



ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ XXI ВЕКА.
ВЫЗОВЫ
И ВОЗМОЖНОСТИ

4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
АСПЕКТ
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

47

АЛЬТРУИЗМ
В ОБЛАСТИ
ДАнных

63

ПО ДОРОГАМ
КЛИО
И АСКЛЕПИЯ

73

Наука и инновации

№11 (249)
НОЯБРЬ 2023

научно-
практический
журнал



Эмерджентность:
контекст
имеет значение

ISSN 1818-9857



9 771818 985001 11

ISSN 2412-9372 (online)

НАУКА И ИННОВАЦИИ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИЗДАНИЕ
ПО ВСЕМ НАУЧНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ

Год основания 2003 г.

Учредитель – Национальная академия
наук Беларуси

20 лет выхода журнала это:

- 240 номеров
- 5 тыс. эксклюзивных авторских материалов
- 1000 журналистских работ
- 40 000 онлайн-визитов в год
- 25 тыс. уникальных посетителей

- работаем на престиж науки и образования в Беларуси
- налаживаем информационный обмен между учеными и общественностью
- популяризируем достижения отечественной науки, техники и технологий
- формируем инновационное пространство и общество знаний

В каждом выпуске важнейшие события отечественной науки,
государственной научной и научно-технической политики

Практические результаты внедрения достижений науки

Вопросы инновационного развития, менеджмента и трансфера технологий

Состояние цифровой трансформации различных отраслей экономики


Концептуальные и практические подходы к подготовке кадров высшей
квалификации



ПОДПИСНЫЕ
ИНДЕКСЫ:


00753
007532

220072, г. Минск,
ул. Академическая, 1-129

 (+375 17) 351-14-46
факс: (+375 17) 379-16-12

 nii2003@mail.ru

 innosfera.belnauka.by
www.innosfera.by

 [@science_innovations](https://www.instagram.com/science_innovations)



Зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь, свидетельство о регистрации №388 от 18.05.2009 г.

Учредитель:

Национальная академия наук Беларуси

Редакционный совет:

В.Г. Гусаков – <i>председатель совета</i>	А.Е. Дайнеко А.И. Иванец
П.А. Витязь – <i>зам. председателя</i>	Н.С. Казак А.В. Кильчевский
С.А. Чижик – <i>зам. председателя</i>	Э.И. Коломиец С.А. Красный
Ж.В. Комарова	М.В. Мясникович
В.Ф. Байнев	О.Г. Пенязьков
О.Ю. Баранов	Ф.П. Привалов
А.И. Белоус	С.П. Рубникович
В.Г. Богдан	О.О. Руммо
С.В. Гапоненко	С.В. Харитончик
В.Л. Гурский	И.П. Шейко
	А.Г. Шумили
	С.С. Щербаков

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович	Татьяна Жданович
Наталья Минакова	Юлия Василюшина

Дизайн и верстка:

Алексей Петров

Адрес редакции:

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129.
Тел.: (017) 351-14-46,
e-mail: nii2003@mail.ru,
www.innosfera.belnauka.by

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)
00 753 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 9,8. Тираж 504 экз.
Цена договорная.
Подписано в печать 20.11.2023.

Издатель: РУП «Издательский дом «Беларуская навука». Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013. г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №264.

© «Наука и инновации»

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна.
За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей.
Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Содержание

ТЕМА НОМЕРА: ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ: КОНТЕКСТ ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ

Жанна Комарова

Эмерджентность XXI века. Встреча вызовов и возможностей 4

В рамках круглого стола представители различных научных направлений обсуждают эмерджентность и то, когда сложные системы приобретают новые свойства и можно ли их объяснить или спрогнозировать.

Борис Панышин

Результативная цифровая культура как фактор снижения рисков эмерджентности искусственного интеллекта 13

Автор обращает внимание исследователей на эмерджентные способности искусственного интеллекта и влияние цифровой культуры на развитие взаимодействий в изменяющейся цифровой среде.

Андрей Колесников

Проблема первоначала 22

Рассмотрена проблема первоначала космогенеза, имеющая прямое отношение к природе «я», а через нее и к проблеме природы сил, формирующих и движущих космоэволюционные процессы.

Андрей Денисов, Светлана Пашкевич

Трехмерное культивирование клеток и биопринтинг 27

Представлены подходы к формированию плоских и объемных клеточных паттернов с применением метода биопринтинга, рассмотрены особенности трехмерного культивирования, необходимые для самоорганизации в системе взаимодействующих клеток.

