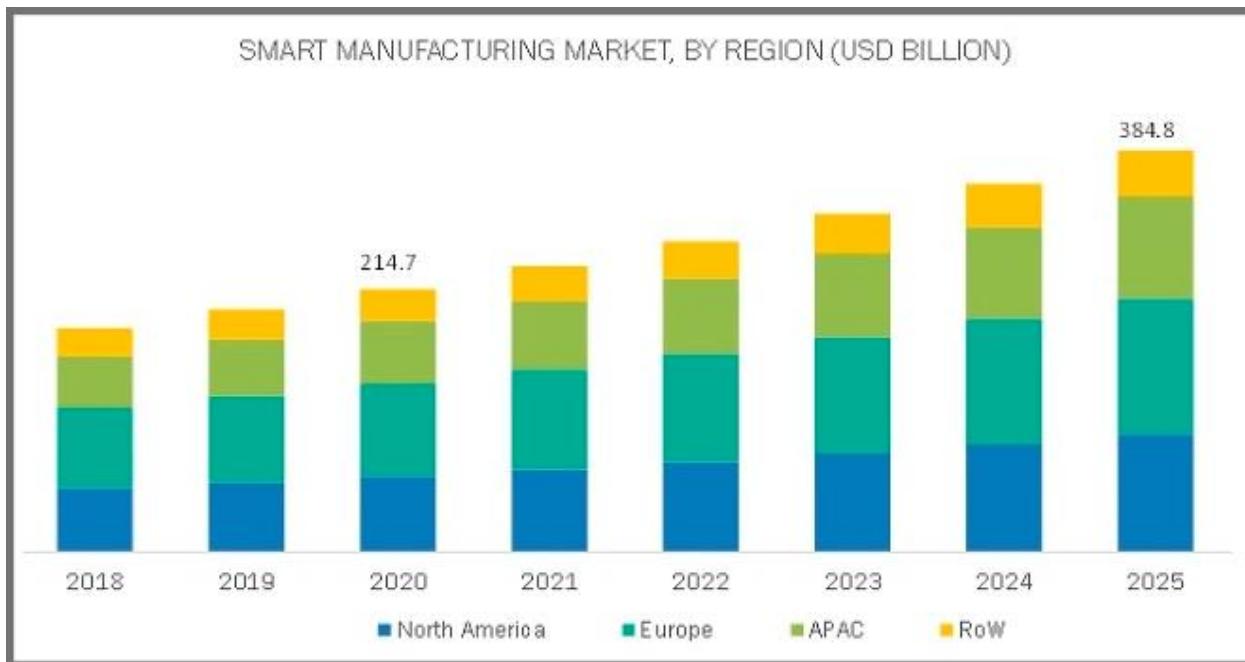


Рисунок1. Рынок интеллектуального производства в разбивке по регионам (в млрд. \$ США)

Источник: TADVISER на основании исследования компании «Markets and Markets» от 2019 г.¹

Таким образом, в рамках Индустрии 4.0, одним из основных положений которой является процесс автоматизации производственного цикла, т.е. замена человеческого труда машинным, продолжается развитие и внедрение роботизированного оборудования в производственную инфраструктуру предприятия. Однако уже сегодня мы можем говорить о существовании технологических решений по замене всех основных операций на машинный труд, что является неким «триггером» к переходу в Индустрию 5.0. В связи с этим, цель данной работы – рассмотреть основные виды технологий, применяющихся на ряде производств в настоящее время.

¹ Цифровизация промышленности // TADVISER URL:
https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровизация_промышленности._Обзор_TAdviser
 (дата обращения: 05.04.2022).

Методы исследования. Решение поставленных в работе задач осуществлялось на основе применения методов научного познания – систематизации и анализа научных источников информации.

Результаты. Существует множество технологий автоматизации производства. Все они связаны, прежде всего, с заменой человека в областях, граничащих с риском жизни и здоровья, то есть первой причиной перехода на них (помимо экономии) является показатель безопасности. Для удобства восприятия мной была составлена небольшая карта роботизированных инструментов (Рисунок 2).

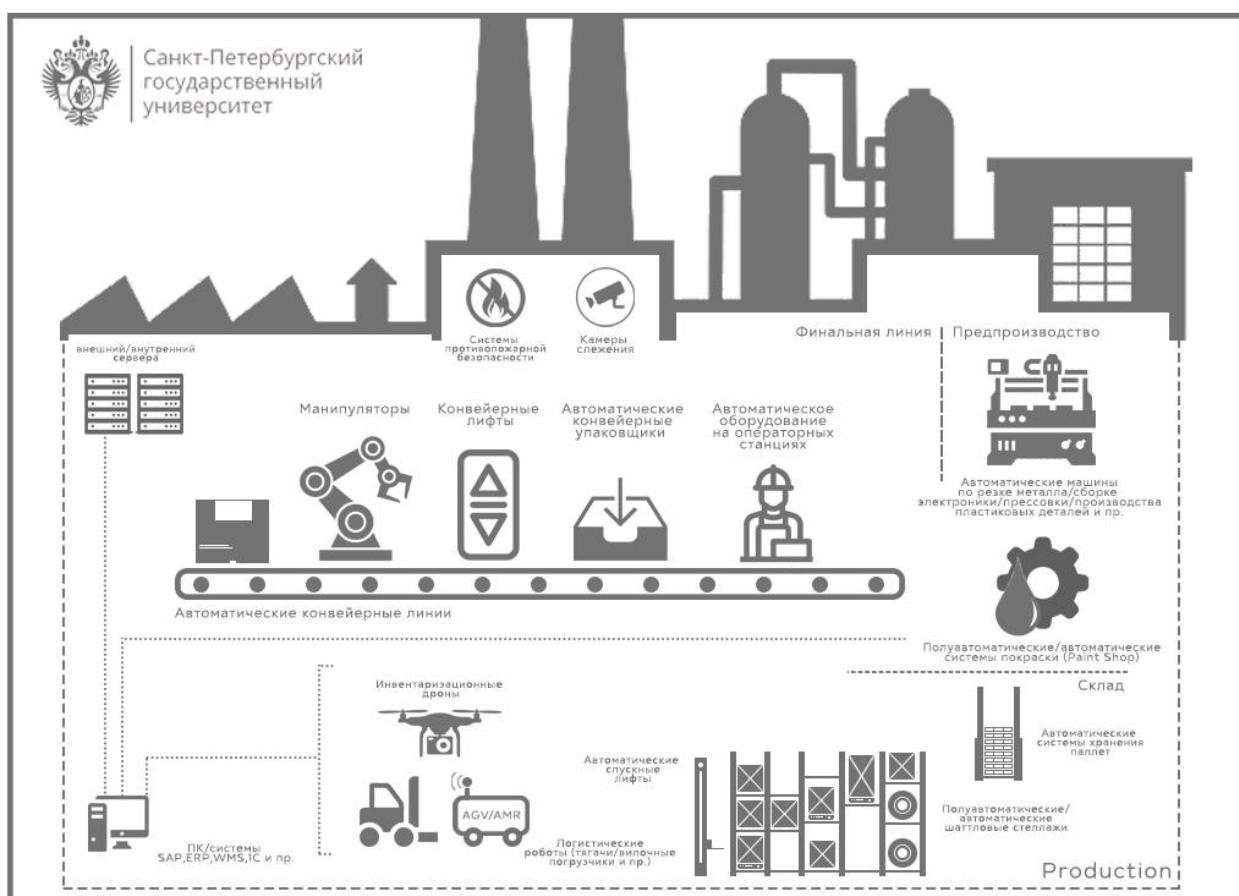


Рисунок 2. «Карта технологий автоматизации производства»

Источник: составлено авторами работы

Все системы подобного рода можно грубо функционально разделить на три основные зоны применения, а именно технологии: зоны предпроизводства, финальной линии, складской логистики. Рассмотрим каждую из них более детально.

Зона предпроизводства:

На данной площадке происходит подготовка полуфабрикатов для финальной линии сборки. Она интересна тем, что содержит в себе массу технологий, которые являются в большей степени «оригинальными» для каждого предприятия по сравнению с ресурсами логистики и сборочной линии. Однако есть и более стандартизованные инструменты, к примеру:

- 1) Машины по обработке материала (металл, дерево): сюда входят автоматические и полуавтоматические машины, осуществляющие резку, выдавливание, очистку и другие манипуляции с сырьем.
- 2) Литьевые машины по производству пластика, резины или стекла: включают в себя технологии автоматической выплавки пластиковых деталей из специализированного гранулята, резины из каучука и стекла из кварцевого песка.
- 3) Окрасочные комплексы (Paint Shop): включают в себя технологии полуавтоматической и автоматической окраски компонентов.

Зона финальной линии сборки (final assembly):

После изготовления полуфабрикатов (как в зоне предпроизводства, так и изготовленные/купленные на стороне) конечный продукт собирается на линии сборки. Место, где она встречается с зоной предпроизводства, неофициально называется «местом свадьбы». На данный момент существует множество технологий, действующих на данной площадке:

- 1) Конвейерное оборудование: инструмент, необходимый для системы поточного производства², служит для перемещения груза или материала в разной форме (сыпучих, кусковых и пр.). Сюда входят винтовые (шнековые), ленточные, скребковые и прочие конвейера.

² Поточное производство – вид организации производства, при котором производственный процесс разделяется на отдельные, короткие операции, которые выполняются на оснащенных и последовательно расположенных для этого местах.

2) Конвейерные лифты и подъемники: служат для вертикальной транспортировки материала или готовой продукции как на промежутках финальной линии, так и при отгрузке последней на склад.

3) Манипуляторы (промышленные роботы): автоматические устройства, состоящие из самого манипулятора и программируемого устройства управления, необходимых для перемещения предметов производства и выполнения различных технологических операций.

4) Автоматические упаковщики: устройства, предназначенные для автоматизированного процесса упаковки готовой продукции перед доставкой её на склад.

Зона складской логистики:

Инструменты с функцией хранения сырья, материалов и готовой продукции, а также её доставки в места требования попадают в зону технологий логистики. Они зачастую являются связующим звеном между зоной предпроизводства и финальной линией. Технологии здесь, сообразно функциям, разделяются на системы хранения и доставки:

1) Автоматические и полуавтоматические шаттловые стеллажи: система хранения материала, основанная на рельсовой, канальной системе хранения, передвижение груза в которой производится с помощью шаттла. Для полной автоматизации данной системы используют специальную технологию лифтовых захватов.

2) Роботы AGV/AMR: системы автоматической транспортировки груза в места требования. AMR отличается от AGV тем, что имеет возможность обучения и самоориентирования в пространстве.

3) Инвентаризационные дроны: технология автоматической сверки складских позиций на соответствие в системе.

4) Системы хранения оборотных паллет и других производственных тар: предназначены для автоматизации складских инструментов хранения и перемещения.

Конечно, это далеко не полный список средств автоматизации, однако это те виды технологий, которые являются на сегодняшний день «стандартными» на многих предприятиях производственного сектора. Остальные же инструменты более оригинальны и имеют те специфические характеристики, которые требуются для создания конкретного вида продукции.

Заключение. В настоящее время мы подходим к концу так называемой «Индустрии 4.0», технологии которой и были озвучены в настоящей работе. Производство подошло к тому, что при желании можно заменить роботом практически любую деятельность сотрудника, но это завело в следующий логический тупик: машины не могут окончательно заменить человека ввиду его главной особенности – способности к творческому процессу. Таким образом, уже в ближайшем будущем мировое сообщество начнёт осуществлять переход к пятой промышленной революции, положение которой было уже озвучено Европейским Союзом³. Согласно Сайду Нахаванди из австралийского института исследований и инноваций в области интеллектуальных систем, она больше будет направлена не на замещение человеческого труда роботом, а на их интеграцию между собой⁴. В то время как основная проблема Индустрии 4.0 связана с автоматизацией, Индустрия 5.0 будет представлять собой синергию между людьми и автономными машинами. Следовательно, нынешние технологии станут сложнее, гибче, делаясь более проницательными и информированными о человеческих намерениях и желаниях.

³ What is Industry 5.0? // An official website of the European Union URL: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (дата обращения: 05.04.2022).

⁴ Saeid N. Industry 5.0—A Human-Centric Solution // Sustainability. - 2019

Список литературы

1. Петровский, В.С. Автоматизация технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса / В.С. Петровский. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. — 416 с.
2. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. — М.: Абрис, 2018. — 565 с
3. Цифровизация промышленности // TADVISER URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровизация_промышленности._Обзор_TAdviser (дата обращения: 05.04.2022).
4. Chanchal D., Sunit K. Industrial Automation Technologies // CRC Press. - 2020. – 347 с.
5. Saeid N. Industry 5.0—A Human-Centric Solution // Sustainability. – 2019 г.
6. What is Industry 5.0? // An official website of the European Union URL: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (дата обращения: 05.04.2022)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФОКУСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Научная статья

Гришин И.Ю.^{1*}, **Тимиргалиева Р.Р.**^{2,3}, **Садаков В.А.**⁴, **Евтушенко Е.В.**⁴, **Чупаков М.В.**⁴

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

⁴Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова, Севастополь, Россия

*Корреспондирующий автор (igrishin@sev.vsu.ru)

Аннотация

В докладе рассмотрены вопросы моделирования методов технологии фокусировки электромагнитного излучения сфокусированной системы излучателей. Рассмотрены и осуществлено моделирование основных процессов управления пространственно-временными импульсами для наиболее важных для практики случаев. Показано, что при использовании методов экстраполяции положения объекта и формирования добавки к фазовому распределению многопозиционной антенной системы для фокусировки электромагнитного излучения существенно упрощается реализация в многопозиционных системах излучателей процесса сопровождения беспилотного или пилотируемого воздушного объекта, движущегося по детерминированным траекториям.

Ключевые слова: фокусировка, электромагнитное излучение, фазированная антenna решётка, функциональное подавление и поражение, беспроводная передача электроэнергии, электромагнитное поле.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-29-06081 мк.

MATHEMATICAL MODELING OF THE FOCUSED EMITTER SYSTEM

Research article

Grishin I.Yu.^{1*}, **Timirkaleyeva R.R.**^{2,3}, **Sadakov V.A.**⁴, **Yevtushenko E.V.**⁴, **Chupakov M.V.**⁴

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

⁴Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol, Russia

*Corresponding author (igrishin@sev.vsu.ru)

Abstract

In the report, questions of modeling of methods of focusing electromagnetic radiation focused system of emitters are considered. The modeling of the basic processes of space-time impulses management for the most important for the practice of cases is considered and carried out. It is shown that when using methods for extrapolating the position of an object and forming an additive to the phase distribution of a multi-position antenna system for focusing electromagnetic radiation, the implementation of the process in multi-location systems is significantly simplified maintenance of unmanned or manned air object, moving along deterministic paths.

Keywords: focus, electromagnetic radiation, phased array, functional suppression and damage, wireless transmission of electricity, electromagnetic field.

Acknowledgements: The scientific research was carried out with the support of RFBR, project number 19-29-06081 mk.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БПЛА МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Научная статья

Гришин И.Ю.^{1*}, Тимиргалиева Р.Р.^{2,3}, Садаков В.А.⁴, Евтушенко Е.В.⁴, Чупаков М.В.⁴,
Линник И.И.², Морозова В.Г.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

⁴Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова, Севастополь, Россия

*Корреспондирующий автор (igrishin@sev.msu.ru)

Аннотация

В докладе рассмотрены вопросы создания методологии оценки потенциальной точности измерений параметров движения беспилотных летательных аппаратов в воздушном пространстве умного города. Предложена методика оценки потенциальной точности отдельными позициями локационного комплекса, включающего в себя разнородные средства измерения, а также подход к оценке корреляционной матрицы ошибок комплекса в целом. При этом предложен алгоритм определения информационной матрицы Фишера такого комплекса, которая является основой для расчёта корреляционной матрицы ошибок локационного комплекса.

Ключевые слова: измерительная позиция, многопозиционный локационный комплекс, корреляционная матрица ошибок, информационная матрица Фишера.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-29-06081 мк.

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE POTENTIAL ACCURACY OF UAV PARAMETER MEASUREMENTS BY A MULTIPLE LOCATION SYSTEM

Research article

Grishin I.Yu.^{1*}, Timirkaleyeva R.R.^{2,3}, Sadakov V.A.⁴, Yevtushenko E.V.⁴, Chupakov M.V.⁴,
Linnik I.I.², Morozova V.G.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

⁴Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol, Russia

*Corresponding author (igrishin@sev.vsu.ru)

Abstract

The report discussed issues of developing a methodology for assessing the potential accuracy of measurements of the parameters of the movement of unmanned aerial vehicles in the airspace of the smart city. The method of estimation of potential accuracy by individual positions of the location complex, including heterogeneous means of measurement, as well as an approach to assessment of correlation matrix of errors of the complex as a whole, has been proposed. In this case, an algorithm for determining the Fisher information matrix of such a complex, which is the basis for calculating the correlation matrix of errors of the location complex, is proposed.

Keywords: measuring position, multi-location complex, correlation error matrix, Fisher information matrix .

Acknowledgements: The scientific research was carried out with the support of RFBR, project number 19-29-06081 mk.

МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЕДИНИЧНЫХ ЗАМЕРОВ ПЕРВИЧНЫХ КООРДИНАТ В РЕЗУЛЬТИРУЮЩУЮ ТРАЕКТОРИЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
Научная статья

Гришин И.Ю.^{1*}, Тимиргалиева Р.Р.^{2,3}, Линник И.И.², Морозова В.Г.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

*Корреспондирующий автор (igrishin@sev.msu.ru)

Аннотация

В докладе рассмотрены вопросы применения рекуррентного фильтра Калмана и его модификаций для построения траекторий беспилотных летательных аппаратов в воздушном пространстве умного города. Предложена методика формирования объединённого замера из единичных замеров отдельны. позиций локационного комплекса, включающего в себя разнородные средства измерения. а также подход к оценке корреляционной матрицы ошибок комплекса в целом. При этом в качестве критерия оптимальности фильтра используется максимум апостериорной вероятности или минимум среднего риска (в случае симметричной функции потерь. В случае, если оценки первичных координат БПЛА разными позициями являются взаимно некоррелированными, корреляционная матрица ошибок измерений является блочно-диагональной, что позволяет разбить рекуррентный фильтр большой размерности на несколько меньшей размерности, а это позволяет значительно снизить вычислительную сложность алгоритмов обработки траекторной информации.

Ключевые слова: измерительная позиция, многопозиционный локационный комплекс, корреляционная матрица ошибок, рекуррентный фильтр.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-29-06081 мк.

METHODS FOR INTEGRATING UNIT MEASUREMENTS OF PRIMARY COORDINATES INTO THE RESULTING UNMANNED AERIAL VEHICLE TRAJECTORY
Research article

Grishin I.Yu.^{1*}, Timirgaleyeva R.R.^{2,3}, Linnik I.I.², Morozova V.G.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

*Corresponding author (igrishin@sev.vsu.ru)

Abstract

The report considers the application of the recurrent Kalman filter and its modifications for the construction of the trajectories of unmanned aerial vehicles in the airspace of the smart city. The method of forming the combined measurement from single measurements is proposed separately. positions of the location complex, including heterogeneous means of measurement. as well as an approach to the evaluation of the correlation matrix of errors of the complex as a whole.

Keywords: measuring position, multi-location complex, correlation error matrix, recurrent filter.

Acknowledgements: The scientific research was carried out with the support of RFBR, project number 19-29-06081 mk.

**МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ БПЛА С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ
МЕЖПОЗИЦИОННОГО ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЕДИНИЧНЫХ
ЗАМЕРОВ И ТРАЕКТОРИЙ**

Научная статья

Гришин И.Ю.^{1*}, Тимиргалиева Р.Р.^{2,3}, Линник И.И.², Морозова В.Г.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

*Корреспондирующий автор (igrishin@sev.msu.ru)

Аннотация

В докладе отмечается, что построение результирующей траектории БПЛА путём объединения траекторий, сформированных в каждой приёмной позиции по данным своих единичных замеров, имеет преимущество при наблюдении в пространстве, где нет высотных зданий, создающих зоны затенения для отдельных позиций локационного комплекса. Показано, что наиболее высокое качество сопровождения БПЛА обеспечивается в случае весового объединения траекторий, позволяющее адаптивно формировать весовые коэффициенты в зависимости от условий наблюдения каждой позицией. При этом построение оптимальной результирующей траектории сводится к оптимальному объединению отдельных оценок параметров траекторий в результирующую оценку вектора состояния БПЛА в прямоугольной системе координат пункта обработки информации.

Ключевые слова: измерительная позиция, многопозиционный локационный комплекс, рекуррентный фильтр, объединение замеров, объединение траекторий.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-29-06081 мк.

**METHODS FOR CONSTRUCTING UAV TRAJECTORIES TAKING INTO ACCOUNT
THE FEATURES OF THE INTER-POSITIONAL IDENTIFICATION OF UNIT
MEASUREMENTS AND TRAJECTORIES**

Research article

Grishin I.Yu.^{1*}, Timirkaleyeva R.R.^{2,3}, Linnik I.I.², Morozova V.G.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

*Corresponding author (igrishin@sev.vsu.ru)

Abstract

The report notes that the construction of the resulting UAV trajectory by combining the trajectories formed in each of the receiving positions from their unit measurements has the advantage when observing in a space where there are no high-rise buildings, creating shading zones for individual positions of the location complex. It is shown that the highest quality of UAV tracking is provided in the case of weight union of trajectories, which allows adaptively to form weights depending on the observation conditions of each position.

Keywords: measuring position, multi-positioning complex, recursion filter, integration of measurements, unification of trajectories.

Acknowledgements: The scientific research was carried out with the support of RFBR, project number 19-29-06081 mk.

МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ БПЛА, ПОСТРОЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЗИЦИЯХ АВТОНОМНО

Научная статья

Гришин И.Ю.^{1*}, Тимиргалиева Р.Р.^{2,3}, Линник И.И.², Морозова В.Г.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

³Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

*Корреспондирующий автор (igrishin@sev.msu.ru)

Аннотация

В докладе показано, что при одновременном наблюдении нескольких БПЛА многопозиционной локационной системой возникает достаточно сложная задача определения принадлежности полученных в различных позициях замеров тем или иным беспилотникам, поскольку перепутывание данных в процессе их объединения приводит к грубым ошибкам. Чтобы избежать этого, необходима операция межпозиционного отождествления данных. При этом наиболее высокое качество сопровождения БПЛА обеспечивается в случае весового объединения траекторий, позволяющее адаптивно формировать весовые коэффициенты в зависимости от условий наблюдения каждой позицией. Отождествление замеров при этом целесообразно проводить в два этапа. Рассмотрены примеры различных подходов к отождествлению замеров и траекторий.

Ключевые слова: измерительная позиция, многопозиционный локационный комплекс, рекуррентный фильтр, объединение замеров, объединение траекторий.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-29-06081 мк.

METHODS OF COMBINING UAV TRAJECTORIES, WHICH WERE BUILT IN DIFFERENT POSITIONS OF THE LOCATION COMPLEX AUTONOMOUSLY

Research article

Grishin I.Yu.^{1*}, Timirgaleyeva R.R.^{2,3}, Linnik I.I.², Morozova V.G.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

*Corresponding author (igrishin@sev.vsu.ru)

Abstract

The report shows that when multiple UAVs are observed simultaneously by a multi-position positioning system, it is quite difficult to determine the ownership of measurements taken in different positions by particular drones. Confusing the data in the process of merging results in gross errors. In this case, the highest quality of UAV tracking is provided in the case of weight unification of trajectories, which allows adaptively to form weights depending on the observation conditions of each item. It is advisable to combine the measurements in two stages. Examples of different approaches to equating measurements and trajectories are considered.

Keywords: measuring position, multi-positioning complex, recursion filter, integration of measurements, unification of trajectories.

Acknowledgements: The scientific research was carried out with the support of RFBR, project number 19-29-06081 mk.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗЬЮ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Научная статья

Егоров Н.И.

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, Россия, аспирант первого года обучения

Аннотация

В работе рассмотрена проблема низкой скорости передачи данных и малой дальности действия в современных модулях управления беспроводной связью. Исследовано разработанное автором аппаратное решение в виде модуля управления беспроводной связью, реализованное на печатной плате, а также его основные компоненты. Рассмотрена система команд, разработанная автором для создания программного обеспечения к этому решению. Разработана имитационная модель, позволяющая оценить скорость передачи данных и дальность действия данного модуля. В результате исследования данного аппаратного решения и его сравнения с аналогами был сделан вывод о том, что оно позволяет увеличить скорость передачи данных и дальность действия в два раза по сравнению с ними.

Ключевые слова: беспроводная связь, модуль управления беспроводной связью, печатная плата, скорость передачи данных, дальность действия, система команд, имитационная модель.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE WIRELESS CONTROL MODULE WITH IMPROVED CHARACTERISTICS

Research article

Egorov N.I.

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia, first-year postgraduate student

Abstract

The paper considers the problem of low data transmission speed and short range in modern wireless communication control modules. The hardware solution developed by the author in the form of a wireless communication control module implemented on a printed circuit board, as well as its main components, is investigated. The system of commands prepared by the author for creating software for this solution is considered. A simulation model has been developed that allows estimating the data transfer rate and action radius of this module. As a result of this hardware solution study and its comparison with analogues, it was concluded that it enables the twofold increase of data transmission speed and range compared to them.

Keywords: wireless communication, wireless communication control module, printed circuit board, data transmission speed, action radius, system of commands, simulation model.

Беспроводной связи посвящено большое количество исследований, результаты которых отображены, например, в статьях А.Н. Суворова «Обзор и исследование протоколов беспроводных сенсорных сетей» [7], А.Е. Борзенко «Протоколы беспроводной связи» [2], С.О. Пахомова «Протоколы беспроводных локальных сетей» [6], Ю.А. Ушакова и М.В. Ушаковой «Исследование работы беспроводных Интернет

устройств с различными протоколами ячеистой маршрутизации» [8], в кандидатских диссертациях Д.А. Дугаева «Разработка адаптивного алгоритма маршрутизации для беспроводных многоузловых сетей передачи данных» [3], Д.В. Окуневой «Разработка и исследование моделей беспроводных сенсорных сетей при неравномерном распределении узлов» [5], И.А. Богданова «Исследование потоков ложных событий в беспроводных сенсорных сетях» [1], Р.В. Киричека «Разработка и исследование комплекса моделей и методов для летающих сенсорных сетей» [4].

Существует большое количество аппаратных реализаций беспроводной связи, одной из которых являются различные модули управления беспроводной связью [10, 13]. Существующие модули управления беспроводной связью на основе различных протоколов передачи данных обладают низкой скоростью передачи данных (250 Кбит/с, 1 Мбит/с) и малой дальностью действия (менее 500 м) [10, 13].

Причиной сложившейся ситуации является отсутствие современных технических решений для реализации модулей управления беспроводной связью.

Предлагаемое решение позволит увеличить скорость передачи данных и дальность действия в 2 раза. У него есть два аналога:

1. Модуль XBee Series 2 от компании Digi International, Inc. на основе протокола ZigBee [13];
 2. Модуль CC2650MODA от компании Texas Instruments на основе протокола Bluetooth Low Energy с поддержкой протоколов ZigBee и 6LoWPAN [10].
- Их характеристики представлены в табл. 1 [10, 13].

Как видно из табл. 1, основными преимуществами модуля CC2650MODA являются низкое энергопотребление и малые габариты. Однако его существенным недостатком является низкая скорость передачи данных и малая дальность действия. Теми же недостатками обладают модули XBee Series 2.

Таблица 1

Значение характеристик модулей XBee Series 2 и CC2650MODA

Характеристика	Значение характеристик модулей XBee Series 2	Значения характеристик модуля CC2650MODA
дальность действия на открытых пространствах, м	120	300
скорость передачи данных, Мбит/с	0,25	0,25 (ZigBee, 6LoWPAN), 1 (Bluetooth Low Energy)
напряжение питания, В	2,8 - 3,4	1,8 - 3,8
рабочий ток приема/передачи данных, мА	40/40	6,2/6,8
рабочая частота, ГГц	2,4	2,4
размеры, мм х мм	24,38 x 27,61	16,9 x 11,0
рабочий диапазон температур, °C	-40 - +85	-40 - +85

Разработка аппаратного решения в виде модуля управления беспроводной связью началась с создания структурной схемы, представленной на рис. 1.

Как видно из рис. 1, основными элементами данной схемы являются:

1. Микроконтроллер для приема, обработки и передачи данных на приемопередатчик.
2. Радиочастотный модуль, который принимает данные, поступающие с микроконтроллера, и передающий их на антенну.
3. Стабилизатор напряжения для питания радиочастотного модуля.
4. Разъем RP-SMA, функционирующий в качестве антенны.

На микроконтроллер приходят данные по интерфейсу USB, а также 5 В питания. С помощью стабилизатора напряжения питание в 5 В преобразуется в питание, равное 3,3 В, и после этого преобразования подается на радиочастотный модуль. Микроконтроллер и радиочастотный модуль имеют двухстороннее

взаимодействие по интерфейсу SPI, а радиочастотный модуль соединен с антенной в виде RP-SMA разъема.

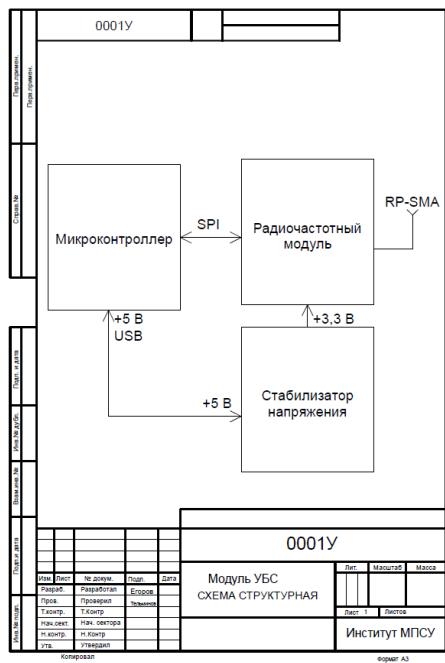


Рисунок 1. Структурная схема модуля управления беспроводной связью

Далее была разработана схема электрическая принципиальная, которая показана на рис. 2.

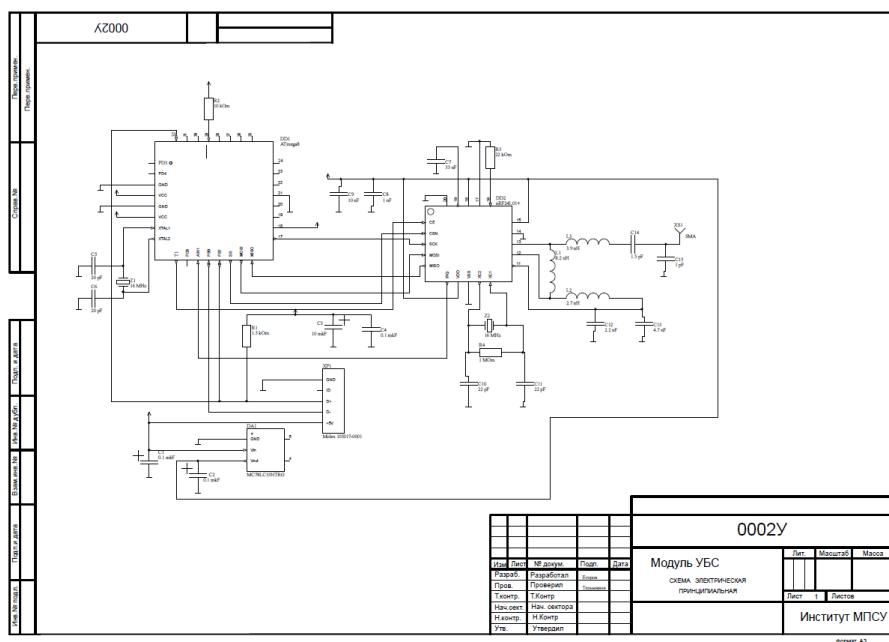


Рисунок 2. Схема электрическая принципиальная модуля управления беспроводной связью

В данной схеме в качестве микроконтроллера была выбрана микросхема ATmega8 [9] от компании Microchip Technology, так как она обладает низким энергопотреблением и малыми габаритами, а в качестве радиочастотного модуля был использован приемопередатчик nRF24L01+ [12], который поддерживает протокол Enhanced ShockBurst, а также позволяет изменять скорость передачи данных и дальность действия модуля управления беспроводной связью. Кроме того, применены Micro USB 2.0 разъем Molex 105017-0001 [14], принимающий входные данные и выполняющий роль источника питания, и стабилизатор напряжения MC78LC33NTRG, преобразующий 5 В в 3,3 В [11]. В качестве антенны вместо RP-SMA разъема задействован SMA разъем, так как для него возможно беспроводное соединение. Как показано на рис. 2, у микроконтроллера, приемопередатчика и стабилизатора есть свои обвязки по питанию.

Само решение было разработано в виде печатной платы в САПР Altium Designer версии 17.0.9 и изображено на рис. 3.

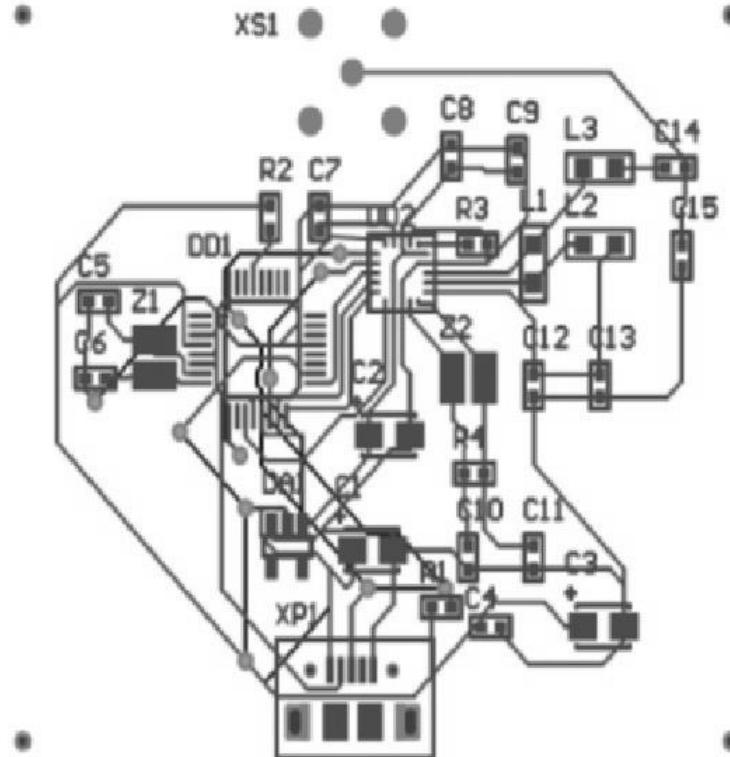


Рисунок 3. Реализация модуля управления беспроводной
связью в виде печатной платы

Так как в дальнейшем планируется разработка программного обеспечения для микроконтроллера, необходимо создать систему команд, которая будет использоваться для управления модулем. Она состоит из следующих команд:

- m 0 – переход в режим передачи данных;
- m 1 – переход в режим приема данных;
- s адрес данные – передача сообщения, содержащего адрес, состоящий из одной, двух или трех цифр, и данные, длина которых может быть от одного до 32 байт. Эти ограничения по синтаксису связаны с форматом пакета, описанным в [12, р. 28].

После разработки аппаратного решения и создания системы команд для его управления, было проведено экспериментальное исследование, направленное на оценку скорости передачи данных и дальности действия. Для него в среде AnyLogic была разработана имитационная модель, представленная на рис. 4.

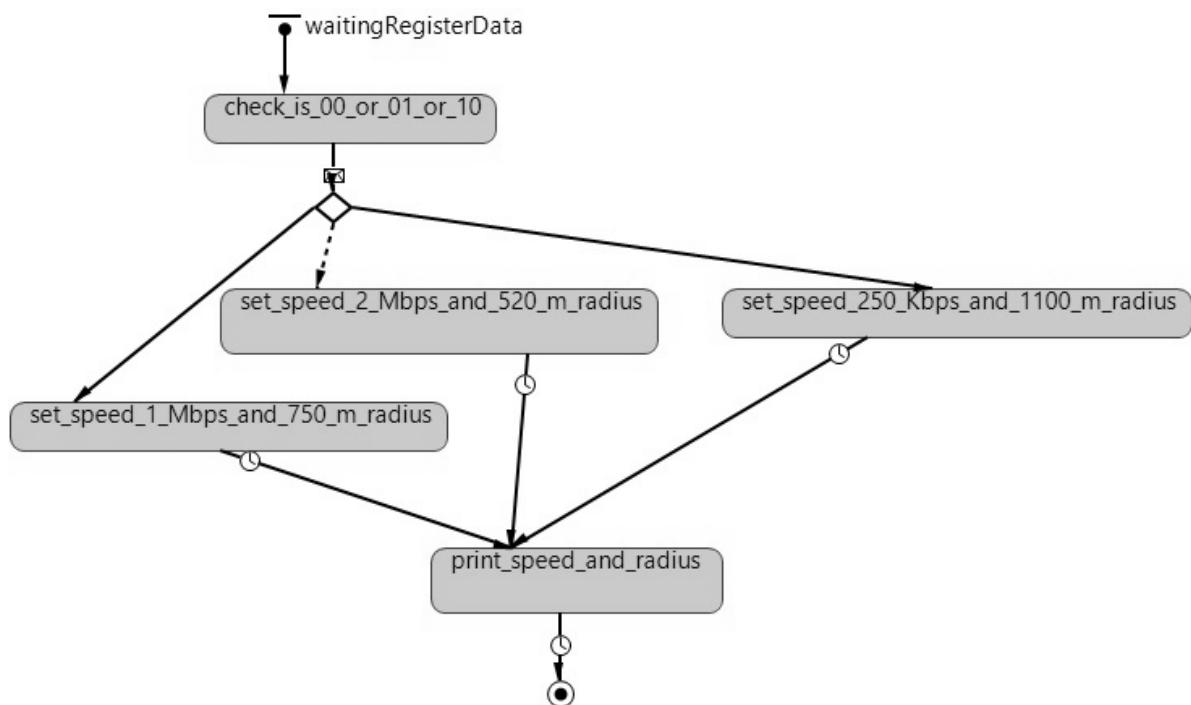


Рисунок 1. Имитационная модель для исследования
модуля управления беспроводной связью

Для сравнения был выбран модуль CC2650MODA, так как в нем есть возможность программного регулирования скорости передачи данных и дальности действия.

Результаты их сравнения представлены в табл. 2 [10].

Таблица 2

Характеристики разработанного модуля и модуля CC2650MODA

Название характеристики	Модуль управления беспроводной связью	Модуль CC2650MODA
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	2	1
Максимальная дальность действия сети, м	1100	около 300

Как видно из табл. 2, у разработанного модуля управления беспроводной связью максимальная скорость передачи данных в 2 раза больше, чем у модуля CC2650MODA, а максимальная дальность действия в 3,7 раза больше, чем у этого аналога.

Таким образом, в данной статье автором предложен модуль управления беспроводной связью, который обеспечивает увеличение скорости передачи данных и дальности действия в 2 раза по сравнению с аналогами, а также может применяться в таких сферах, как транспорт, медицинская инфраструктура, гостиничный бизнес, микроэлектроника и сотовая связь для передачи больших объемов данных. Еще одним его преимуществом по сравнению с аналогами является повышение уровня защиты данных за счет применения идентификации пакета и циклического контроля по избыточности [12, р. 28 - 30].