Игорь Прись

Об эмерджентности групповых убеждений и знаний 32

Рассмотрены некоторые аспекты предполагаемой эмерджентности групповых эпистемических свойств – убеждений и знаний.

Александр Посталовский

Социальные сети и эмерджентность медиaprостранства 36

Исследуются социальные сети как результат проявления эмерджентности в медиaprостранстве, ставший принципиально новым субъектом воспроизводства информационного контента.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

Екатерина Рожковская, Виолетта Триллер

Проблемы и приоритеты научно-технологической политики в условиях структурной трансформации экономики 40

Авторы обосновывают необходимость разработки в Республике Беларусь документа, нацеленного на купирование проблем в научной и инновационно-технологической сфере и формирование стратегии технологического развития.

Татьяна Гораяева

Технологический аспект импортозамещения в Республике Беларусь 47

В статье анализируются проблемы реализации в Республике Беларусь политики импортозамещения, разработаны предложения по ее увязке с проблематикой обеспечения технологической безопасности государства.

Сергей Касперович, Екатерина Шарапа

Интеграция науки, образования и производства как фактор развития системы высшего образования 52

Рассмотрены организационные и правовые условия создания в Беларуси интегрированной образовательной, научной и производственной среды для системного решения вопросов развития высшего образования и инновационной экономики.

ИННОВАЦИОННАЯ РАЗРАБОТКА

Валерий Гременок, Михаил Тиванов

Современные тонкопленочные фотоэлектродпреобразователи на основе халькогенидных материалов 57

Описаны все виды тонкопленочных солнечных элементов и эволюция их вариантов на основе халькогенидных материалов, представлен сценарий развития трех наиболее перспективных типов.

ЦИФРОВАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Ирина Емельянович

Альтруизм в области данных 63

На основе публикации руководящих принципов ЮНЕСКО «Открытые данные для искусственного интеллекта» рассматриваются проблемы, существующие при работе с открытыми данными, необходимыми для содействия цифровой трансформации и создания инклюзивных обществ знаний.

*Юрий Леоновец, Александр Кувшинов,
Александр Жуковский, Руслан Корпанов, Ольга Лобач,
Людмила Сорока*

Оценка эффективности применения комплекса защиты растений на базе агродрона А60-Х 68

Анализируются преимущества использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для точного земледелия, приводятся расчеты экономического эффекта.

ЛАБОРАТОРИЯ НАДЕЖД

Татьяна Жданович

По дорогам Клио и Асклепия 73

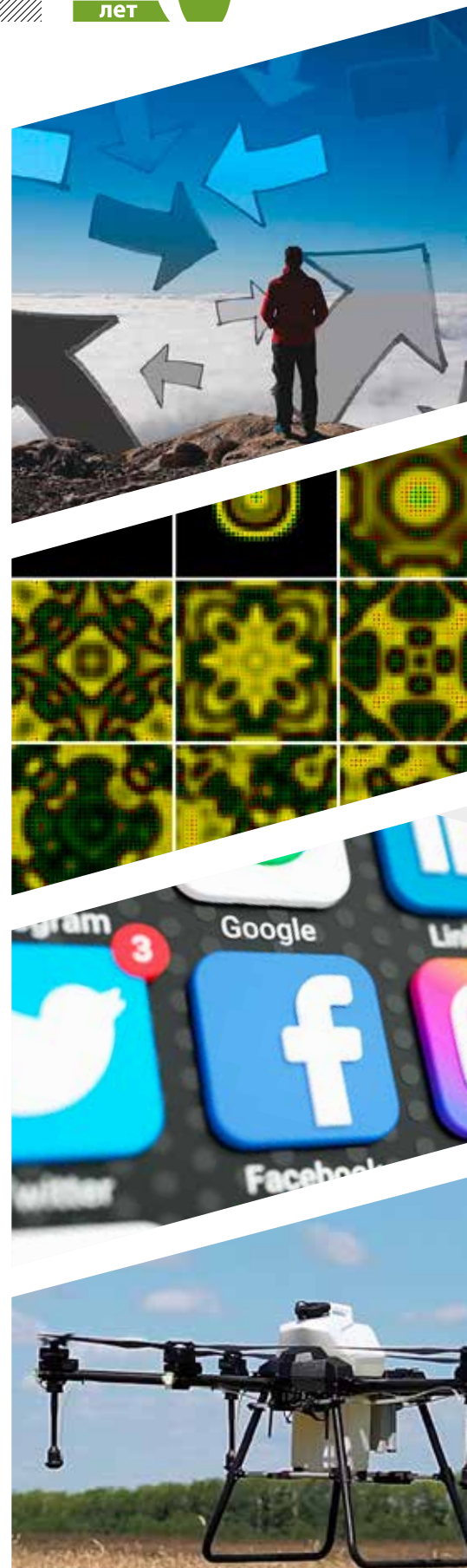
Рассказ о том, как молодой ученый Алексей Каплиев нашел свой главный научный перекресток – истории и медицины.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Евгений Воропаев, Ольга Осипкина,
Алла Воропаева, Сергей Ачинович*