Список литературы:

1. Богданов И.А. Исследование потоков ложных событий в беспроводных сенсорных сетях: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.13. – Санкт-Петербург, 2016. – 118 с.
2. Борзенко А.Е. Протоколы беспроводной связи // itWeek. – 2000. – № 12 (234). – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=53971> (дата обращения 04.04.2022).
3. Дугаев Д.А. Разработка адаптивного алгоритма маршрутизации для беспроводных многоузловых сетей передачи данных: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.13. – Новосибирск, 2017. – 137 с.
4. Киричек Р.В. Разработка и исследование комплекса моделей и методов для летающих сенсорных сетей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.13. – Санкт-Петербург, 2017. – 316 с.
5. Окунева Д.В. Разработка и исследование моделей беспроводных сенсорных сетей при неравномерном распределении узлов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.13. – Санкт-Петербург, 2017. – 159 с.
6. Пахомов С.О. Протоколы беспроводных локальных сетей // КомпьютерПресс. – 2004. – № 5. – Режим доступа: <https://compress.ru/article.aspx?id=10782> (дата обращения 04.04.2022).
7. Суворов А.Н. Обзор и исследование протоколов беспроводных сенсорных сетей // Молодой ученый. – 2019. – № 18. – С. 101-104.
8. Ушаков Ю.А. Исследование работы беспроводных Интернет-устройств с различными протоколами ячеистой маршрутизации // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 686-691.

9. Atmel. 8-bit Atmel with 8KBytes In-System Programmable Flash.
ATmega8, ATmega8L // URL:
<https://www.rlocman.ru/datasheet/pdf.html?di=149283> (date of access 05.04.2022).
10. CC2650MODA SimpleLink Bluetooth low energy Wireless MCU Module // URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2650moda.pdf> (date of access 06.04.2022).
11. MC78LC00 Series Micropower Voltage Regulator // URL:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12353/ONSEMI/MC78LC33NTRG.html> (date of access 06.04.2022).
12. nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0 // URL: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/NRF24L01+-Datasheet-Nordic-906332> (date of access 05.04.2022).
13. XBee Series 2 OEM RF Modules // URL:
<https://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf> (date of access 06.04.2022).
14. 105017-0001 Datasheet // URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/387376/MOLEX11/105017-0001.html> (date of access 06.04.2022).

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПЬЕЗОПРОТЕИНОВ И СЕТЕЙ БЕЛОК-БЕЛКОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ У ЖИВОТНЫХ TRICHOPLAX (PLACOZOA)

Научная статья

Кузнецов А. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»,
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, РФ

Аннотация.

Морской свободноживущий организм трихоплакс (тип Пластинчатые) напоминает по форме и типу движения одноклеточную амёбу. Трихоплакс отделился от основного древа эволюции в неопротерозойскую эру [Erwin, 2015] и является простейшей моделью многоклеточного животного [Neff, 2018], а также наглядным примером взаимодействия ансамбля клеток в едином организме при его развитии и движении [Kuznetsov et al., 2021]. В геномах трихоплаксов *Trichoplax adhaerens* (гаплотип H1) и *Trichoplax* sp. H2 (гаплотип H2) идентифицированы по одному гену, кодирующему пьезопротеины. Построены пространственные модели соответствующих белков XP_002112008.1 и RDD46920.1, установлена связь с другими белками. Предполагается участие mechanosensorных рецепторов в функционировании животного для осуществления обратной связи в ответ на силовые воздействия окружающей среды и соседних клеток. Полученные данные позволяют говорить о древнем происхождении пьезопротеинов и соответствующей сети протеин-протеиновых взаимодействий.

Ключевые слова: пьезопротеины, mechanotransduction, протеин-протеиновые взаимодействия, Placozoa

COMPUTER MODELS OF PIEZOPROTEINS AND NETWORKS OF PROTEIN-PROTEIN INTERACTIONS IN TRICHOPLAX (PLACOZOA) ANIMALS

Research article

Kuznetsov A.V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Sevastopol, Russian Federation,
Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The marine free-living organism Trichoplax (phylum Placozoa) resembles the unicellular amoeba in shape and type of movement. Trichoplax *diverged from the main evolutionary tree* in the Neoproterozoic Era [Erwin, 2015] and is the simplest model of a multicellular animal [Neff, 2018], as well as a strong example of the ensemble of interacting cells in an organism during its development and movement [Kuznetsov et al., 2021]. Genes encoding piezoproteins were identified in the genomes of *Trichoplax adhaerens* (haplotype H1) and *Trichoplax* sp. H2 (haplotype H2). Spatial models of the corresponding proteins XP_002112008.1 and RDD46920.1 were constructed, and relationship with other proteins was established. It is assumed that mechanosensory receptors are involved in the activity of the animal to provide feedback in response to the force effects of the environment and neighboring cells. The data obtained suggest an ancient origin of piezoproteins and the corresponding network of protein-protein interactions.

Keywords: piezoproteins, mechanotransduction, protein-protein interactions, Placozoa

Механотрансдукция – это преобразование механических сил в биологические сигналы, представляющее собой цепь молекулярных событий, в результате чего организму сообщаются

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта», 14-22 апреля 2022 года, г. Севастополь

данные о механических особенностях микроокружения [Niethammer, 2021]. Предполагается, что механотрансдукция возникла в результате адаптации прокариот к условиям гравитации на ранних этапах эволюции [Fajardo-Cavazos, Nicholson, 2021]. Однако этот процесс особенно востребован у многоклеточных животных для контроля межклеточных взаимодействий [Jin et al., 2020]. Механотрансдукция вовлечена во многие процессы, включая эмбриональное развитие, неоплазию, регуляцию сосудистого тонуса, контроль натяжения мышц и сухожилий, а также участвует в сенсорном восприятии, как осязание, боль, слух и проприоцепция [Marshall, Lumpkin, 2012]. В качестве ключевых механосенсоров внимание исследователей привлекают механически активируемые ионные каналы, которые преобразуют механические стимулы в биологические реакции путём деполяризации клеточных мембран или запуска механизма кальциевой сигнализации [Jin et al., 2020]. Следует отметить, что регуляция внутриклеточной концентрации ионов кальция является ключевым фактором в процессе передачи сигналов в клетке [Clapham, 2007], а механочувствительные ионные каналы были обнаружены в организмах от бактерий до млекопитающих [Perozo, 2006; Arnadóttir, Chalfie, 2010].

Механически чувствительные ионные каналы опосредуют огромное количество разных ощущений. Тем не менее, до недавнего времени молекулярная природа механорецепторов оставалась в тени. Теперь известно, что млекопитающие экспрессируют целый ряд механически чувствительных ионных каналов, включая TRP-каналы переходного рецепторного потенциала (transient receptor potential) и Piezo-протеины [Earley et al., 2022]. TRP-каналы играют важную роль в регулировании внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} в невозбудимых клетках и активируются полимодально разными механическими стимулами, включая упругость субстрата, динамическую деформацию и набухание клеток [Du et al., 2021]. Гены семейства *PIEZO*, включая *PIEZ01* и *PIEZ02*, кодируют субъединицы тримерных порообразующих катионных (Ca^{2+}) каналов со сравнительно быстрой кинетикой инактивации. Сенсоры *Piezo1* и *Piezo2* активируются при различных видах механической стимуляции, включая растяжение, сжатие, напряжение сдвига и изгиб субстрата [Coste et al., 2010]. Белок *Piezo1* в отличие от *Piezo2* встречается чаще в возбудимых тканях [Fang et al., 2021].

Как механически чувствительные ионные каналы преобразуют силовые воздействия в стробирование оставалось загадкой до того, как в 2010 году Косте с соавторами открыли новое семейство механически активируемых катионных каналов у эукариот. Протеины *Piezo1* и *Piezo2* имеют уникальную пропеллерообразную архитектуру и вовлечены в такие процессы, как ощущение прикосновения, оценка равновесия и регуляция кровеносного давления [Coste et al., 2010]. Эти каналы могут взаимодействовать прямо или косвенно с другими известными

или неизвестными белками для регулирования клеточной механотрансдукции, что создаёт определённые сложности при их изучении [Barzegari et al., 2020].

Пьезопротеины – это необычайно большие интегральные белки длиной около 2500 аминокислотных остатков, включающие от 10 до 40 трансмембранных доменов [Coste et al., 2010]. Молекулярная структура пьезоканала была изучена с помощью криоэлектронной микроскопии [Ge et al., 2015]. Так, механочувствительный канал мыши mPiezo1 имеет гомотримерную структуру, которая включает центральный колпачок, три периферические лопастеподобные части на внеклеточной стороне, три длинных α -спирали (луча) со стороны цитоплазмы клетки, которые соединяют лопасти с колпачком, и трансмембранный область между этими элементами (рис. 1). Белок mPiezo1 является эволюционно консервативным порообразующим ионным каналом, который открывается при растяжении клеточной мембраны [Coste et al., 2012, 2015; Syeda et al., 2016].

Рис. 1. Структура тримера порообразующего Ca^{2+} -канала мыши mPiezo1, а) вид сверху из межклеточного пространства на поверхность клетки, б) вид сбоку вдоль клеточной мембраны, в) вид снизу изнутри клетки на цитоплазматическую мембрану [Fang et al., 2021, с изменениями]

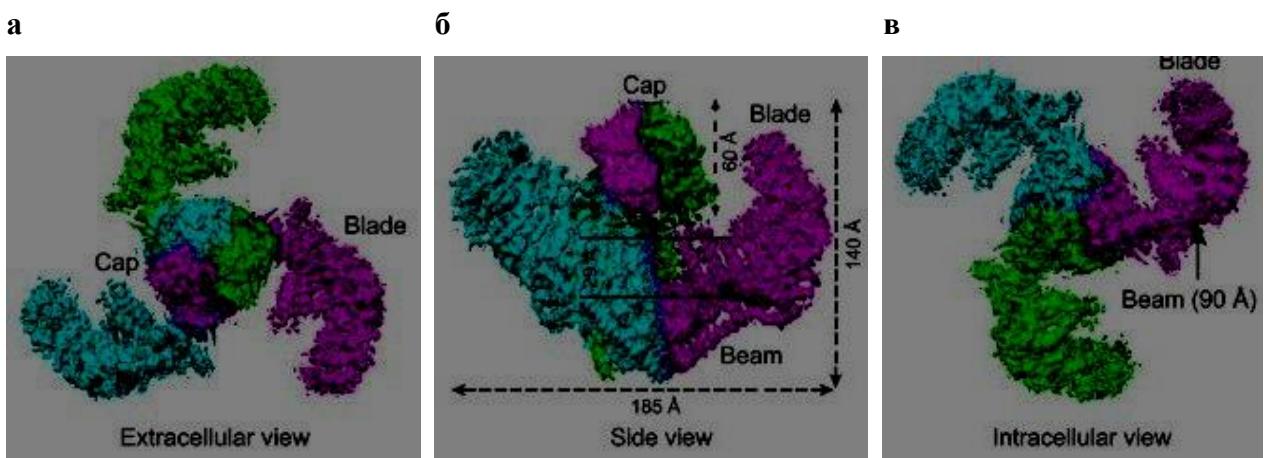


Рисунок 1. Структура тримера порообразующего Ca^{2+} -канала мыши mPiezo1

Трихоплакс (тип Placozoa, Пластинчатые) является простейшим многоклеточным животным [Syed, Schierwater, 2002] с известным геномом [Srivastava et al., 2008; Kamm et al., 2018], что позволяет привлекать методы биоинформатики. Животное похоже на амёбу, имеет размер до 1-2 мм и содержит до 50 тысяч клеток, образующих три слоя [Smith et al., 2014]. У трихоплакса отсутствуют нервные и мышечные клетки [Smith et al., 2014]. Локомоция животного осуществляется за счёт биения ресничек и амёбообразного изгиба тела [Wenderoth, 1990; Armon et al., 2018]. Животные коммуницируют между собой с помощью низкомолекулярных медиаторов [Kuznetsov et al., 2020], а клетки связаны друг с другом с помощью белков клеточной адгезии, взаимодействие между которыми легко нарушить [Kuznetsov et al., 2021]. На основе исследования трихоплаксов с помощью цейтраферной съёмки, предложены математические модели его движения [Ueda et al., 1999; Armon et al., 2018; Smith et al., 2019]. В силу того, что при перемещении трихоплакс напоминает амёбу (Рис. 2), демонстрируя

существование сложных механизмов межклеточного взаимодействия и интеграции, логично предположить участие механосенсорных протеинов в его движении. Кроме того, элементарное строение этого базального организма предполагает использовать его для, понимания основы процессов mechanотрансдукции и поиска новых стратегий лечения нарушений механочувствительности у человека. Данная работа посвящена изучению пьезорецепторов трихоплаксов *Trichoplax adhaerens* (гаплотип H1) и *Trichoplax* sp. H2 (гаплотип H2) методами биоинформатики.



Рисунок 2. *Trichoplax* sp. H2 на разных фазах движения,
интервал 10 сек, увеличение 400 раз

Материалы и методы

Культуры трихоплаксов *T. adhaerens* (гаплотип H1) и *Trichoplax* sp. H2 (гаплотип H2) поддерживали в лаборатории при 24-25 °C на матах одноклеточной зелёной водоросли *Tetraselmis marina*. Искусственную морскую воду (3,6%, Red Sea Salt, Israel) меняли каждые 5-7 дней, трихоплаксов пересаживали на свежий мат через 3-5 недель. Значение pH сохранялось в диапазоне 7,8-8,0. Животных фотографировали и снимали на видео под микроскопом Nikon Eclipse Ts2R (Japan), оборудованном цифровой камерой.

Поиск 3D-структур белков проводили в базе данных PDB – Protein Data Bank [Velankar et al., 2021].

Аминокислотные последовательности пьезопротеинов трихоплаксов *T. adhaerens* и *Trichoplax* sp. H2 были найдены в базе данных NCBI – National Center for Biotechnology Information с помощью программы BLAST [Altschul et al., 1990].

Анализ доменной структуры белков осуществляли на Pfam 35.0 сервере [Mistry et al., 2021], интерактивность доменов анализировали как описано в [Barzegari et al., 2020; Szklarczyk et al., 2021].

Построение пространственных моделей механорецепторов делали на Phyre2-сервере методом сравнения гомологичных аминокислотных последовательностей с известными пространственными структурами протеинов. Оценивали достоверность и степень покрытия исследуемых последовательностей [Kelley et al., 2015].

Визуализацию молекулярных структур выполняли с использованием программы RasMol [Sayle, Milner-White, 1995].

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта», 14-22 апреля 2022 года, г. Севастополь

Результаты и обсуждение

В основу поиска по исходной матрице положили аминокислотную последовательность длиной 2171 аа и координаты атомов Piezo1 мыши (6b3r) в закрытой конформации с разрешением 3,7 Å [Guo, MacKinnon, 2017]. Канал представляет собой трискелион с рукавами, состоящими из повторяющихся трансмембранных доменов 4-TM, окружающих пору (Рис. 3а). Его форма локально деформирует мембрану в перевёрнутый купол, растяжение которой ведёт к уменьшению высоты купола и открытию канала.

При использовании процедуры BLASTP в геномах *T. adhaerens* и *Trichoplax* sp. H2 были найдены протеины XP_002112008 (2171 аа) и RDD46920.1 (2443 аа) с очень низкой вероятностью случайного совпадения E_{value} равной $2e^{-100}$ и $3e^{-100}$, соответственно. Результаты отражены в Таб. 1. Перекрывание с матрицей запроса составило 41 и 71%, соответственно, с одинаковой идентичностью равной 39,87%.

Таблица 1

Результаты поиска механосенсоров в геномах трихоплаксов *T. adhaerens* и *Trichoplax* sp. H2 по аминокислотной последовательности Piezo1 мыши (6b3r)

Описание	Идентификатор	Источник	Оценочное значение	Покрытие запроса, %	Идентичность, %
гипотетический белок TRIADDRAFT_55613	XP_002112008.1	<i>Trichoplax adhaerens</i>	$2e^{-100}$	41	39,87
Piezo1-ионный канал RDD46920.1	RDD46920.1	<i>Trichoplax</i> sp. H2	$3e^{-100}$	71	39,87

Белок RDD46920.1 представляет собой аннотированный mechanочувствительный ионный канал *Trichoplax* sp. H2 [Kamm et al., 2018], тогда как протеин XP_002112008.1 был ранее описан как гипотетический белок TRIADDRAFT_55613 *T. adhaerens* [Srivastava et al., 2008] и требует дальнейшей аннотации.

Результат сравнения идентифицированных белков показывает, что оба протеина имеют очень высокую степень гомологии, за исключением нескольких делеций и вставок в аминокислотных последовательностях, что указывает на возможные моды эволюции пьезопротеинов и видовые отличия между гаплотипами H1 и H2. Так, протеин XP_002112008.1 имеет в своём составе 3 продолжительные делеции, тогда как протеин RDD46920.1 урезан на терминальном С-конце (Пр. 1).

Извлечённые из баз данных аминокислотные последовательности XP_002112008.1 и RDD46920.1 были использованы для создания пространственных моделей соответствующих протеинов.

Таблица 2

Результаты построения 3D-моделей протеинов XP_002112008.1 и RDD46920.1

Модель	Протеин	Матрица сравнения	Доверительность, %	Покрытие, %	Число остатков, aa
1	XP_002112008.1	6kg7	100 / >90	74 / 82	1613 / 1777
2	RDD4692 0.1	6kg7	100 / >90	73 / 79	1929 / 1929
Примечание: данные для одного шаблона / данные для нескольких шаблонов					

Обе модели, 1 и 2 (Таб. 2), построены с 100% доверительностью и основаны на шаблоне 6kg7, который представляет механочувствительный канал млекопитающих Piezo2 [Wang et al., 2019]. Модель 1 охватывает 1613 аминокислотных остатков, что составляет 74% длины последовательности белка XP_002112008.1. В дополнение, 1777 остатков (82%) могут быть смоделированы с достоверностью >90% с использованием нескольких шаблонов, которые накрывают другие области последовательности. Модель 2 покрывает 1929 остатков, что составляет 73% длины белка RDD46920.1. В общей сложности 1929 аминокислотных остатков (79%) могут быть смоделированы с достоверностью >90% при использовании нескольких шаблонов. Конечные результаты 3D-моделирования представлены на Рис. 3б, в.

Рис. 3. Пространственная структура канала 6b3г мыши и 3D-модели белков XP_002112008.1 и RDD46920.1 трихоплакса, (а) пример механочувствительного канала Piezo1 мыши (6b3г) в закрытой конформации, (б) модель мономера XP_002112008.1 из *T. adhaerens*, (в) модель мономера RDD46920.1 из *Trichoplax* sp. H2; вид снизу (а), вид сверху (б, в), субъединицы отмечены разными цветами (а), спектральная окраска от N- к C-концу одной субъединицы (б, в)

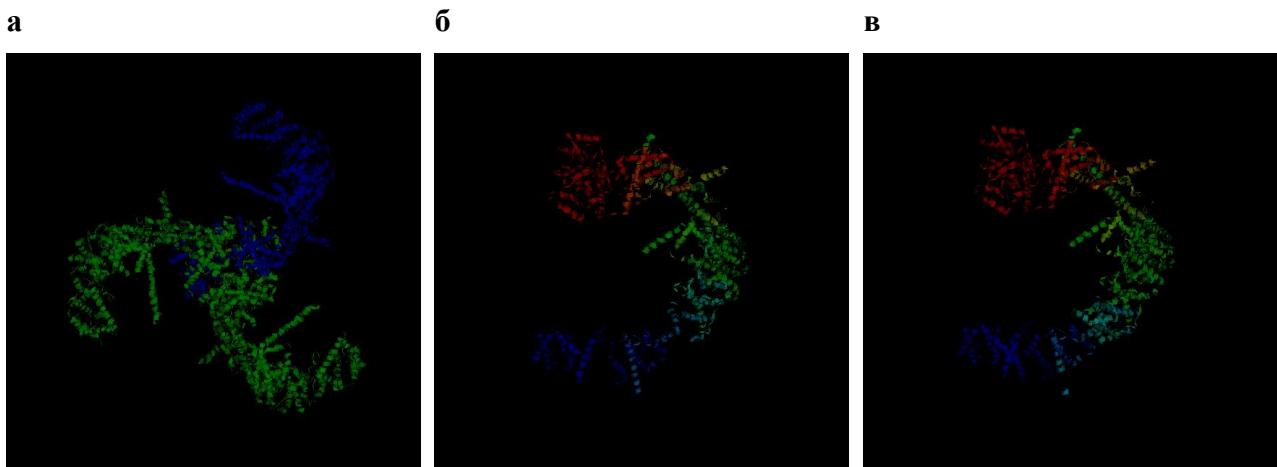


Рисунок 3. Пространственная структура канала 6b3r мыши и 3D-модели белков XP_002112008.1 и RDD46920.1 трихоплакса,

Дополнительно показано, что протеин XP_002112008.1 (TriadP55613) из *T. adhaerens* имеет гомологов с приемлемым бит-счётом выравнивания среди механочувствительных каналов типа Piezo1 в кишечнодышащем желудёвом черве *Saccoglossus kowalevskii* (943,7), тибетской ложносойке *Pseudopodoces humilis* (810,4), китайском аллигаторе *Alligator sinensis* (809,7) и других животных. TriadP55613 длиной 2171 аа состоит из 17 трансмембранных доменов на участке 5-929 и Piezo-домена в положении 932-1056.

Анализ протеин-протеиновых взаимодействий выявил, что белок TriadP55613 связан функциональными отношениями с 10 другими протеинами (Рис. 4а).

Рис. 4. Сеть протеин-протеиновых взаимодействий гипотетического механосенсора XP_002112008.1 (TriadP55613) *T. adhaerens* первого (а) и второго (б) порядка, цвет демонстрирует иерархию узлов, толщина рёбер графа – количество связей между протеинами.

Из них белок TriadP55845 (400 аа) включает PHB-домен (prohibitin homologues), характерный для мембраносвязанных протеинов, который обеспечивает взаимодействие с липидами и способность собираться в олигомеры, образующие мембраносвязанные скаффолды, а также содержит SCP2-домен, который участвует в связывании стеролов.

Протеин TriadP63632 (798 аа) состоит из 5 трансмембранных доменов и расположенным между последними двумя из них TMC-доменом, сходным с трансмембранным каналоподобным белком EVIN2 (Q8IU68), который может быть модификатором ионных каналов или транспортёров.

Маленький мембранный белок TriadP63487 (304 aa) имеет один трансмембранный домен и один типичный РНВ-домен.

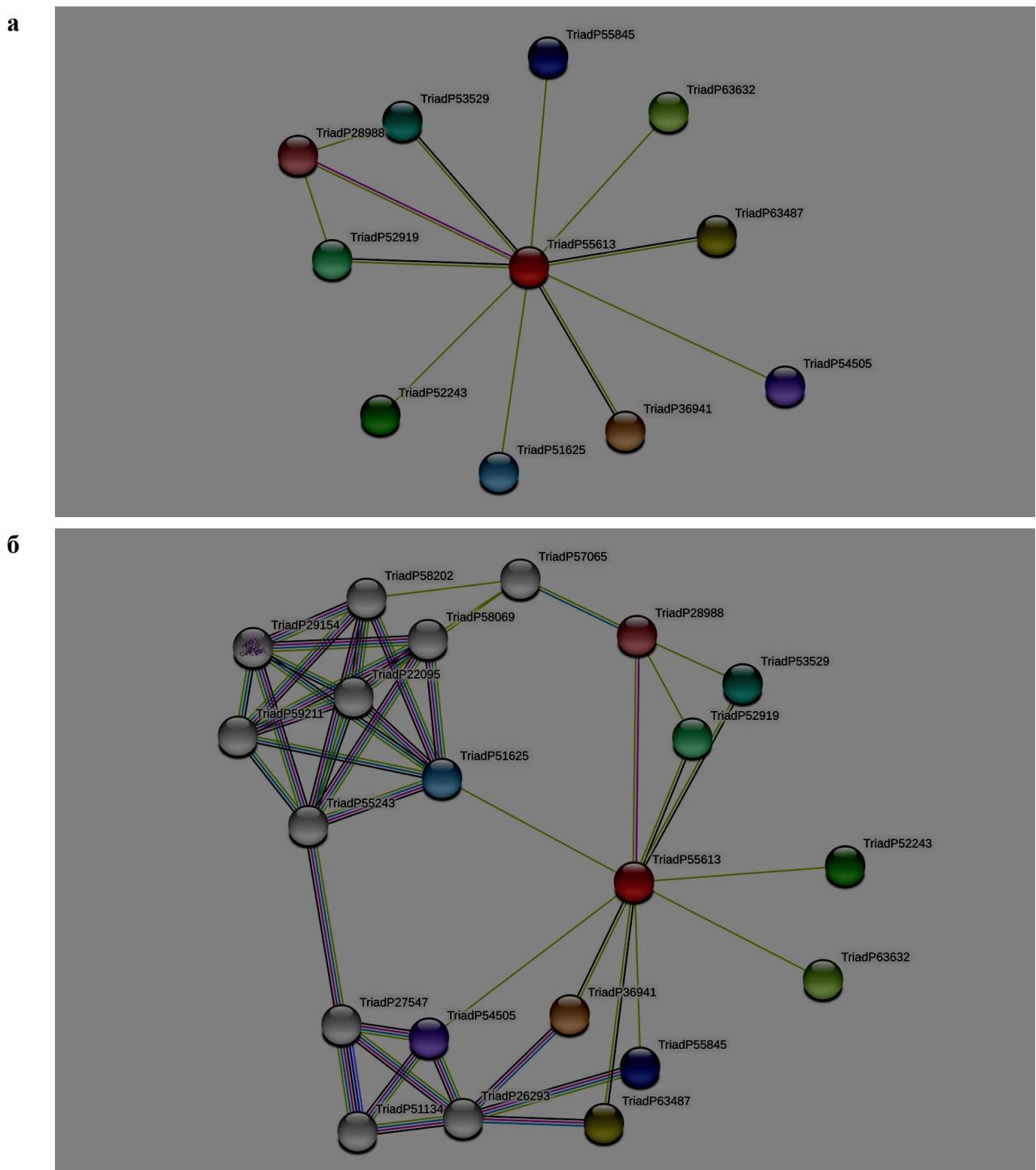


Рисунок 4. Сеть протеин-протеиновых взаимодействий гипотетического механосенсора XP_002112008.1 (TriadP55613) *T. Adhaerens*

Большой протеин TriadP54505 (1038 aa) содержит в своём составе классический домен цинковые пальцы ZnF_C2H2, который является наиболее распространенным ДНК-связывающим мотивом; DSP-домен, фосфорилирующий тирозин в процессе посттрансляционной модификации белков; PTEN_C2, являющийся C2 доменом белка-супрессора опухолей PTEN в форме греческого ключа, который важен в связывании с мембраной; и классический SH2-домен (Src homology 2), который связывает фосфотирозин-содержащие полипептиды-регуляторы.

Простой мембраннысвязанный протеин TriadP36941 (269 aa) с единственным РНВ-доменом.

Белок TriadP51625 (1149 aa) включает три последовательных протяжённых α -спиральных участка и три следующих друг за другом SAM-домена (Sterile Alpha Motif), которые широко распространены в сигнальных и ядерных белках и, по-видимому, опосредует трансдуцию сигнала клетка-клетка.

Самый маленький белок TriadP52243 (298 aa) содержит два предполагаемых РНК-связывающих RRM-домена.

Простой белок TriadP28988 (449 aa) содержит один ионпроводящий домен, который присутствует в натриевых, калиевых и кальциевых ионных каналах. Данный домен включает 6 трансмембранных α -спиралей, где последние две спирали фланкируют петлю, определяющую ионную селективность. Протеин TriadP28988 взаимодействует помимо пьезосенсора TriadP55613 с двумя соседями TriadP52919 (244 aa) и TriadP53529 (517 aa), которые также имеют по одному ионпроводящему домену.

Скалирование сети протеин-протеиновых взаимодействий показало, что белки TriadP54505 и TriadP51625 дают начало отдельным кластерам с 4 и 8 узлами, соответственно (Рис. 46). Причём, протеины TriadP36941, TriadP55845 и TriadP63487 контактируют со сложным белком TriadP26293 (1023 aa), который имеет такие домены, как PI3K_p85B, PI3K_rbd, PI3Ka и PI3Kc, где PI3K обозначает фосфатидилинозитол-3-киназу, а также включает Ca^{2+} -связывающий мотив C2, который располагается между PI3K_rbd и PI3Ka доменами белка TriadP26293. Дальнейшее скалирование приводит к ещё большему обособлению двух кластеров и к размыванию третьего кластера, т.е. масштабирование не изменяет структуру сети (small-world and scale-free данные не приводятся), что характерно для биологических систем, которые обладают устойчивостью, динамичностью, модульностью и самосохранением [Grigorov, 2005].

Напомним, что механочувствительные каналы представляют собой специализированный тип mechanотрансдукторов, которые могут быстро реагировать на изменения механических стимулов [Ranade et al., 2015]. Удивительным кажется то, что в обоих геномах трихоплаксов H1 и H2 [Srivastava et al., 2008; Kamm et al., 2018] обнаружены лишь по одному пьезопротеину: XP_002112008.1 и RDD46920.1, соответственно, в то время как, в *Trichoplax* sp. H2 находится до 18 гомологов катионных TRP-каналов (неопубликованные данные). Результаты также указывают на взаимодействие между TRP- и Piezo-протеинами, что ещё усложняет представление о сети mechanотрансдукции. Получается, что возникло много новых вопросов. Например, почему протеин RDD46920.1, аннотированный как ионный канал типа Piezo1 [Kamm et al., 2018], лучше всего моделируется с помощью тактильного рецептора млекопитающих 6kg7 [Wang et al., 2019], который представляет собой канал типа Piezo2. Обладают ли Piezo1 и Piezo2 сходными структурами и механизмами mechanорецепции, остаётся неизвестным.

В целом можно отметить, что функциональные домены большинства протеинов в исследованной сети белковых взаимодействий обеспечивают работу полипептидного комплекса в составе липидной мембраны, однако часть белковых взаимодействий направлена на распространение трансдуцирующего сигнала внутрь клетки к ядерной ДНК, а также, возможно, вовлечена в сложную РНК-регуляцию. Разветвлённая сеть протеин-протеин, протеин-ДНК и протеин-РНК взаимодействий может напоминать многослойный перцептрон [Scheres, van der Putten, 2017] и обладать уровнем сложности необходимой для решения нетривиальных задач обучения и распознавания образов [Timsit, Grégoire, 2021]. Полученные данные показывают, что многоклеточный организм, не имеющий канонической нервной системы, способен эффективно обходиться без неё за счёт обширного межклеточного взаимодействия и потока сигналов от молекулярных сенсоров к мельчайшим актуаторам, который дополнен многочисленными обратными связями.

Таким, образом, пьезобелки, как ионные каналы, активируемые натяжением мембранны и механическими сигналами, играют важную роль в протеин-протеиновых взаимодействиях. С момента их открытия в качестве механосенсорных трансдукционных молекул, исследования Piezo-белков выявили множество новых функций, которые специфичны для больших континуумов клеток. Будет интересно разгадать необычные миссии этих протеинов, связанные с механикой клеток, возникновением многоклеточности, а также развитием и дифференцировкой организмов.

Благодарности

Автор благодарит проф. Graciela Pavon-Djavid (Laboratoire de Recherche Vasculaire Translationnelle, Institut Galilée, Université Sorbonne Paris Nord , France) за предоставленные литературные источники, студентов Вайнера В.И. и Волкову Ю.М. за помощь при работе с трихоплаксами, аспирантов Халаимову А.В. и Уфимцеву М.Н. за обсуждение рукописи. Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации по Постановлению № 220 (договор № 14.W03.31.0015 от 28.02.2017).

Список литературы

1. Altschul SF, Gish W, Miller W, Myers EW, Lipman DJ. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol.* 1990 Oct 5;215(3):403-10. doi: 10.1016/S0022-2836(05)80360-2.
2. Armon S, Bull MS, Aranda-Diaz A, Prakash M. Ultrafast epithelial contractions provide insights into contraction speed limits and tissue integrity. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018 Oct 30;115(44):E10333-E10341. doi: 10.1073/pnas.1802934115.
3. Arnadóttir J, Chalfie M. Eukaryotic mechanosensitive channels. *Annu Rev Biophys.* 2010;39:111-37. doi: 10.1146/annurev.biophys.37.032807.125836.
4. Barzegari A, Omidi Y, Ostadrahimi A, Gueguen V, Meddahi-Pellé A, Nouri M, Pavon-Djavid G. The role of Piezo proteins and cellular mechanosensing in tuning the fate of transplanted stem cells. *Cell Tissue Res.* 2020 Jul;381(1):1-12. doi: 10.1007/s00441-020-03191-z.
5. Clapham DE. Calcium signaling. *Cell.* 2007 Dec 14;131(6):1047-58. doi: 10.1016/j.cell.2007.11.028.
6. Coste B, Mathur J, Schmidt M, Earley TJ, Ranade S, Petrus MJ, Dubin AE, Patapoutian A. Piezo1 and Piezo2 are essential components of distinct mechanically activated cation channels. *Science.* 2010 Oct 1;330(6000):55-60. doi: 10.1126/science.1193270.
7. Coste B, Murthy SE, Mathur J, Schmidt M, Mechtioukhi Y, Delmas P, Patapoutian A. Piezo1 ion channel pore properties are dictated by C-terminal region. *Nat Commun.* 2015 May 26;6:7223. doi: 10.1038/ncomms8223.

8. Coste B, Xiao B, Santos JS, Syeda R, Grandl J, Spencer KS, Kim SE, Schmidt M, Mathur J, Dubin AE, Montal M, Patapoutian A. Piezo proteins are pore-forming subunits of mechanically activated channels. *Nature*. 2012 Feb 19;483(7388):176-81. doi: 10.1038/nature10812.
9. Du G, Chen W, Li L, Zhang Q. The potential role of mechanosensitive ion channels in substrate stiffness-regulated Ca²⁺ response in chondrocytes. *Connect Tissue Res*. 2021 Nov 23;1-10. doi: 10.1080/03008207.2021.2007902.
10. Earley S, Santana LF, Lederer WJ. The physiological sensor channels TRP and piezo: Nobel Prize in Physiology or Medicine 2021. *Physiol Rev*. 2022 Apr 1;102(2):1153-1158. doi: 10.1152/physrev.00057.2021.
11. Erwin DH. Early metazoan life: divergence, environment and ecology. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2015 Dec 19;370(1684):20150036. doi: 10.1098/rstb.2015.0036.
12. Fajardo-Cavazos P, Nicholson WL. Mechanotransduction in Prokaryotes: A Possible Mechanism of Spaceflight Adaptation. *Life (Basel)*. 2021 Jan 7;11(1):33. doi: 10.3390/life11010033.
13. Fang XZ, Zhou T, Xu JQ, Wang YX, Sun MM, He YJ, Pan SW, Xiong W, Peng ZK, Gao XH, Shang Y. Structure, kinetic properties and biological function of mechanosensitive Piezo channels. *Cell Biosci*. 2021 Jan 9;11(1):13. doi: 10.1186/s13578-020-00522-z.
14. Ge J, Li W, Zhao Q, Li N, Chen M, Zhi P, Li R, Gao N, Xiao B, Yang M. Architecture of the mammalian mechanosensitive Piezo1 channel. *Nature*. 2015 Nov 5;527(7576):64-9. doi: 10.1038/nature15247.
15. Grigorov MG. Global properties of biological networks. *Drug Discov Today*. 2005 Mar 1;10(5):365-72. doi: 10.1016/S1359-6446(05)03369-6.
16. Guo YR, MacKinnon R. Structure-based membrane dome mechanism for Piezo mechanosensitivity. *Elife*. 2017 Dec 12;6:e33660. doi: 10.7554/eLife.33660.

17. Jin P, Jan LY, Jan YN. Mechanosensitive Ion Channels: Structural Features Relevant to Mechanotransduction Mechanisms. *Annu Rev Neurosci*. 2020 Jul 8;43:207-229. doi: 10.1146/annurev-neuro-070918-050509.
18. Kamm K, Osigus HJ, Stadler PF, DeSalle R, Schierwater B. Trichoplax genomes reveal profound admixture and suggest stable wild populations without bisexual reproduction. *Sci Rep*. 2018 Jul 24;8(1):11168. doi: 10.1038/s41598-018-29400-y.
19. Kelley LA, Mezulis S, Yates CM, Wass MN, Sternberg MJ. The Phyre2 web portal for protein modeling, prediction and analysis. *Nat Protoc*. 2015 Jun;10(6):845-58. doi: 10.1038/nprot.2015.053.
20. Kuznetsov AV, Halaimova AV, Ufimtseva MA, Chelebieva ES. Blocking a chemical communication between Trichoplax organisms leads to their disorderly movement. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 2020 Apr 5;35(4):473-482. doi: 10.1080/17445760.2020.1753188.
21. Kuznetsov AV, Vainer VI, Volkova YM, Kartashov LE. Motility disorders and disintegration into separate cells of Trichoplax sp. H2 in the presence of Zn²⁺ ions and L-cysteine molecules: A systems approach. *Biosystems*. 2021 Aug;206:104444. doi: 10.1016/j.biosystems.2021.104444.
22. Marshall KL, Lumpkin EA. The molecular basis of mechanosensory transduction. *Adv Exp Med Biol*. 2012;739:142-55. doi: 10.1007/978-1-4614-1704-0_9.
23. Mistry J, Chuguransky S, Williams L, Qureshi M, Salazar GA, Sonnhammer ELL, Tosatto SCE, Paladin L, Raj S, Richardson LJ, Finn RD, Bateman A. Pfam: The protein families database in 2021. *Nucleic Acids Res*. 2021 Jan 8;49(D1):D412-D419. doi: 10.1093/nar/gkaa913.
24. Neff EP. What is a lab animal? *Lab Anim (NY)*. 2018 Sep;47(9):223-227. doi: 10.1038/s41684-018-0135-3.

25. Niethammer P. Components and Mechanisms of Nuclear Mechanotransduction. *Annu Rev Cell Dev Biol.* 2021 Oct 6;37:233-256. doi: 10.1146/annurev-cellbio-120319-030049.
26. Perozo E. Gating prokaryotic mechanosensitive channels. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2006 Feb;7(2):109-19. doi: 10.1038/nrm1833.
27. Ranade SS, Syeda R, Patapoutian A. Mechanically Activated Ion Channels. *Neuron.* 2015 Sep 23;87(6):1162-1179. doi: 10.1016/j.neuron.2015.08.032.
28. Sayle R, Milner-White EJ. RasMol: Biomolecular graphics for all. *Trends Biochem Sci.* 1995 Sep;20(9):374. doi: 10.1016/s0968-0004(00)89080-5.
29. Scheres B, van der Putten WH. The plant perceptron connects environment to development. *Nature.* 2017 Mar 15;543(7645):337-345. doi: 10.1038/nature22010.
30. Smith CL, Reese TS, Govezensky T, Barrio RA. Coherent directed movement toward food modeled in Trichoplax, a ciliated animal lacking a nervous system. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2019 Apr 30;116(18):8901-8908. doi: 10.1073/pnas.1815655116.
31. Smith CL, Varoqueaux F, Kittelmann M, Azzam RN, Cooper B, Winters CA, Eitel M, Fasshauer D, Reese TS. Novel cell types, neurosecretory cells, and body plan of the early-diverging metazoan Trichoplax adhaerens. *Curr Biol.* 2014 Jul 21;24(14):1565-1572. doi: 10.1016/j.cub.2014.05.046.
32. Srivastava M, Begovic E, Chapman J, Putnam NH, Hellsten U, Kawashima T, Kuo A, Mitros T, Salamov A, Carpenter ML, Signorovitch AY, Moreno MA, Kamm K, Grimwood J, Schmutz J, Shapiro H, Grigoriev IV, Buss LW, Schierwater B, Dellaporta SL, Rokhsar DS. The Trichoplax genome and the nature of placozoans. *Nature.* 2008 Aug 21;454(7207):955-60. doi: 10.1038/nature07191.
33. Syeda R, Florendo MN, Cox CD, Kefauver JM, Santos JS, Martinac B, Patapoutian A. Piezo1 Channels Are Inherently Mechanosensitive. *Cell Rep.* 2016 Nov 8;17(7):1739-1746. doi: 10.1016/j.celrep.2016.10.033.

34. Szklarczyk D, Gable AL, Nastou KC, Lyon D, Kirsch R, Pyysalo S, Doncheva NT, Legeay M, Fang T, Bork P, Jensen LJ, von Mering C. The STRING database in 2021: customizable protein-protein networks, and functional characterization of user-uploaded gene/measurement sets. *Nucleic Acids Res.* 2021 Jan 8;49(D1):D605-D612. doi: 10.1093/nar/gkaa1074.