Оценка транскрипционной активности генов-циклинов в тканях желудка у пациентов, инфицированных *Helicobacter pylori* 79

Представлены результаты исследования особенностей транскрипционной активности генов-циклинов в образцах тканей желудка у пациентов со злокачественным новообразованием, предложен новый молекулярно-генетический метод диагностики.



ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ XXI века

Идея о том, что целое может быть больше, чем сумма его частей, имеет многовековую историю и философские корни. Этот принцип известен как «эмерджентность», или «эмерджентное свойство». Он был формализован в работах таких мыслителей, как Аристотель, Г. Гегель, Р. Эмерсон и нашел свое отражение в различных областях знаний, включая философию, физику, биологию, системную теорию. Под эмерджентностью понимается наличие у системы свойств, которые не присущи составляющим ее элементам. Они – результат сложных взаимодействующих процессов, происходящих на уровне системы в целом. Вопрос, когда сложные системы приобретают новые свойства, которые нельзя объяснить или прогнозировать на основе свойств и поведения отдельных ее компонентов, до сих пор остается одним из фундаментальных. Чтобы понять специфику этого таинственного и философски значимого понятия современной науки – эмерджентности, мы обратились к представителям самых различных научных направлений.

ВСТРЕЧА ВЫЗОВОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ

– Свойство эмерджентности исследуется в разных науках при анализе структурной, содержательной и функциональной уникальности той или иной системы. Давайте определимся с терминологией: что скрывается под понятием «система» и причем тут эмерджентность?



Олег Кобяк,
завотделом экономической социологии
Института социологии НАН Беларуси,
доктор социологических наук, профессор

– На мой взгляд, прекрасно помогает ответить на этот вопрос, и в достаточно доступной форме, культовый фильм Люка Бессона «Пятый элемент», вышедший в свет в 1997 г. Чтобы победить Абсолютное Зло, возникающее раз в 5 тыс. лет в глубинах Вселенной и появляющееся вблизи Земли, героям нужно было породить спасительный Луч жизни. Для этого следовало собрать вместе, расставить особым образом и активизировать 5 элементов, связанных между собой особой энергией, – это и есть система. Она состоит из 4 элементов –

камней, воплощающих стихии воздуха, огня, земли и воды, и удивительного 5-го – совершенного существа, прекрасной девушки. А луч, возникающий в результате их взаимодействия, и представляет собой эмерджентность, тот самый эффект, который не смог бы породить ни один из элементов в отрыве от остальных. Даже 5-й элемент – совершенная девушка – ничего не может достичь без мистических камней. Таким образом, эмерджентность – свойство всей системы, которое является продуктом взаимодействия ее структурных составляющих.



Сергей Кругликов,
генеральный директор ОИПИ
НАН Беларуси, доктор военных наук,
кандидат технических наук, доцент

– Понятие «система» имеет достаточно много значений в зависимости от области знаний: живые, социальные, технические, организационно-технические и т.д., но в целом это множество взаимосвязанных элементов, составляющих единое целое, взаимодействующее с внешней средой. Что касается термина «эмерджентность», то он возник в конце XIX в. и имеет важную фундаментальную характеристику, суть которой в том, что возникающее новое свойство системы не сводится к законам, характеризующим ее свойства на более низких уровнях сложности, и представляет собой новые, непредсказуемые и нередуцируемые ее особенности. При этом многим точкам зрения на эмерджентность присущ взгляд как на систему.