35. Timsit Y, Grégoire SP. Towards the Idea of Molecular Brains. *Int J Mol Sci.* 2021 Nov 1;22(21):11868. doi: 10.3390/ijms222111868.

36. Ueda T, Koya S, Maruyama YK. Dynamic patterns in the locomotion and feeding behaviors by the placozoan Trichoplax adhaerence. *Biosystems.* 1999 Dec;54(1-2):65-70. doi: 10.1016/s0303-2647(99)00066-0.

37. Velankar S, Burley SK, Kurisu G, Hoch JC, Markley JL. The Protein Data Bank Archive. *Methods Mol Biol.* 2021;2305:3-21. doi: 10.1007/978-1-0716-1406-8_1.

38. Wang L, Zhou H, Zhang M, Liu W, Deng T, Zhao Q, Li Y, Lei J, Li X, Xiao B. Structure and mechanogating of the mammalian tactile channel PIEZO2. *Nature.* 2019 Sep;573(7773):225-229. doi: 10.1038/s41586-019-1505-8.

39. Wenderoth H. Cytoplasmic Vibrations Due to Flagellar Beating in Trichoplax adhaerens F. E. Schulze (Placozoa). *Z. Naturforsch.* 1990;45c:715-722. doi: 10.1515/znc-1990-0624.

Приложения

Приложение 1. Результат парного выравнивания аминокислотных последовательностей белков XP_002112008.1 и RDD46920.1

XP_002112008.1	MASIFVATLLFRWFLTLSLLAASILRINGFSALYFGFFLVMPFLPNPSHQSFKGPIKY	60
RDD46920.1	MASIFVATLLFRWFLTLSLLAASILRINGFSALYFGFFLVMPFLPNPSHQSFKGPIKY	60

XP_002112008.1	LLSICALSGLCVAHIIFQIVLAANPPYGSIIDCFWQERLARQIGFNKLGHNVWNDIRL	120
RDD46920.1	LLSICALSGLCVAHIIFQIVLAANPPYGSIIDCFWQERLARQIGFNKLGHNVWNDIRL	120

XP_002112008.1	LAPDAIIIFIISVVTFLYCRKLANKQVDQIMHGSDDDRRHVYDKLDSLATLTYSKYGHSLK	180
RDD46920.1	LAPDAIIIFIISVVTFLYCRKLANKQVDQIMYGSDDDRRHVYDKLDSLATLTYSKYGHSLK	180
	*****;	*****

XP_002112008.1	NI-----	182
RDD46920.1	NINSFFSIVLLWLTGIVQPSVLSAVYFITLLVIATIWSFSKAKPNSREQLLARSHTTRNR	240
	**	
XP_002112008.1	-----KILGLTGYFKTNCSSPSLP	201
RDD46920.1	STLFSKLRNILMVYCVLHLIVLYLYQMQFFQDAVEPKSFIAIRLGLTYFKTNCSSPSLP	300
	: ****	
XP_002112008.1	IILRHGIPWYSYCPGLIILTFTWFATHYSFSLKWNNSYGKFPNLATHMYFLMWWTTSKKRSE	261
RDD46920.1	IILRHGIPWYSYCPGLIILTFTWFATHYSFSLKWNNSYGKFPNLATHMYFLMWWTTSKKRSE	360

XP_002112008.1	TKQRSPSTQLQTENPLQVNVDAAHQTSTLNQDVTSQLNTVATNNQRTEAENNVLLEPVPTA	321
RDD46920.1	TKQRSPSTQLQTENPLQVNVDAAHQTSTLNQDVTSQLNTVATNNQRTEAENNVLLEPVPTA	420

XP_002112008.1	VETDENLHIHNIILOYSQQKFYAFLOQYVEMNIHLLALIAMLTWSISYHSPWAFLIFAC	381
RDD46920.1	VETDENLHIHNIILOYSQQKFYAFLOQYVEMNIHLLALIAMLTWSISYHSPWAFLIFAC	480

XP_002112008.1	LFFIHPRTYEVMMTTAPLLVIYGEIMIIATYIYGLNLHKELPEVVNGFNLQQVGLQRFSEN	441
RDD46920.1	LFFIHPRTYEVMMTTAPLLVIYGEIMIIATYIYGLNLHKELPEVVNGFNLQQVGLQRFSEN	540

XP_002112008.1	QCLHLGLQSIFLAIFWLTLRKQNRRARNSERELYRVIGITIQTLLAQYWIACLGALLIV	501
RDD46920.1	QCLHLGLQSIFLAIFWLTLRKQNRRARNSERELYRVIGITIQTLLAQYWIACLGALLIV	600

XP_002112008.1	SLHGQPTIYQIYMFLLTVTYKIYFKTFLD-----	534
RDD46920.1	SLHGQPTIYQIYMFLLTVTYKLSWPVFRFILKPFWIILIMYSLLVLLYTFQFDV	660
	*****: : .*	
XP_002112008.1	-----	534
RDD46920.1	IPELWRNATHLSNDWLADIGLKQYKSRLALFGNLLPPTLCIVTAIQNSYLHRLFLIYSS	720
XP_002112008.1	-----	534
RDD46920.1	LKGSRHFGEORKYGYPTNNIENQEPTVGEISVGEPFREVNQNLDSNPHEQSLNEETN	780
XP_002112008.1	-----YTYNVFVTGTETHIVKAVMLTIFIVCVAEVTLNGIFAIFV	575
RDD46920.1	QNLDERIERFLHEMPSKLTQLYNFLWLLAETHIVKAVMLTIFIVCVAEVTLNGIFAIFV	840
	.: : ***	
XP_002112008.1	ILQLPYQRLQKVLSYIMTLLIAVSLLSKLTQFQLSVIDTKNLRNSCSYAIPEWNGTMFITF	635
RDD46920.1	ILQLPYQRLQKVLSYIMTLLIAVSLLSKLTQFQLSVIDTKNLRNSCSYAIPEWNGTMFITF	900

XP_002112008.1	YLNRTLNDIEWFGLKKVSNVSSYVGYYIAIICLITMEKVINHRQRQMYELTNRRPPSGI	695
RDD46920.1	YLNRTLNDIEWFGLKKVSNVSSYVGYYIAIICLITMEKVINHRQRQMYELTNRRPPSGI	960

XP_002112008.1	LFPNIDETKIDTSLSRIKYVIDNFCSLWGIELCIFTEIIVIGARGDVYSAIYSVVLGLQ	755
RDD46920.1	LFPNIDETKIDTSLSRIKYVIDNFCSLWGIELCIFTEIIVIGARGDVYSAIYSVVLGLQ	1020

XP_002112008.1	LFLPRKQLSTLWPIYIAFLTISIIAQYLLLLGLPTYLCY-----	794
RDD46920.1	LFLPRKQLSTLWPIYIAFLTISIIAQYLLLLGLPTYLCYVYPWTGYLNINLLQWLILPQI	1080

XP_002112008.1	-----GDFFMFLMFACCQMKAYLSGKRDSHLTVRIHAEDGKMTNPGNFLNNRCWLD	844
RDD46920.1	RYKLNPFLLIGDFMFLMFACCQMKAYLSGKRDSHLTVRIHAEDGKMTNPGNFLNNRCWLD	1140

XP_002112008.1	TIQIFIFQYFLWITYAVIFIVGTSQINIFCFGLLLADFFLWHGQSIVKRLKFDDNGKMV	904
RDD46920.1	TIQIFIFQYFLWITYAVIFIVGTSQINIFCFGLLLADFFLWHGQSIVKRLKFDDNGKTV	1200
	*****	*
XP_002112008.1	KTWWKLFIAYTYTIVILLKTSFQVVVCAPNIIPCIVSRIFNVVCLRAFVGEDPVERMNCV	964
RDD46920.1	KTWWKLFIAYTYTIVILLKTSFQVVVCAPNIIPCIVSRIFNVVCLRAFVGEDPVERMNCV	1260

XP_002112008.1	TLPKKYGVGIDGVCLMFLLIQQLIFNSNQIYYVAEELFETNQLSKVAKFLRDCRQERIK	1024
RDD46920.1	TLPKKYGVGIDGVCLMFLLIQQLIFNSNQIYYVAEELFETNQLSKVAKFLRDCRQERIK	1320

XP_002112008.1	LEIESREKIRKRIKDSVEVLKSRRNSKLFANLSHEQIIAAGDYYLFRDLYQKEKLVGQTV	1084
RDD46920.1	LEIESREKIRKRIKDSVEVLKSRRNSKLFANLSHEQIIAAGDYYLFRDLYQKEKLVGQTV	1380

XP_002112008.1	DTQYTDTSDDRSTQDKSQIDDLDPSSKEKIQNKKQIANEHEDVQSSSEAASNDLVLKQ	1144
RDD46920.1	DTQYTDTSDDRSTQDKSQIDDLDPSSKEKIQNKKQIANEHEDVQSSSEAASNDLVLKQ	1440

XP_002112008.1	DTDFECHDVSQRAEPGITDNPLYGRHSSIYVSKSQTGGPASTQYRIADGESSIONTLQEHT	1204
RDD46920.1	DTDFECHDVSQRAEPGITDNPLYGRHSSIYVSKSQTGGPASTQYRIADGESSIONTLQEHT	1500

XP_002112008.1	KHSHNQFIESASNAASTDTKRAFKTQENISDLPAPQNNLFLNKQLNVQEVTLDITDSL	1264
RDD46920.1	KHSHNQFIESASNAASTDTKRAFKTQENISDLPAPQNSLFLNKQLNVQEVTLDITDSQ	1560

XP_002112008.1	PSRLSDLGKVTSKEEKKGAFRRFINYLICNIWITYTDKLTRWLDTFGIEYRAAKKIR	1324
RDD46920.1	PSRLSDLGKVTSKEEKKGAFRRFINYLICNIWITYTDKLTRWLDTFGIEYRAAKKIR	1620

XP_002112008.1	QERANLSKVHSNERAVTTNDVDSAENTVVAAVITANADLDLDEPLESKELQRLQSSLA	1384
RDD46920.1	QERANLSKVHSNERAASTNDVDSAENTVVAAVITANADLDLDEPLESKELQRLQSSLA	1680

XP_002112008.1	YKTESNDGWQGNMSRFDHFIALYYSLCANTDNICYFLILLNLIVHGTVSLILPLSTFL	1444
RDD46920.1	YKTESNDGWQGNMSRFDHFIALYYSLCANTDNICYFLILLNLIVHGTVSLILPLSTFL	1740

XP_002112008.1 RDD46920.1	WAFLSIPRPHRYFWIFAFTYTEIVVLIKYTFQFSWTFNRPDGNNDPFWAPRIIGIVQED WAFLSIPRPHRYFWIFAFTYTEIVVLIKYTFQFSWTFNRPDGNNDPFWAPRIIGIVQED *****	1504 1800
XP_002112008.1 RDD46920.1	NFGRIVAFDLILLLSLFFHCAILKSFGLWNDDDSNNHDDEMETESEEIWPNIKFIQQLLRH NFGRIVAFDLILLLSLFFHCAILKSFGLWNDDDSNNHDDEMETESEEIWPNIKFIQQLLRH *****	1564 1860
XP_002112008.1 RDD46920.1	DSKPGTIDVYTSMFACTFIAFLIIIFGWSSFGENASQNDNLSTFIAENNIPLPFLIAMLT DSKPGTIDVYTSMFACTFIAFLIIIFGWSSFGENASQNDNLSTFIAENNIPLPFLIAMLT *****	1624 1920
XP_002112008.1 RDD46920.1	QFLLMLCDRAIYLRRSLLARLIVYIIQVIALHTWLFFFPLTRRSFKYNAAAIILYITY QFLLMLCDRAIYLRRSLLARLIVYIIQVIALHTWLFFFPLTRRSFKYNAAAIILYITY *****	1684 1980
XP_002112008.1 RDD46920.1	CIYFRLSFCQLCQGYPIRVLRRFLDIFNNYTYYFVLCVNAIPFFLEFRTLMDWTCTDTT CIYFRLSFCQLCQGYPIRVLRRFLDIFNNYTYYFVLCVNAIPFFLEFRTLMDWTCTDTT *****	1744 2040
XP_002112008.1 RDD46920.1	LTLWHWLKMEDIFYNIFYTKCRDYENSYPQKKGDPKSPLFKVALGGFLIFLLGAIIWFP LTLWHWLKMEDIFYNIFYTKCRDYENSYPQKKGDPKSPLFKVALGGFLIFLLGAIIWFP *****	1804 2100
XP_002112008.1 RDD46920.1	LLFMSLAKTSGIADLPTEGQFSLSIVGYEPLYSYTAEQRSITMLSQSDYNHLFNVHKYNN LLFMSLAKTSGIADLPTEGQFSLSIVGYEPLYSYTAEQRSITMLSQSDYNHLFNVHKYNN *****	1864 2160
XP_002112008.1 RDD46920.1	PSARSFLSQYDRENVVRVLLNNENSSPIWEISPPVRQKLINDLSSNQTITLRFSWSFNRKP PSARSFLSQYDRENVVRVLLNNENSSPIWEISPPVRQKLINDLSSNQTITLRFSWSFNRKP *****	1924 2220
XP_002112008.1 RDD46920.1	NSALVSDMVTGNNYFNLYDPNLRDGLSQMLMFNDNQTSMTIPKLYPSFVLPATGASTV NSALVSDMVTGNNYFNLYDPNLRDGLSQMLMFNDNQTSMTIPKLYPSFVLPATGASTV *****	1984 2280
XP_002112008.1 RDD46920.1	VKALDNGSYVDCGVELLKGPTYDDVLKSMVEWWRIVQKSPFHINNTKSSRSNSLEMIVFS VKALDNGSYVDCGVELLKGPTYDDVLKSMVEWWRIVQKSPFHINNTKSSRSNSLEMIVFS *****	2044 2340
XP_002112008.1 RDD46920.1	DKVIPPGLSFLAGYGIIGLYVSLVLVGRFIRIFVSSVSYRIMFDEIPDPNAIHELCEEI DKVIPPGLSFLAGYGIIGLYVSLVLVGRFIRIFVSSVSYRIMFDEIPDPNAIHELCEEI *****	2104 2400
XP_002112008.1 RDD46920.1	YMVRESHEFELEELFAKLIFLYRSPETIIRLTRLASLLHYACIDPTDTKIISYKSGCI YMVRESHEFELEELFAKLIFLYRSPETIIRLTRLAVNKQKVE----- ***** :	2164 2443
XP_002112008.1 RDD46920.1	ALNGNNL 2171 ----- 2443	

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ: ДИПЛОМАТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Научная статья

Ладыгина-Глазунова Н.И.¹, Петрова Е.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, аспирант.

²Санкт-Петербургский государственный университет, аспирант.

Аннотация

Современное киберпространство стало спорным политическим полем деятельности, сформированным различными нормами и ценностями, которые усложнили сам процесс принятия международных решений. Дипломатический аспект в кибербезопасности, последние двадцать лет занимает лидирующую позицию в среде научных и профессиональных дискуссий, так как политический вектор киберпреступлений вышел на новый уровень и стремительно развивается. Это вызывает необходимость разработки новых технологических и иных решений для борьбы с мировой киберпреступностью.

Ключевые слова: кибербезопасность, цифровая дипломатия, кибердипломатия, ООН, социальные медиа, международные отношения, глобализация, угрозы.

CYBER SECURITY: DIPLOMATIC ASPECT

Research Article

Ladygina-Glazounova N.I.¹, Petrova E.V.²

¹Saint-Petersburg State University, PhD student.

²Saint-Petersburg State University, PhD student.

Abstract

Modern cyberspace has become a controversial political field, shaped by various norms and values that have complicated the very process of international decision-making. The diplomatic aspect in cybersecurity has been a leader in scientific and professional discussions for the last twenty years, as the political vector of cybercrime has reached a new level and is rapidly developing. This necessitates the development of new technological and other solutions to combat global cybercrime.

Keywords: cybersecurity, digital diplomacy, cyberdiplomacy, UN, social media, international relations, globalization, threats.

Всемирный взрыв COVID-19 послужил мощным толчком к развитию цифровизации в различных областях международных отношений, в том числе и дипломатии. Киберпространство стало спорным политическим полем деятельности, сформированным различными нормами и ценностями, которые усложнили сам процесс принятия международных решений. Разные акторы, государства и режима с разными интересами, целями и ценностями составляют разные сценарии безопасности. В результате этой политизации в игру вступили дипломаты. Если когда-то киберпространство было полем для чисто

технических дискуссий между ИТ-специалистами, то эта эпоха закончилась став поистине междисциплинарной.

Цифровая дипломатия не застрахована от критики, поскольку она также рассматривается как источник угроз и рисков. Сегодняшние киберугрозы в дипломатии: кибератаки, кибершпионаж, хакерский активизм, Интернет-цензура и предвзятая модерация, ботнеты, технические проблемы, утечка информации и персональных данных (в т.ч. биометрических), сетевая безграмотность, низкий уровень цифровой гигиены и этики (в т.ч. этики детства), киберпреступность как услуга, кибермошенничество, деструктивный и противоправный контент, фейк-ньюз и дезинформация, троллинг, тайпсквоттинг, утрата конфиденциальности и отсутствие приватности, программы-вымогатели, подмена ценностных ориентиров, нарушение интеллектуальных и авторских прав, Даркнет, утечка ИТ-кадров, космическая киберугроза, применение искусственного интеллекта, слабая защита облачных инфраструктур, криптовымогатели и криптоджекинг, вредоносное ПО для сбора данных, взлом социальных медиа, культура анонимности, уровень культуры общения, свобода Интернета и социальных медиа, распространение доступных мобильных устройств с выходом в Интернет, стоимость мобильного Интернета. Часть данных киберугроз имеют дуалистичный характер, что делает их как киберугрозами, так и кибервозможностями.

Все вышеперечисленные слова и фразы едва ли существовали еще лет десять назад, но на данный момент являются частью нашей повседневной жизни. Преступники с каждым годом совершенствуются и используют новейшие технологии для совершения кибератак на предприятия, частные лица и правительства. Киберпреступники становятся более гибкими, постоянно на несколько шагов опережают этичных хакеров и правоохранителей. Координируя сложные кибератаки за считанные мгновения, преступные сети действуют везде, а их преступления не знают никаких границ, в том числе виртуальных, и представляют серьезную, реальную и ощутимую угрозу для людей во всем мире,

и в последнее время во многом благодаря таким бустерам как: недорогие и доступные мобильные устройства с выходом в Интернет; невысокая стоимость мобильного Интернета в ряде стран; глобальная пандемия COVID-19; "цветные революции" и конфликтные ситуации XXI века, включая события начавшиеся в феврале 2022 года.

Дипломатия в XXI веке более активна, разнонаправлена и инновационна, чем когда-либо прежде. На фоне других сфер общественной жизни, которые с приходом COVID-19 всё больше входят в тесный контакт с цифровизацией, дипломатии сложнее достигать таких же успехов, но все же эти усилия не безрезультатны. Растущая цифровизация в сочетании с популяризацией идей, основанных на ИКТ, трансформирует взаимодействие между государствами, их лидерами и всевозможными организациями, а участие граждан в этих процессах обеспечивает доступность обмена мнениями и неиерархичность диалога.

В рамках международной деятельности по развитию киберзащиты в 2020 году Группа высокого уровня ООН по цифровому сотрудничеству представила Дорожную карту цифрового сотрудничества [Secretary-General Roadmap for Digital Cooperation], в которой даются рекомендации "разработать Глобальное обязательство по цифровому доверию и безопасности, чтобы сформировать общее видение, определить атрибуты цифровой стабильности...". На данном уровне необходимо выработать общемировые правила, нормы и законы для правильной работы цифрового пространства.

Столкновение с рисками цифровой эпохи означает, что министерства иностранных дел должны обучать своих сотрудников тому, как использовать инструменты цифровой коммуникации, и как можно быстрее внедрять новые ИКТ, даже если они сложны, чтобы получить необходимые знания об их использовании и избежать возможных рисков и ущерба для государства. В дипломатических представительствах крупных стран [Ruffini, B.P.] уже работают постоянные сотрудники, специализирующиеся на работе с цифровой информацией и социальными медиа, но в некоторых государствах

квалифицированных кадров в данной сфере не хватает. Риски цифровизации и киберугрозы неразделимы, но этот факт не отрицает важности преимуществ цифровой дипломатии.

Список литературы

1. DiploFoundation. “Digital Diplomacy, E-diplomacy, Cyber diplomacy”. - URL: <https://www.diplomacy.edu/ediplomacy> (дата обращения: 26.02.22)
2. Report of the Secretary-General Roadmap for Digital Cooperation. June 2020. - URL: https://www.un.org/en/content/digital-cooperation-roadmap/assets/pdf/Roadmap_for_Digital_Cooperation_EN.pdf (дата обращения: 26.02.22)
3. Ruffini, B.P. Science and Diplomacy: A New Dimension of International Relations. - Switzerland: Springer International Publishing. 2017. - URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55104-3> (дата обращения: 20.03.22)

ОБЗОР МЕТОДИКИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУБЪЕКТА

Научная статья

Потапов Ю.А.

Аспирант, Финансовый университет при Правительстве РФ

Аннотация

Цифровая трансформация бизнеса влияет как на изменение бизнес-процессов и подходов к управлению в целом, так и на отдельные функции управления, такие как внутренний контроль и внутренний аудит. Для последнего цифровизация становится как новой возможностью, так и новым вызовом для развития функции и методологий аудиторской деятельности в экономических субъектах. Данная работа представляет собой краткий «верхнеуровневый» обзор предлагаемой автором методологии исследования текущего состояния «цифровой зрелости» экономического субъекта для функции внутреннего аудита.

Ключевые слова: цифровизация, внутренний аудит, оценка цифровой зрелости, цифровая зрелость, цифровая трансформация, бизнес-процессы.

REVIEW OF THE INTERNAL AUDIT METHODOLOGY OF THE DIGITAL MATURITY OF AN ECONOMIC ENTITY

Research article

Potapov Yu.A.

Postgraduate student, Financial University under the Government of the Russian Federation

Abstract

The digital transformation of a business affects both changes in business processes and approaches to management in general, and individual management functions, such as internal control and internal audit. For the latter, digitalization becomes both a new opportunity and a new challenge for the development of the function and methodologies of auditing activities in economic entities. This article is a brief "top-level" review of the methodology proposed by the author to study the current state of the "digital maturity" of an economic entity for the internal audit function.

Key words: digitalization, internal audit, digital maturity assessment, digital maturity, digital transformation, business processes.

Цифровая трансформация корпоративных структур и их бизнес-процессов существенно влияют на развитие функций управления, включая такие как внутренний контроль и внутренний аудит. Цифровая трансформация несет в себе как новые возможности, так и новые вызовы, риски и угрозы для бизнеса и любые изменения следует начинать с предварительной экспертной оценки текущего состояния и перспектив внедрения цифровизации в экономическом субъекте. Аудит цифровой зрелости как новый вид услуги получил достаточно широкое распространение с 2015 г., когда лидеры в отрасли аудита и консалтинга стали активнее исследовать вопросы цифровой трансформации бизнеса и

собственных практик, оценивать ИТ риски, разрабатывать модели цифровой трансформации и осуществлять оценку по собственным методикам. Анализ доступных на текущий момент моделей аудита цифровизации или оценки уровня цифровой зрелости являются продуктами внешнего аудита и консалтинга, ориентированных на внешнего заказчика, как правило не гибких в части программы аудита, поскольку предлагают оценку конкретных сфер деятельности организации, ее практик и процессов, определенных в модели внешних аудиторов.

Предлагаемая далее модель аудита цифровой зрелости ориентирована на использование функцией внутреннего аудита и в своих базовых положениях подходит для оценки уровня цифровой зрелости в организации любой формы собственности, размера, организационной структуры и вида деятельности. Данная модель ориентируется в основной части методологии аудита на ключевые области оценки системы внутреннего контроля организации концепции COSO. Внутренний аудит способен более глубоко погрузиться в процессы организации, обладая большей информацией о состоянии дел, нежели внешние консультанты, эксперто оценить текущее состояние цифровизации организации, уровень цифровой зрелости, взаимосвязь цифровой трансформации со стратегией развития, выявить недостатки и узкие места, определить зоны роста, разработать рекомендации по улучшениям и корректировкам. В результате руководство организации получает аналитическую базу, на основе которой можно принимать дальнейшие управленические решения, тогда как внутренние аудиторы в ходе аудиторских мероприятий исследуют различные области цифровизации процессов, а затем в ходе операционных аудитов могут отдельное внимание обращать на динамику и проблематику дальнейшей цифровой трансформации в отельных исследуемых процессах и областях деятельности, что позволяет осуществлять поочередный текущий мониторинг цифровизации и ее эффективности.

Предлагаемая методика аудита цифровой зрелости предполагает условно разделение всех бизнес-процессов на внутренние и внешние. К внешним процессам относят все то, что касается прямого взаимодействия с внешними заинтересованными сторонами, прежде всего, с клиентами и контрагентами (процессы дистрибуции, процессы установления договорных отношений, процессы внешних коммуникаций, процессы маркетинга и так далее – все эти аспекты исследуются большинством моделей и методик внешнего аудита цифровизации). К внутренним, соответственно, внутренние процессы деятельности организации (производство, внутренний аудит, внутренние коммуникации, планирование и так далее).

Внутренние процессы. Внутренний аудит, опираясь на потребности и стратегию развития организации, определяет наиболее значимые области и процессы деятельности, в рамках которых исследует текущий уровень цифровизации. Аудиторы оценивают дизайн процессов и контролей на предмет их текущей цифровизации и дальнейших ее перспектив, для чего следует на основе анализа первичной информации и интервью с высшим руководством, а затем, после формирования программы аудита, с владельцами конкретных процессов, сформировать перечень вопросов для проведения исследования удовлетворенностью цифровизацией сотрудниками организации. Использование цифровых инструментов внутренней коммуникации, цифровизацию документооборота и применение общекорпоративных информационных систем и ИТ решений аудиторы могут оценить самостоятельно, однако более глубокое понимание проблем цифровизации позволяют получить результаты опроса, который может содержать следующие вопросы: 1) Оценка сотрудником степени цифровизации процесса; 2) Оценка качества / удобства / эффективности используемых ИС, ПО, ИТ решений; 3) Оценка возможности сокращения ручных, рутинных процессов, их автоматизации; 4) Оценка удовлетворенности различных общекорпоративных систем и сервисов; 5) Оценка взаимосвязи процессов через ИТ системы; 6)

Удовлетворенность сотрудника эффективностью решения ИТ проблем; 7) Оценка проблем цифровизации (открытые вопросы для выявления конкретных примеров).

Оценка удовлетворенности сотрудниками, структурными подразделениями и организацией в целом составляет центральную часть аудита цифровой зрелости, тогда как в рамках такой оценки ключевым звеном является оценка ИТ поддержки развития организации и обеспечения ее деятельности. Оценка ИТ поддержки организации (независимо от того, имеет ли организация собственные функции ИТ или обслуживается сторонними организациями и вендорами) может проводиться по следующим направлениям: 1) Учет и использование информационных систем; 2) Разработка, доработка, эксплуатация ИТ-решений; 3) Цифровизация бизнес-процессов; 4) Мотивация персонала

Внешние процессы. В ходе аудита цифровой зрелости ключевыми для аудиторов являются именно внутренние процессы и их уровень цифровизации, поскольку внутренние процессы более обширны и сложны во взаимодействии, однако внешние процессы также важны для оценки цифровой зрелости, особенно для крупных компаний с разветвленной клиентской сетью и критическими потребностями во взаимодействии с внешними заинтересованными сторонами. К таким процессам относится все, что напрямую связано с коммуникацией организации и ее клиентов и контрагентов. Оценка цифровой зрелости во внешних процессах, очевидно, является предметом более узкоспециализированной и тематической проверки в области цифровизации, поскольку в большей степени затрагивает цифровизацию связей организации с внешними заинтересованными сторонами. Однако наибольшее внимание оценке цифровой зрелости, по мнению автора, должно уделяться в первую очередь внутренним процессам и затрагивающей их цифровой трансформации, а затем уже вопросам оценки цифровой зрелости процессов, направленных во внешнюю среду организации.

В рамках данной методологии оценки цифровой зрелости организации с позиций функции внутреннего аудита, предлагается в целях систематизации областей аудита, использовать положения концепции COSO в части организации и оценки уровня зрелости системы внутреннего контроля, а именно – проводить аудит цифровой зрелости по пяти основным направлениям: Информация и коммуникация; Контрольная среда; Оценка рисков; Механизмы и инструменты контроля; Процедуры мониторинга.

В рамках аудита цифровой зрелости организации, который помимо исследования всех ключевых направлений деятельности, подразделений и процессов организации в комплексе, можно также в частном порядке использовать для самооценки функцией внутреннего аудита собственной цифровой зрелости. Однако анализ пяти ключевых областей деятельности организации, заимствованных из модели организации системы внутреннего контроля по COSO подразумевает возможность проведения оценки не только цифровой зрелости организации и процессов цифровой трансформации, но и элементы системы цифровых контролей в СВК организации – таким образом, внутренний аудит получает возможность проверки, оценки и формирования аналитических суждений о текущем состоянии, узких местах и перспективах развития как цифровизации деятельности и процессов вообще, так и применения цифровых контролей в частности. Исследование процессов цифровизации деятельности организаций, равно как и цифровизации СВК с использованием компонентов модели СВК по COSO позволяет оценить текущую цифровую зрелость по унифицированным элементам деятельности хозяйствующего субъекта, в разрезе которых организация может использовать подходы к управлению, с учетом специфики деятельности.

Для проведения внутренним аудитом экспертной оценки уровня цифровой зрелости организаций, предлагается к использованию четырехуровневая модель оценки цифровой зрелости, включающая оценку наличия компонентов цифровой СВК: Уровень 1: Несистемный; Уровень 2: Развивающийся; Уровень

3: Управляемый; Уровень 4: Продвинутый. Цикл аудита состоит из шести этапов: Подготовка Этап 1 (первичный сбор информации, формирование плана аудита); Подготовка Этап 2 (формальный запуск аудита, интервью с ключевыми участниками процессов, корректировка плана аудита); Проведение Этап 1 (запрос и анализ информации и документов, интервью с сотрудниками, оценка дизайна процессов и контролей, накопление аудиторских суждений и доказательств); Проведение Этап 2 (формирование перечня актуальных вопросов и проведение исследования удовлетворенности руководителей / сотрудников цифровизацией); Проведение Этап 3 (проверка достоверности новых наблюдений, полученных по итогам исследования-опроса); Завершение аудита (формирование отчетных материалов, разработка рекомендаций для менеджмента по корректировкам процессов и устранению выявленных недостатков и/или отклонений). Количественные результаты оценки цифровизации бизнес-процессов и удовлетворенности сотрудников цифровизацией могут быть визуализированы на лепестковой диаграмме.

Основной подход в проведении аудита цифровой зрелости заключается в том, чтобы проанализировать и определить текущий уровень цифровизации процессов в структурных подразделениях, их удовлетворенность цифровизацией, узкие места и перспективы цифровизации. Такой подход обеспечивает аналитическое обеспечение как для аудиторских мероприятий и формирования соответствующих наблюдений и выводов, так и для понимания руководством состояния дел в процессах цифровой трансформации и принятия соответствующих управленческих решений по корректировке недостатков, преодолению узких мест и повышению эффективности цифровизации.

Список литературы

1. Аудит цифровой зрелости предприятия [Электронный ресурс]. URL: <https://oxtron.ru/industry4> (Дата обращения: 21.03.2022).
2. Кашицин В.П. Методика аудита цифровой зрелости организаций среднего профессионального образования // Вестник науки и образования №

[Электронный ресурс]. URL: http://scientificjournal.ru/images/PDF/2021/113/metodi_ka-audita-tsifrovo.pdf (Дата обращения: 23.03.2022).

3. Кузин Д.В. Проблемы цифровой зрелости в современном бизнесе // Мир новой экономики № 13(3), 2019. С. 89-99.

4. Мельник М.В. Инновационные методы организации и проведения контрольных мероприятий // Инновационное развитие экономики. – 2017. – № 2. – С. 85-92.

5. Мельник М.В. Оценка методологии учетно-контрольных и аналитических процессов для эффективного использования возможностей цифровой экономики // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 8. – №3. – С. 11-16.

6. Internal control standards COSO framework, 2013. – 18 p.
[Электронный ресурс]. URL:

https://www.yolocounty.org/home/showpublisheddocument/3254/636082273877900_000

**ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩЕГО СУБЪЕКТА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРАКТИКИ**
Научная статья

Потапов Ю.А.
Аспирант, Финансовый университет при Правительстве РФ

Аннотация

В условиях цифровизации экономики и появления новых информационных технологий и систем, способных оказать влияние на трансформацию абсолютно всех бизнес-процессов от приобретения ресурсов и производства, до сбыта и управления, с точки зрения последнего приобретает особую важность необходимость контроля как за текущими процессами цифровизации бизнеса, так и за перспективными направлениями цифровой трансформации, для чего необходимо оценивать текущий уровень цифровой зрелости с помощью актуальных практик на рынке аудита и консалтинга.

Ключевые слова: цифровизация, аудит, оценка цифровой зрелости, цифровая зрелость, цифровая трансформация.

**ASSESSMENT OF THE DIGITAL MATURITY OF AN ECONOMIC ENTITY:
CURRENT PRACTICES**
Research article

Potapov Yu.A.

Postgraduate student, Financial University under the Government of the Russian Federation

Abstract

In the context of the digitalization of the economy and the emergence of new information technologies and systems capable of influencing the transformation of absolutely all business processes from the acquisition of resources and production, to sales and management, from the point of view of the latter, the need to monitor both the current processes of digitalization of business and promising areas of digital transformation becomes particularly important, for which it is necessary to assess the current level of digital maturity with the help of current practices in the audit and consulting market.

Keywords: digitalization, audit, digital maturity assessment, digital maturity, digital transformation.

Скорость изменений в области ИТ и влияние цифровых технологий на трансформацию бизнес-структур постоянно увеличиваются. Отсутствие гибкости в управлении, недостаток ресурсов или сложности трансформации в экономических субъектах замедляют их прогрессивное развитие – организации и целые отрасли не успевают за прогрессом, что сказывается как на их внутренней деятельности, так и на влиянии на общество. В условиях цифровизации экономики возрастаёт потребность бизнеса в цифровой трансформации, что, в свою очередь, приводит к необходимости оценки

текущего уровня цифровизации для определения объективных и реально достижимых целевых плановых установок по трансформации деятельности с расширением количества процессов, охваченных цифровизацией и автоматизацией.

Процессы цифровой трансформации требуют адаптации системы внутреннего контроля и внутреннего аудита (ВА) к новым рискам, возникающим при существенных структурных изменениях или внедрении в процессы ИТ-решений и изменении дизайна самих процессов и контролей. Возникает потребность в независимой оценке уровня цифровой зрелости со стороны функции внутреннего аудита, дабы обеспечить заинтересованных сторон экспертной аналитикой для «разумной уверенности» управленцев в правильности принимаемых решений и эффективности реализуемых проектов цифровизации.

Одним из наиболее актуальных направлений работы для ВА является аудит цифровой зрелости, в рамках которого, в зависимости от параметров организации (масштабы деятельности, отрасль, специализация, стратегия развития и т.д.) и целей менеджмента, возможно проведение оценки цифровой зрелости как отдельных процессов или направлений деятельности, так и всей организации.

К крупным компаниям, предлагающим собственные методики оценки уровня цифровизации относятся SAP, Deloitte, BCG (Digital Maturity), Cisco (Digital Maturity Index), Google и другие. Большинство из предлагаемых решений является продуктом внешнего аудита и внешних консультаций для бизнеса, в то время как оценка цифровой зрелости и процессов цифровой трансформации со стороны внутреннего аудита будет иметь собственную специфику и целеполагание, ввиду того, что ВА более глубоко погружается в процессы при проведении проверок, а равно и обладает большим объемом информации и пониманием специфики организации и ее процессов [6].

Таким образом, как и сам аудит подразделяется на внутренний и внешний, так и тематические проверки уровня цифровой зрелости и процессов цифровой трансформации так же подразделяются на внешние и внутренние, в зависимости от того, с какой стороны проводится экспертиза и оценка. Более того, саму цифровизацию можно подразделить на внутреннюю и внешнюю по своему назначению и охвату. Так, внутренняя цифровизация связана непосредственно с внутренними процессами и деятельностью организации, тогда как внешняя цифровизация не появляется «извне», а ориентирована на процессы внешней деятельности организации – взаимодействие с клиентами, контрагентами и иными заинтересованными сторонами во внешней среде.

Рассмотрим некоторые актуальные подходы, существующие в практике аудита цифровой зрелости. Методика SDI 360 ориентирована на исследование цифровой зрелости с точки зрения эффективности цифровизации маркетинга и использования внешних каналов коммуникации с клиентами и контрагентами. В рамках анализа SDI 360 оценивает бизнес-процессы, направленные во внешнюю среду организации. Методика оценивает уровень цифровизации бизнес-процессов в области реализации товаров и услуг на рынке, маркетинга и коммуникаций и представленности в публичном цифровом пространстве [4].

Модель аудита цифровой зрелости аудиторской компании Oxtron предлагает оценку текущего состояния цифровизации экономического субъекта, с целью выявления возможностей и перспектив для дальнейшей цифровой трансформации, выявления текущих узких мест и зон роста. Заявленный подход ориентирован на подготовку экономического субъекта к реализации концепции «Индустрия 4.0», в рамках которой производственные и управленические модели, бизнес-процессы должны быть реорганизованы таким образом, чтобы незамедлительно и эффективно реагировать на возникающие риски и угрозы, колебания спроса и предложения на сырьевых, ресурсных и товарных рынках, на изменения структуры, способов, сроков поставок ресурсов, изменения в законодательстве и внешней конъюнктуре. Методология аудита цифровой

зрелости Oxtron позволяет определить сильные и слабые стороны организации в области цифровизации процессов, сформулировать потребность и стратегию цифровой трансформации и «на выходе дает четкое понимание по целому комплексу мероприятий, которые при условии их успешной реализации, обеспечивают значимые экономические результаты» [5].

В рамках данной модели аудита цифровой зрелости проводится исследование по таким направлениям деятельности экономического субъекта как: Стратегические цели; Организация деятельности в разрезе проектов, производственных и операционных процессов; Управление инновациями; Управление разработкой продуктов; Цифровые коммуникации и цифровая коммерция; Сквозные цифровые процессы; Внутренняя среда (культура и организационная структура); Цифровые продукты, услуги, сервисы (Agile IT); Концепция использования данных;

Специалисты в области теории и практики бизнес-информатики Финансового университета при Правительстве РФ, совместно с экспертами Союза ИТ-директоров России (Expinet) предлагают модель экспресс аудита цифровизации любого экономического субъекта, выполняемого в течение одной недели. Эксперты предлагают оценку соответствия цифровизации экономического субъекта положениям стандарта DPBK (The Digital Practitioner Body of Knowledge Standard – свод знаний цифрового практика), разработанного организацией The Open Group. В данном стандарте, как и в методике аудита, цифровизация и ее оценка рассматриваются в четырех ключевых направлениях: Информационная архитектура; Организация работы ИТ подразделений; Управление проектами; Стrатегическая роль ИТ [2].

Рассмотренные методики аудита цифровой зрелости позволяют определить наиболее важные области цифровой трансформации и ее оценки, ознакомиться с актуальными практиками аудита, выделить ключевые области для оценки и наиболее подходящие инструменты для использования. Все методики являются продуктом внешнего аудита и консалтинга и при всех своих

очевидных достоинствах имеют и существенные недостатки, одним из которых является внешний характер проверки, дающий ситуативную базу для анализа, в то время как развитие компетенций внутренних аудиторов по оценке цифровой зрелости позволит выстроить механизмы сквозного контроля в процессе цифровой трансформации, ориентированные на стратегию развития и внутреннюю специфику организации, лучше известную и понятную внутренним аудиторам, нежели внешним консультантам. Тем не менее, в целях развития собственных компетенций и ознакомления с лучшими практиками, следует изучать актуальные методологии и подходы к оценке уровня цифровой зрелости и внедрять наиболее актуальные их элементы.

Список литературы

1. Аренков И.А., Крылова Ю.В., Ценжарик М.К.