Александр Данилов,
завкафедрой социологии
факультета философии
и социальных наук БГУ,
член-корреспондент
НАН Беларуси, профессор

– Эмерджентность – наличие у системы определенных свойств, которыми не обладают ее компоненты. Очень точно характеризовала эту ситуацию философ Е.Н. Князева, когда писала: «Дух сегодняшнего времени замечательно отражают слова древнегреческого историка Еврипида о том,

что ожидаемое не случается, а неожиданному Бог открывает дверь». Очевидно, что теория систем является одной из фундаментальных концепций современного социально-гуманитарного знания. Ее возникновение и развитие было обусловлено необходимостью научного представления об обществе и его сферах как о целостной, единой структуре, в которой деятельность акторов политико-управленческих процессов, государственных и социальных институтов направлена на эффективное функционирование и развитие. Система обладает определенными свойствами: целостностью и делимостью, наличием устойчивых связей, организацией и эмерджентностью. В этой совокупности можно выделить каждый отдельный сегмент. Однако они могут существовать только в системе, которая, в свою очередь, утрачивает полноценную дееспособность в отсутствие одного, даже самого мелкого элемента. Для функционирования всей системы между ее компонентами должны существовать определенные алгоритмы взаимодействия, организация и распределение функций, несоблюдение этих условий приводит к разрушению ее структуры.



Сергей Щербаков,
академик-секретарь
Отделения физико-технических наук,
доктор технических наук,
профессор

– На мой взгляд, по своей сути эмерджентность близка к одному из основных законов диалектики – переходу из количества в качество. Например, в физике это может быть переход вещества из одной фазы в другую. Классический пример – начало кипения воды при достаточно большом количестве подводимого к ней тепла: когда достигается определенная критическая точка, происходит качественное преобразование. Также эмерджентность родственна синергетической парадигме современного естествознания, описаниям различных нелинейных эффектов, определяемых, в частности, свойствами материалов или особенностями конструкции, взаимодействию, а не сложению повреждений при нагружении деформируемых тел системой контактных и неконтактных сил. Похоже, что эмерджентность – в некоторой степени обобщающее понятие по отношению ко всем этим концепциям.

– Если эмерджентность – новое свойство системы, которое появляется при совокупности элементов в определенном порядке с определенными связями, то можно ли управлять ею, чтобы иметь на выходе только эффективные и полезные качества?

Олег Кобяк:

– Хотелось бы, но на практике вряд ли получится. Во-первых, все зависит от целей и задач того, кто управляет. Ведь один и тот же эффект можно обратить как во благо, так и во зло. В истории масса примеров, когда «благими намерениями вымощена дорога в ад». Во-вторых, очень многое зависит от управленца, пусть даже с самыми лучшими мыслями и устремлениями. Один из наиболее известных афоризмов российского политика В.С. Черномырдина – «хотели как лучше, а получилось как всегда» – не теряет своей актуальности. В-третьих, нельзя исключать элемент случайности. Известный специалист в области системного менеджмента Джамшид Гараедаги, рассуждая о ключевых факторах наступления любого события, полагает, что в среднем на одну треть все может зависеть от случайного стечения обстоятельств, то есть «упс-эффект» невозможно сбросить со счетов. Таким образом, крайне затруднительно построить даже теоретическую модель управления системами с целью достижения эмерджентности, где на выходе мы имели бы только эффективные и полезные качества.

Александр Данилов:

– На стадии прогнозирования возможно создание условий, при которых следует ожидать то или иное новое качество данной системы и тем самым держать ее в устойчивом положении. Но какой на выходе получится результат – положительный или отрицательный – дело очень даже спорное... Естественное исторически исходило из того, что, если процесс познан, можно предсказать его течение, а значит, можно и контролировать. Сегодня в результате успехов в деле создания новых технологий популярной стала идея о том, что человек в общем способен управлять всеми природными ресурсами. Между тем есть процессы, подчинить которые нельзя, потому что в принципе невозможно точно предсказать их ход. Как стало очевидно, такие процессы есть и в природе. Что же касается человека, то определяющие его особенности – творчество, диалог, любовь,

свободные поступки, на которых покоится нравственность, не могут управляться, ибо не могут контролироваться и прогнозироваться извне. Можно создавать более или менее благоприятные условия для развития науки или искусства, но управлять ими нельзя, точно так же как нельзя влиять на ценности, которые человек принимает или нет, но действует в соответствии с которыми он только на основе внутренней свободы.

Сергей Кругликов:

– Как правило, современные сложные системы являются многоцелевыми, а при многоцелевом управлении эмерджентность проявляется в решении задачи выбора цели с новым положительным эффектом.

Сергей Щербаков:

– Задача управления откликом системы на изменение входных параметров – безусловно, одна из основных. Если возникающие свойства прогнозируемы относительно изменения параметров, то возможно и решение задач, связанных с получением эффективных и полезных качеств. Например, взаимодействие поврежденных вследствие трения скольжения и неконтактного нагружения в паре трения приводит к резкому ухудшению работы данной пары по критериям и фрикционной, и механической усталости. Если же трение скольжения заменить на трение качения, то долговечность такой интенсивно повреждаемой пары неожиданно и значительно увеличится по сравнению с системой, работающей в условиях только трения качения или только механической усталости.