Клиентоориентированный подход к управлению бизнес-процессами в цифровой экономике // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки №10 (6), 2017. С. 18-30.

2. Аудит цифровой зрелости предприятия [Электронный ресурс]. URL: <https://oxtron.ru/industry4> (Дата обращения: 21.03.2022).

3. Кашицин В.П. Методика аудита цифровой зрелости организаций среднего профессионального образования // Вестник науки и образования № 10(113), 2021

[Электронный ресурс]. URL: <http://scientificjournal.ru/images/PDF/2021/113/metodika-audita-tsifrovo.pdf> (Дата обращения: 23.03.2022).

4. Кузин Д.В. Проблемы цифровой зрелости в современном бизнесе // Мир новой экономики № 13(3), 2019. С. 89-99.

5. Что такое аудит цифровой зрелости SDI360 и как он помогает цифровизации бизнеса [Электронный ресурс]. URL: https://sdi360.ru/chto_takoe_audit_cifrovoj_zrelosti_sdi360 (Дата обращения: 21.03.2022).

6. Boston Consulting Group: Digital Maturity Assessment Survey [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/digital-technology-data/digital-maturity> (Дата обращения: 17.03.2022).

УДК 517.929.4
**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**
Научная статья

Пришникова П.Ф.

Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Севастополе, старший преподаватель
кафедры Прикладной математики

Аннотация

Рассматриваются стационарные линейные динамические системы автоматического управления с одним входом и одним выходом, устойчивость которых определяется расположением нулей характеристического многочлена относительно мнимой оси. Предлагается метод построения интервалов устойчивости в пространстве варьируемого параметра, от которого полиноминально зависят коэффициенты характеристического многочлена. Предлагаемый метод, в отличие от традиционных методов, не требует графоаналитического построения границ интервалов устойчивости, а основан на аппроксимации интервалов устойчивости объединением отрезков.

Ключевые слова: динамическая система, система автоматического управления, устойчивость, характеристический многочлен, варьируемый параметр.

**METHOD FOR CONSTRUCTING STABILITY INTERVALS OF LINEAR
AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS**
Research article

Pryashnikova P.F.

Sevastopol Branch, Lomonosov Moscow State University, Senior Lecturer, Department of
Applied Mathematics

Abstract

We consider stationary linear dynamic automatic control systems with one input and one output, the stability of which is determined by the location of the zeros of the characteristic polynomial relative to the imaginary axis. A method is proposed for constructing stability intervals in the space of a variable parameter, on which the coefficients of the characteristic polynomial depend polynomially. The proposed method, unlike traditional methods, does not require graph-analytical construction of the boundaries of stability intervals, but is based on the approximation of stability intervals by combining segments.

Keywords: dynamic system, automatic control system, stability, characteristic polynomial, variable parameter.

В задачах анализа, синтеза и эксплуатации систем автоматического управления первостепенное значение занимает обеспечение их устойчивости. Существуют различные определения устойчивости. В работе под устойчивостью понимается ограниченность реакции системы при ограниченном входном сигнале [2, с. 395].

Рассматриваются стационарные линейные динамические системы автоматического управления с одним входом и одним выходом, устойчивость которых определяется расположением нулей характеристического многочлена $a(s, g)$ относительно мнимой оси, где g есть варьируемый параметр, от которого коэффициенты характеристического многочлена зависят полиномиальным образом: $a(s, g) = \sum_{k=0}^n a_k(g)s^k$, $a_k(g) = \sum_{\mu=0}^{n_k} a_{k,\mu}g^\mu$ ($k = 0, \dots, n$). Задан промежуток изменения параметра $g \in G = [g_{min}, g_{max}]$. Решается задача поиска множества устойчивости $G_s \subseteq G$ такого, что $\forall g \in G_s: (a(s, g) = 0 \Rightarrow \operatorname{Re}(s) < 0)$. Для простых зависимостей коэффициентов характеристического многочлена от параметра g эта задача решается аналитическим методом. Для линейной зависимости коэффициентов характеристического многочлена от параметра g эта задача решается графоаналитическим методом D-разбиения. Для полиномиальной зависимости коэффициентов характеристического многочлена от параметра g эта задача решается методом перебора, который заключается в аппроксимации множества G_s сеткой. Вопрос об устойчивости характеристического многочлена между узлами сетки остается открытым.

Предлагается аппроксимировать множество G_s объединением отрезков $G_a = \bigcup_{i \in I} G_{ai}$. Для определения множества G_a предлагается использовать уравнение $a(i\omega, g) = 0$, определяющие нули многочлена на мнимой оси, где i есть мнимая единица, $\omega \in \mathbb{R}$. Последнее уравнение эквивалентно системе двух уравнений в вещественной области

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(a(i\omega, g)) = 0; \\ \operatorname{Im}(a(i\omega, g)) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Каждое из уравнений системы (1) имеет полиномиальный вид относительно переменных ω и g . Как следствие, из системы (1) с помощью применения результанта или определителя Гурвица [1, с. 35] может быть получено полиномиальное уравнение относительно переменной g . Границные

точки искомых интервалов множества G_a принадлежат множеству вещественных решений уравнения (1).

Список литературы

1. Пряшникова П. Ф. Д – разбиение при полиномиальной зависимости коэффициентов многочлена от двух параметров // Автоматика и телемеханика. 2021. №3. С. 32-46.
2. Dorf R., Bishop R. Modern Control Systems. Harlow: Pearson Education Limited. 2022.

УДК 519.876.2

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ
СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Научная статья

Пришникова П.Ф.

Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Севастополе, старший преподаватель
кафедры Прикладной математики

Аннотация

Моделирование установившихся режимов является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации электрических сетей сложной структуры. В работе рассматриваются электрические сети, математические модели которых заданы ненаправленными графами. Операторы ветвей графов могут быть заданы во временной, частотной и комплексной областях. Проведена сравнительная характеристика различных методов моделирования сложно замкнутых электрических сетей. Предложен метод решения уравнений установившихся режимов электрических сетей в частотной области.

Ключевые слова: моделирование, электрические сети, установившийся режим, линейные модели, нелинейные модели.

**SIMULATION OF STEADY-STATE MODES OF COMPLEXLY-CLOSED
ELECTRIC NETWORKS**

Research article

Pryashnikova P.F.

Sevastopol Branch, Lomonosov Moscow State University, Senior Lecturer, Department of
Applied Mathematics

Abstract

Simulation of steady state conditions is an integral part of the design and operation of electrical networks of complex structure. The paper considers electrical networks, the mathematical models of which are given by undirected graphs. Graph branch operators can be specified in the time, frequency, and complex domains. A comparative description of various methods for modeling complexly closed electrical networks has been carried out. A method for solving the equations of steady-state modes of electrical networks in the frequency domain is proposed.

Keywords: modeling, electrical networks, steady state, linear models, non-linear models.

Электрическая энергия является важным компонентом развития любой страны. Эффективность электроэнергии определяется, во-первых, тем, что доступны различные способы ее генерации, в том числе, с помощью экологически чистых распределенных источников энергии. Во-вторых, электрическую энергию можно передавать на большие расстояния с относительно малыми затратами. Для передачи электрической энергии созданы электрические сети, являющиеся системообразующей основой индустриального общества. Моделирование установившихся режимов является неотъемлемой

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта», 14-22 апреля 2022 года, г. Севастополь

частью проектирования и эксплуатации электрических сетей сложной структуры. В работе рассматриваются электрические сети, математические модели которых заданы ненаправленными графами. Операторы ветвей графов могут быть заданы во временной, частотной и комплексной областях.

Рассматривается сложно замкнутая электрическая сеть, математическая модель которой заданная ненаправленным графом. Перенумерованные узлы графа соответствуют потребителям и источникам электрической сети, перенумерованные ветви графа соответствуют линиям связи электрической сети. Число узлов графа – n . Обозначим множество номеров ветвей, соединяющих k -й узел с одним из узлов цепи через L_k ($k = 1, \dots, n$); $L_{k+} = \{l \mid l \in L_k; k > q(k, l)\}$; $L_{k-} = \{l \mid l \in L_k; k < q(k, l)\}$, где $q(k, l)$ – номер узла, который соединен l -й ветвью с k -м узлом.

Решение уравнений установившихся режимов электрических цепей обычно находят методом Ньютона-Рафсона [3, с. 21-27], который требуют задания начальных приближений, не гарантирует одновременного определения всех решений и может расходиться. Методы решения уравнений установившихся режимов электрических сетей, свободные от этих недостатков, могут быть основаны на применении результанта [1, с. 55-57], достаточных или необходимых условиях отсутствия решений на заданном многомерном параллелепипеде. В работе предлагается использовать необходимые условия отсутствия решений уравнений в вещественной области.

Независимые уравнения первого закона Кирхгофа соответствуют линейным уравнениям установившегося режима операторов ветвей электрической сети в комплексной области: $I_k = \sum_{l \in L_{k+}} I_{q(k, l)} - \sum_{l \in L_{k+}} I_{q(k, l)} = = \sum_{l \in L_{k+}} Y_l (U_k - U_{q(k, l)}) - \sum_{l \in L_{k-}} Y_l (U_{q(k, l)} - U_k) = \sum_{l \in L_k} Y_l U_k - \sum_{l \in L_k} Y_l U_{q(k, l)}$, где U_k – потенциал k -ого узла, I_k – ток в k -м узле; Y_l – проводимость l -й ветви; ($k = 1, \dots, n$). Последнее уравнение может быть записано в виде

$$\begin{cases} I_k = Y_k U_k + \mu_k; \\ Y_k = \sum_{l \in L_k} Y_l; \\ \mu_k = - \sum_{l \in L_k} Y_l U q_{(k,l)}; (k = 1, \dots, n). \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) в вещественной области имеет вид

$$\begin{cases} I_{(re)k} = Y_{(re)k} U_{(re)k} - Y_{(im)k} U_{(im)k} + \mu_{(re)k}; \\ I_{(im)k} = Y_{(im)k} U_{(re)k} + Y_{(re)k} U_{(im)k} + \mu_{(im)k}; \\ Y_{(re)k} = \sum_{l \in L_k} Y_{(re)l}; Y_{(im)k} = \sum_{l \in L_k} Y_{(im)l}; \\ \mu_{(re)k} = \sum_{l \in L_k} (-Y_{(re)l} U_{(re)q(l,k)} + Y_{(im)l} U_{(im)q(l,k)}); \\ \mu_{(im)k} = \sum_{l \in L_k} (-Y_{(im)l} U_{(re)q(l,k)} - Y_{(re)l} U_{(im)q(l,k)}); (k = 1, \dots, n). \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения баланса мощностей являются нелинейными: $I_k \bar{U}_k = \bar{S}_k$ или $Y_k U_k \bar{U}_k + \mu_k \bar{U}_k = \bar{S}_k \Leftrightarrow Y_k |U_k|^2 + \mu_k \bar{U}_k = \bar{S}_k$ ($k = 1, \dots, n$). Последнее уравнение в вещественной области приводится к виду

$$\begin{cases} Y_{(re)k} U_{(re)k}^2 + Y_{(re)k} U_{(im)k}^2 + \mu_{(re)k} U_{(re)k} + \mu_{(im)k} U_{(im)k} - S_{(re)k} = 0; \\ Y_{(im)k} U_{(re)k}^2 + Y_{(im)k} U_{(im)k}^2 + \mu_{(im)k} U_{(re)k} - \mu_{(re)k} U_{(im)k} + S_{(im)k} = 0; \\ (k = 1, \dots, n). \end{cases} \quad (3)$$

Система (2) и (3) нелинейных уравнений операторов ветвей в вещественной области состоит из квадратичных уравнений относительно переменных $U_{(re)k}, U_{(im)k}$ ($k = 1, \dots, n$). В [2, с. 34-37] предложен численный метод решения систем полиномиальных уравнений, основанный на применении необходимых условий отсутствия нулей на заданном прямоугольнике полиномиальных функций двух переменных. В работе предложен метод распространения этих результатов на квадратичные функции многих переменных.

Список литературы

1. Пряшникова П. Ф. Не итерационный метод решения нелинейных уравнений установившихся режимов электрических сетей // Электротехника, 2019, №4, стр.54-58.
2. Пряшникова П. Ф. D – разбиение при полиномиальной зависимости коэффициентов многочлена от двух параметров // Автоматика и телемеханика. 2021. №3. С. 32-46.
3. Joe H. Chow, Juan J. Sanchez-Gasca. Power System Modeling, Computation, and Control. JohnWiley & Sons Ltd: USA. 2020.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Научная статья

Скаковская А.Н.

Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе,
доцент кафедры прикладной математики

Аннотация

Мобильные устройства не позволяют реализовать сложные алгоритмы задачи классификации объектов. В работе дано описание решения распознавания образов на примере искусственных нейронных сетей, которые могут быть реализованы в качестве однослойного или многослойного перцептрона.

Ключевые слова: искусственные, нейронные, сети, распознавание, образ, применение, многослойный, перцепtron.

Application of neural networks for pattern recognition
Research article

Skakovskaya A.N.

Branch of Moscow State University named M.V. Lomonosov in Sevastopol,
Associate Professor, Department of Applied Mathematics

Abstract

Mobile devices don't allow to implement complex algorithms classification problem of objects. The paper describes the recognition solutions for example of artificial neural networks which may be implemented as a single layer or a multilayer perceptron.

Keywords: artificial, neural, networks, recognition, image, application, multilayer, perceptron.

Актуальной задачей современной науки следует считать использование искусственных нейронных сетей с целью определения, распознавания и последующей классификации различных объектов, присутствующих на конкретном изображении. Указанную задачу следует считать актуальной, поскольку во многих технических науках важно максимально качественно распознать и определить сущность объектов, которые имеются на изображении.

Хотя один нейрон и способен выполнять простые процедуры распознавания, сила нейронных вычислений происходит от соединений нейронов в сетях. Простая сеть состоит из группы нейронов, образующих слой, как показано в правой части рис. 1.

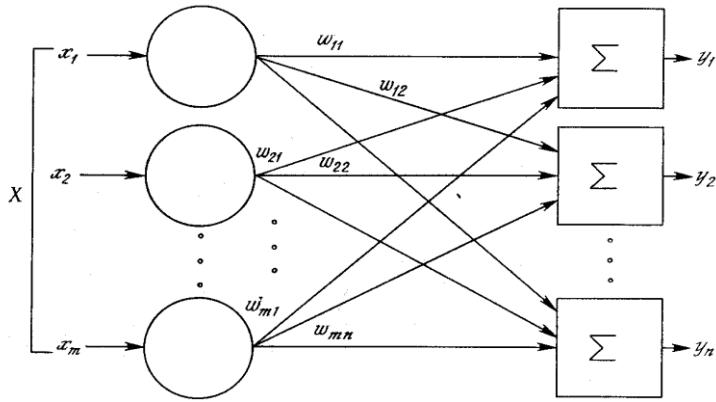


Рисунок 1. Однослойная нейронная сеть

Здесь вершины-круги слева служат для распределения входных сигналов. Они не выполняют каких-либо вычислений, следовательно, не считаются слоем. Поэтому они обозначены кругами, что и позволяет отличать их от вычисляемых нейронов, обозначенных квадратами. Каждый элемент из множества входов X отдельным весом соединен с каждым искусственным нейроном. Каждый нейрон выдает взвешенную сумму входов в сеть. В искусственных и биологических сетях многие соединения могут отсутствовать, могут иметь место также соединения между выходами и входами элементов в слое [1, с . 247].

Будем считать вес элементами матрицы W . Матрица имеет m строк и n столбцов, где m - число входов, а n - число нейронов. Например, $w_{3,2}$ - это вес, связывающий третий вход со вторым нейроном. Так, вычисление выходного вектора Y , компонентами которого являются выходы OUT нейронов, сводится к матричному умножению $Y = XW$, где Y и X - векторы-строки.

Многослойные сети (рис. 2) обладают значительно большими возможностями, чем однослойные. Однако многослойные сети могут привести к увеличению вычислительной мощности по сравнению с однослойными только в том случае, если активационная функция между слоями будет нелинейной.

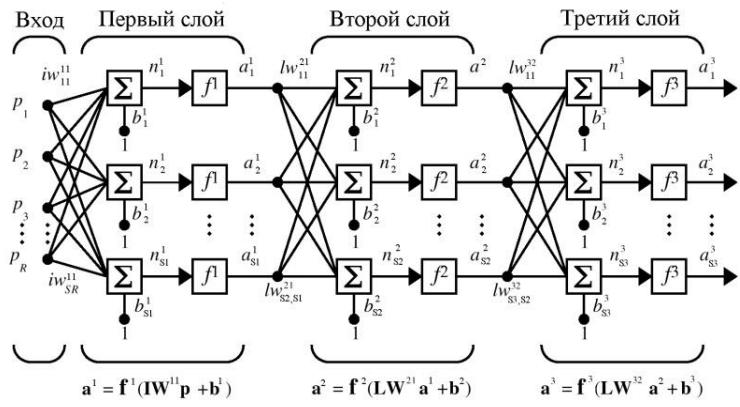


Рисунок 2. Многослойная нейронная сеть

Вычисление выхода слоя заключается в умножении входного вектора на первую весовую матрицу с последующим умножением результирующего вектора на вторую весовую матрицу ($XW1$) $W2$. Так как умножение матриц ассоциативно, то $X(W1W2)$. Следовательно, двухслойная линейная сеть эквивалентна одному слою с весовой матрицей, равной произведению двух весовых матриц. Таким образом, для линейной активационной функции любая многослойная линейная сеть может быть заменена эквивалентной однослойной.

Важной частью любой нейронной сети является способность к обучению. В книге [1, с . 317] показана попытка классифицировать различные алгоритмы обучения персептрона, называя их системами подкрепления.

Система подкрепление - это любой набор правил, на основании которых можно изменять со временем матрицу взаимодействия (или состояние памяти) персептрана. Описывая эти системы подкрепления и уточняя возможные их виды, Розенблат основывался на идеях Д. Хебба об обучении, предложенных им в 1949 году, которые можно перефразировать в правило, состоящее из двух частей [1, с . 577]: если два нейрона с обеих сторон синапса (соединения) активизируются одновременно (то есть синхронно), то прочность этого соединения возрастает. И если два нейрона с обеих сторон синапса активизируются асинхронно, то такой синапс ослабляется или отмирает.

Сеть обучается, чтобы для некоторого множества входов X давать желаемое множество выходов Y . Каждое такое входное (или выходное)

множество рассматривается как вектор. Обучение осуществляется путем последовательного предъявления входных векторов с одновременным налаживанием весов в соответствии с определенной процедурой. В процессе обучения веса сети постепенно становятся такими, чтобы каждый входной вектор вырабатывал выходной вектор. Различают алгоритмы обучения с учителем и без учителя, детерминированные и стохастические. Обучение с учителем предполагает, что для каждого входного вектора X существует целевой вектор Y^T , который необходим для выхода. Вместе они называются обучающей парой. Сеть обучается для некоторого количества таких учебных пар (обучающего множества). В ходе обучения считывается входной вектор X , вычисляется выход сети Y и сравнивается с соответствующим целевым вектором Y^T , разница $D \sim Y^T - Y$ с помощью обратной связи подается в сеть и изменяются веса W в соответствии с алгоритмом, который минимизирует ошибку ε . Считывания векторов обучающего множества и наладка весов выполняется до тех пор, пока суммарная ошибка для всего учебного множества не достигнет заданного низкого уровня.

Обучение без учителя является более правдоподобной моделью обучения в биологической системе. Развитая Кохоненом, она не нуждается в целевом векторе для выходов и, следовательно, не требует сравнения с идеальными ответами [3, с . 37]. Современные алгоритмы обучения были разработаны на основании концепций Хебба. Он описал модель обучения без учителя, в которой синаптическая сила возрастает, если активированы оба нейрона, источник и приемник [2, с . 375]. Таким образом, часто используемые пути в сети усиливаются, и феномен обучения через повторение получает объяснение.

В искусственной нейронной сети, выполняющей обучение по Хеббу, наращивание весов определяется произведением уровней возбуждения, передающего и принимающего нейронов. Это можно записать в виде:

$$w_{ij}(e + 1) = w(e) + \alpha OUT_i OUT_j,$$

где $w_{ij}(e)$ - вес от нейрона i к нейрону j к установке; $w_{ij}(e + 1)$ - вес от нейрона i к нейрону j после отладки, α –коэффициент скорости обучения, OUT_i - выход нейрона i и вход нейрона j , OUT_j - выход нейрона j ; e - номер эпохи.

В работе дан анализ нейронных сетей, разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм однослойного перцептрона для задачи распознавания рукописных цифр. Описана модель, позволяющая оптимизировать алгоритм распознавания цифр (для однослойного) и букв (для многослойного) перцептрона. По сравнению с существующими аналогами они менее затратны к ресурсам, что наилучшим образом подойдет для их реализации на мобильных платформах, в качестве приложения для распознавания цифровых, буквенных и других объектов.

Список литературы

1. Хайкин. С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.:Вильямс, 2006. – 1104 с.
2. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е.: Глубокое обучение. – Спб.: Питер, 2020. – 480 с.
3. C.-L. Liu, F. Yin, D.-H. Wang, and Q.-F. Wang. Chinese Handwriting Recognition Contest. In Chinese Conference on Pattern Recognition, 2010.

**ПЕРЕХОД ОТ АНАЛОГОВОГО МЫШЛЕНИЯ К ЦИФРОВОМУ В ОБЩЕСТВЕ КАК
ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ, БИЗНЕСА И НАУКИ СТРАНЫ**
Научная статья

Царюк Д. А.

Московский государственный технический университет им. Баумана,
выпускник специалитета;
ФГБОУ ВО "Российский государственный социальный университет",
магистрант г. Москва

Аннотация

В научной статье уточняется актуальность автоматизации и цифровизации элементов систем управления в различных сферах труда. По нашему мнению, это ускорит переход в цифровое общество, а также к цифровой экономике. Достижение выделяемой нами цели не требует дополнительных разработок с технической стороны, так как современные технологии способны справится с поставленной задачей в полной мере. Главной стороной вопроса остается человек и доработка реализуемой системы управления. В работе отмечается, что применение экономически-эффективных моделей, обрабатываемых и моделируемых ЭВМ, способствуют оживлению испытанных систем управления используемых как в сферах бизнеса, на производствах и в прочих областях. Такой подход позволит России сохранить тенденцию устойчивого развития, включающую использование технологий, апробированных в других странах и адаптированных под наш менталитет и законодательство. Как необходимое условие успеха, нами приводится обоснование в пользу постоянного повышения образования граждан.

Ключевые слова: кибернетизация, цифровая экономика, управление, системность общества, образование

**THE TRANSITION FROM ANALOGUE TO DIGITAL THINKING IN SOCIETY
AS AN ELEMENT OF DEVELOPMENT OF ECONOMY, BUSINESS AND SCIENCE OF
THE COUNTRY**
Research Article

Tsariuk D.A.

Moscow State Technical University. Bauman, graduate of the specialty;
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Russian State Social University", undergraduate

Abstract

The scientific article clarifies the relevance of automation and digitalization of elements of control systems in various spheres of work. In our opinion, this will accelerate the transition to a digital society as well as a digital economy. Achievement of the goal allocated by us does not require additional developments from the technical side, since modern technologies are able to cope with the task in full. The main side of the issue is the person and the refinement of the implemented control system. The paper notes that the use of cost-effective models, processed and simulated by computers, contribute to the revitalization of proven control systems used both in business, in production and in other areas. This approach will allow Russia to maintain the trend of sustainable development, including the use of technologies tested in other countries and adapted to our mentality and legislation. As a necessary condition for success, we provide a rationale in favor of continuous improvement of the education of citizens.

Keywords: cybernetization, digital economy, management, systemic society, education

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта», 14-22 апреля 2022 года, г. Севастополь

Введение

В XVII веке Уильям Петти, являющийся одним из родоначальников экономической статистики был заинтересован в использовании накопленного опыта и его сопоставления с будущим развитием [4]. Он был заинтересован в статистических вычислениях и сопоставлении, по проблемам населения земного шара в разные периоды времени, сравнительном богатстве стран и ином на основании собранных им данных, предположительных и произвольных цифр. Однако технологии тех времен не позволяли выполнить данную задачу эффективно с точки зрения высокой скорости и точности по сравнению с ЭВМ нашего времени.

Из успехов развития сферы технологий в нашем веке следует, что перед обществом, заинтересованном в повышении уровня производительности труда и его оптимизации, встает задача по использованию технических возможностей во все большей мере [6]. Так как существующие системы управления и организации до цифровой революции в основном носили «аналоговый характер», то, по нашему мнению, необходимость в изобретении новых систем не так значительна, как перевод аналогового мышления в цифровое. Одним из элементов, сопровождающих этот переход, является потребность в повышение междисциплинарного развития общества. Ведь для получения специалистов способных использовать принципиально технику и выполнять перспективные функции, необходимо организовать систему по обучению специалистов.

Акцентируя внимание на использовании современных технологий для обработки и передачи больших данных, повышения скорости выполнения задач по развитию страны, а также сведения к минимуму неблагоприятных событий стоит упомянуть о научных изысканиях в области экономической кибернетики. Ведута Е. Н. актуализирует проблему перехода на цифровую экономику за счет внедрения систем «Big Data» и блокчейна. Автором приводится ряд обоснований в пользу применения экономически-эффективных моделей на основе анализа данных компьютером для качественного прогнозирования развития экономики

страны и повышения производительности труда на предприятиях аз счет снижения «ручной» и рутинной работы [2].

Как показывает краткий анализ, избранная нами тема является неисчерпаемо актуальной как у наших предшественников, так и современников, предлагающих решение научных проблем схожими методами. В этой связи представляется значимым проведение исследования, объект которого – развитие общества и «оживление» старых систем управления за счет использования существующих технологий. Избранный же предмет исследования – цифровизация общества.

Актуальная цель такой работы – уточнение особенностей цифровизации современного общества и развития цифровой экономики как одного из элементов в развитии страны.

Из постоянного развития технологий и повышения конкурентоспособности наших партнеров в мировом пространстве следует повышение требований от работодателей перед соискателями труда. Гражданам жизненно необходимо заниматься междисциплинарным развитием и получением новых компетенций и навыков для обеспечение собственного спроса на рынке труда. Активное поддержание знаний на требуемом уровне, позволит гражданину соответствовать общемировым трендам, использовать современные технологии, повышать собственную статусность на рынке труда и поддерживать общественное движение в сторону технологически-развитого общества. По нашему мнению, одной из составляющих технологически-развитого сообщества это возможность прогнозирования использования экономических, технологических и человеческих ресурсов. А применение моделирования систем, занимающихся прогнозированием и управлением, перед их реальным применением позволяет исключить или спрогнозировать возможные неблагоприятные исходы. Нами выделяется необходимость в моделировании подобного рода систем с целью исключения ошибок и деталей, нарушающих её гармоничность, из рабочей модели или сведения к минимуму

отрицательного воздействия неблагоприятных событий. При работе со столь глобальными задачами сам индивид ввиду человеческих факторов может не так быстро справиться по сравнению с ЭВМ, а также эффективно выполнить все условия системы. Однако даже при переводе части задач, относящихся к управлению, расчетам и сведению данных, отведенных машинам, требуются квалифицированные специалисты способные управлять ими. Таким образом, нами выделяется необходимость в сохранении и развития системы обучения широкопрофильных специалистов способных управлять ЭВМ, которым отведены узконаправленные задачи. В широкопрофильности образования нами выделяются такие навыки как высокая скорость в адаптации к быстроизменяющимся условиям в работе, способность к аналитическому мышлению и достаточный уровень образованности в сфере экономики. Эти параметры способны определять уникальность специалиста в большинстве его профильных сфер.

Говоря об образованности в сфере экономики, стоит отметить такие современные новые тренды как экономическая кибернетика и цифровая экономика [5]. Особо выделим необходимость в создании киберпространства и киберсистемы управления им. Обычно под понятием киберсистема предполагается имитация поведения реальных объектов, реакция которых вызвана управлением воздействием и событиями внешней среды в режиме реального времени [2]. Отметим, что развитие экономических киберсистем было заложено еще в СССР [3]. По нашему мнению, использование экономико-математической модели с одновременным привлечением современных ИТ-технологий обеспечит в полной мере контролируемое и планируемое развитие экономики страны.

Таким образом нами выделяется необходимость:

- в проведении дальнейших исследований на данную тематику и проведении первичного социологического исследования среди граждан на

предмет их представлений о необходимости построения систем управления за счет использования элементов киберсистем;

- анализа уровня экономического образования и ИТ-технологий среди молодых граждан («молодежь» в возрасте от 18-35 лет как люди, предрасположенные к самому высокому уровню трудовой активности [1];
- выявление существующих методов и методик, используемых нашими партнерами в общемировом пространстве по решению схожих задач и пересекающихся с нашим исследованием.

В дополнении отметим, что способность непрерывно развивать существующие технологии в различных сферах труда, обеспечит наиболее грамотный переход к цифровой экономике, основанной на принципах прогнозирования, моделирования и применения экономически-эффективных моделей.

Список литературы

1. Федеральный закон от 30 декабря 2020 г. N 489-ФЗ "О молодежной политике в Российской Федерации" [Принят Государственной Думой 23 декабря 2020 года Одобрен Советом Федерации 25 декабря 2020 года]
2. Ведута Е.Н., Жакубова Т.Н., Асанова Е.А. Стратегия цифровой экономики как инструмент глобализации// МЕНЕДЖМЕНТ И БИЗНЕС-АДМИНИСТРИРОВАНИЕ Учредители: ЗАО "ЭЖ Медиа"; М.; 2017. С.4-17.
3. Н.И. Ведута. Экономическая кибернетика. Минск: Наука и техника, 1971.
4. Петти В. Экономические и статистические работы. – М.:Соцэкгиз, 1940. – 324 с
5. <https://aurora.network/articles/6-jekonomika/90224-ot-ruchnogo-upravlenija-k-kibersisteme>
[https://www.cnews.ru/articles/2019-11-25_chто_нужно_знат_о_цифровизации_промышленности](https://www.cnews.ru/articles/2019-11-25_chto_nuzhno_znat_o_tsifrovizatsii_promyshlennosti)

КОЛЕБАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА, ВЫЗВАННЫЕ ДВИЖУЩИМИСЯ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Научная статья

Ярошенко А.А.^{1,2*}, Маленко Ж.В.^{1,2}, Маркина Е.В.¹, Костюкова Л.О.¹, Бабиков И.И.¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия.

²Филиал ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова» в г. Севастополь, Севастополь, Россия.

*Корреспондирующий автор (yaroshenko.575@yandex.ru)

Аннотация

В работе исследуется поведение ледяного покрова при движении по нему различного рода нагрузок. Ледяной покров моделируется тонкой упругой изотропной пластиной, плавающей на поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины. Для решения поставленной задачи применяются методы теории интегральных преобразований, теории функции комплексного переменного и асимптотические методы. Проводится анализ волн, образующихся в этом случае. Исследуется влияние скорости перемещения источника возмущений, а также сжимающих усилий и толщины ледяного покрова на амплитуды изгибоно-гравитационных волн.

Ключевые слова: ледяной покров, упругая пластина, изгибоно-гравитационные волны, движущиеся возмущения, критическая скорость.

ICE COVER FLUCTUATIONS CAUSED BY MOVING DISTURBANCES

Research article

Yaroshenko A.A.^{1,2*}, Malenko Zh.V^{1,2}, Markina E.V.¹, Kostyukova L.O.¹, Babikov I.I.¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia.

²Branch of the Admiral F.F. Ushakov State Maritime University in Sevastopol, Sevastopol, Russia.

*Corresponding author (yaroshenko.575@yandex.ru)

Abstract

The paper investigates the behavior of the ice cover when moving through it with various kinds of loads. The ice cover is modeled by a thin elastic isotropic plate floating on the surface of an ideal incompressible fluid of finite depth. To solve this problem, methods of the theory of integral transformations, the theory of the function of a complex variable and asymptotic methods are used. The analysis of the waves formed in this case is carried out. The influence of the velocity of movement of the source of disturbances, as well as compressive forces and the thickness of the ice cover on the amplitudes of flexural-gravitational waves is investigated.

Keywords: ice cover, elastic plate, flexural-gravitational waves, moving disturbances, critical speed.

Введение

В зимний период ледяной покров на реках и озерах в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, используется для доставки по нему грузов. С другой стороны, для продления навигации используются суда на воздушной

IV Международная Черноморская научно-практическая конференция «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта», 14-22 апреля 2022 года, г. Севастополь

подушке, которые двигаясь с определенной скоростью, разрушают ледяной покров. В связи с этим поведение плавающего ледяного покрова при движении по нему движущихся возмущений строится в зависимости от того, является ли разрушение льда желательным или нежелательным [1, 2]. Таким образом, возникает необходимость для разработки рекомендаций по режиму движения различного рода нагрузок.

Постановка и решение задачи

Пусть на поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины плавает ледяной покров, который моделируется тонкой упругой пластинкой. По поверхности пластины перемещается с постоянной скоростью v нагрузка вида: $p = p_0 f(x, y)$.

Задача сводится к решению уравнения Лапласа:

$$\Delta\varphi = 0, \quad -H < z < 0, \quad -\infty < x, y < \infty,$$

со следующими граничными условиями:

$$D_1 \nabla^4 \zeta + Q_1 \Delta_l \zeta + \chi_1 v^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \zeta + \frac{v}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial x} = -p_1 f(x, y) \text{ при } z=0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ при } z=-H, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z} = v \frac{\partial \zeta}{\partial x} \text{ при } z=0,$$

где φ - потенциал скорости, $D_1 = D/\rho g$, $Q_1 = Q/\rho g$, $\chi_1 = \rho_1 h/\rho g$, $p_1 = p_0/\rho g$, $D = Eh^3/(12(1-\mu^2))$, $\nabla^4 = \Delta_l^2$, $\Delta_l = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$, ρ - плотность жидкости, E , h , ρ_1 , μ - модуль нормальной упругости, толщина, плотность и коэффициент Пуассона пластиинки, Q - сжимающее усилие, ζ - возвышение поверхности пластина-жидкость.

Применяя для решения задачи преобразование Фурье по горизонтальным координатам x , y , получим интегральное представление для возвышения поверхности пластина-жидкость [3]. Далее, для полученного интегрального представления, применяя методы теории функций комплексного переменного и

метод стационарной фазы, получим асимптотическое выражение для возвышения поверхности пластина-жидкость.

При $0 < v < v_0$ волн с амплитудой затухания $O(R^{-1/2})$ не образуется. Наблюдается статический прогиб пластины.

Если $v_0 < v < v_1$, то образуется одна система упругих волн $\zeta = \zeta_3 + O(R^{-1})$, которая распространяется как впереди источника возмущений, так и за ним.

Если $v_1 < v < (gH)^{1/2}$, то образуется три системы волн $\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + O(R^{-1})$.

Волны ζ_1 и ζ_2 распространяются за источником возмущений. Система волн ζ_1 носит характер поперечных, а ζ_2 продольных корабельных волн, деформированных за счет упругих и массовых сил пластинки. Волны ζ_3 обусловлены исключительно упругими силами и при отсутствии пластинки не образуются.

При $v > (gH)^{1/2}$ образуется две системы волн $\zeta = \zeta_2 + \zeta_3 + O(R^{-1})$. Это продольные корабельные ζ_2 и упругие ζ_3 волны.

Для количественной оценки численные расчеты проводились для следующих параметров ледяного покрова и жидкости: $E = 3 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, $\rho = 870 \text{ кг/м}^3$, $\rho_1 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 0,34$, $H = 10^2 \text{ м}$.

На рис. 1 приведено пространственное распределение амплитуды изгибо-гравитационной волны ζ_3 для толщины ледяного покрова равной 0,5м и $Q=0$. Скорость движения нагрузки близка к v_0 ($v=12 \text{ м/с}$).

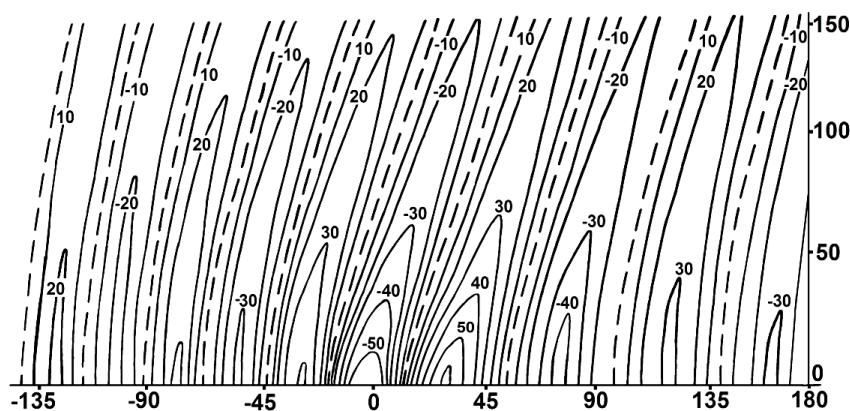


Рисунок 1. Амплитуда упругой изгибо-гравитационной волны ζ_3 .

Максимальное значение амплитуды находится по трассе движения источника. Если скорость движения близка к v_1 , то максимальное значение амплитуды за источником смещается вправо и влево от трассы.

Заключение

Существует три значения критических скоростей (v_0 , v_1 и $(gH)^{1/2}$), при которых меняется характер волнового движения. Здесь v_0 – минимальное значение фазовой скорости изгибо-гравитационной волны, v_1 – скорость совпадения фазовых скоростей упругой, гравитационной и изгибо-гравитационной волн, $(gH)^{1/2}$ – максимальное значение фазовой скорости гравитационной волны.

При увеличении толщины ледяного покрова уменьшается амплитуда упругой волны для любых скоростей перемещения нагрузки. На амплитуду поперечной волны увеличение толщины ледяного покрова существенного влияния не оказывает. При $v_1 < v < (gH)^{1/2}$ амплитуда продольной волны уменьшается, если увеличивается толщина льда, а при $v > (gH)^{1/2}$ существенного влияния толщина льда не оказывает. Упругая волна имеет наибольшую амплитуду.

На амплитуду поперечной ζ_1 и продольной ζ_2 волн сжимающее усилие существенного влияния не оказывает. Если $v_0 < v < v_1$, то увеличение сжимающего усилия приводит к уменьшению амплитуды упругой волны ζ_3 на удалении от источника и к увеличению амплитуды при приближении к трассе движения. При $v > v_1$ амплитуда упругой волны ζ_3 увеличивается при увеличении сил сжатия.

Список литературы

1. Букатов А.Е. Волны в море с плавающим ледяным покровом. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017. 360 с.
2. Козин В.М. Способы определения критических скоростей нагрузок, движущихся в условиях сплошного ледяного покрова (обзор) // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2019. №2(39). С. 30-38.

3. Маленко Ж.В., Ярошенко А.А. Изгибио-гравитационные волны в море с ледяным покровом от движущихся возмущений // Морские интеллектуальные технологии 2021. Т. 4. №2. С. 157-161.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – Шпирко О.А., доцент, кандидат физико-математических наук, директор Филиала МГУ в городе Севастополе

Заместитель главного редактора – Гришин И.Ю. профессор, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе и ИТ-технологиям.

Редакция

Балтина Э.Э., МНС научного отдела, технический редактор;

Олейников Н.Н., МНС научного отдела, технический редактор;

Юдина А.В., заведующая учебным медиацентром, технический редактор.

Научное издание

Сборник материалов IV Черноморской международной научно-практической конференции Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Проблемы информатики, управления и искусственного интеллекта» (17-22 мая 2022 года, г. Севастополь) [Электронный ресурс] / Под ред. О.А. Шпирко. - Эл. изд. - Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2022 г. – 1 электрон. опт. диск (CD - Rom). - Сист. требования: Adobe Reader; экран 10'.- 91 с.- ISBN 978-5-907330-99-3. DOI: 10.35103/SMSU.2022.11.80.001

Электронное издание сборника доступно на официальном сайте

Филиала МГУ в г. Севастополе

(раздел «Наука» – «Научные конференции и издания»):

www.sev.msu.ru

Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в

г. Севастополе

299001 г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7

Тел. (факс): +7(8692)48-79-07

Электронная почта: conf@sev.msu.ru