– Можно говорить о том, что эмерджентность – это рождение порядка из хаоса?

Александр Данилов:

– Не всегда так, а подчас наоборот, неизвестность и часто непредсказуемость результата может привести действующую и работающую систему к хаосу. А бывает наоборот, на какое-то время появление нового качества упорядочивает пошедшую вразнос систему и рождает порядок на каком-то новом уровне. В целом эмерджентность оценивается со знаком «плюс», ее эффект трактуется как инновационный. Однако данный концепт демонстрирует уязвимость допущения о возможности полностью управляемых событий и указывает на много-

образе степеней свободы, приводящих к реализации случайных последовательностей.

Сергей Кругликов:

– Полагаю, что самое время ввести понятие «отрицательная и положительная эмерджентность». С моей точки зрения, из хаоса может родиться новый эффект, но, как показывает опыт, он скорее будет отрицательным, на что обращали внимание основатели теории больших систем, утверждая, что бардак автоматизировать нельзя. Что касается положительной эмерджентности системы, то она связана с рекурсивностью, самоорганизацией и стратификацией.

Сергей Щербаков:

– Эмерджентность можно рассматривать как рождение порядка из хаоса, например, в термодинамических системах, описанных в неравновесной термодинамике. Однако резкое неожиданное изменение свойств системы может происходить и во вполне структурированных механических системах, не являющихся хаотическими вследствие уже упомянутого взаимодействия повреждений. В данном случае хаос – это скорее степень нашей неосведомленности о рассматриваемой системе.

– *Какие сферы деятельности наиболее подвержены эмерджентности?*

Сергей Щербаков:

– По моему мнению, наиболее восприимчивы к эмерджентным эффектам те сферы, которые подвергаются наименьшему регулятивному воздействию и нормативному ограничению. Это, очевидно, искусство и наука.

Олег Кобяк:

– Безусловно и прежде всего это научная сфера, в том числе прикладная наука и области так называемых культурно-креативных индустрий. То есть те направления, где максимизация эффекта посредством качественных скачков результативности функционирования системы – неотъемлемый фактор развития. И, судя по всему, число этих сфер будет прирастать. Уже сегодня большая наука – это удел творческих коллективов, команд специалистов, в которых поддерживается оптимальный баланс и высокое качество связей между ключевыми компетентами и референтами, ролевая и функциональная вза-

имозаменяемость, эмоциональная поддержка в контексте развитой организационной культуры. А далее, в русле объективно обусловленной потребности в расширенной интеллектуализации общества, все более и более весомую роль во всех областях производства будут играть надпрофессиональные, или «мягкие» навыки, ориентирующие включенных специалистов как раз на достижение синергизма в процессе сотрудничества. Так что эмерджентности в той или иной мере будут подвержены все сферы деятельности.

Сергей Кругликов:

– В целом, речь идет о направлениях, связанных с инновациями и технологическим развитием, которые чаще всего подвержены эмерджентности, поскольку именно в них возникают новые и неожиданные возможности и вызовы. В качестве примеров можно назвать информационные технологии и компьютерные науки, позволившие буквально в очень короткий промежуток времени создать искусственный интеллект, машинное обучение, квантовые вычисления и блокчейн; биотехнологии и генетику с их продвижением в генетическую инженерию, клонирование, генную терапию. Сюда же можно отнести прорывы в энергетике, электронике, медицине и других отраслях, которые уже привели к появлению новых материалов, таких как графен, наночастицы, метаматериалы и квантовые точки. Нельзя обойти вниманием и финтех-новации, связанные с прорывами в области цифровых платежей, криптовалют, роботизированного анализа данных и др.

Александр Данилов:

– Поскольку феномен эмерджентности относится к области системной науки и описывает свойства, явления или поведение, возникающие в комплексных системах, которые не могут быть объяснены или предсказаны только на основе знания о ее отдельных компонентах, то он присущ всем сферам общества и жизнедеятельности человека, особенно в современном мире. Однако в социальной, как одной из наиболее сложных и неоднозначных, где возможность прогнозирования и создания условий для удержания устойчивости наиболее высока, возможно более частое проявление нового качества.

– *Физик и один из авторов книги «Порядок из хаоса» Ю.Р. Пригожин показал, что ускоренные социальные изменения*

ведут к разупорядоченности, неустойчивости, неравновесности, в которых малый сигнал на входе может вызвать сколь угодно сильный отклик на выходе. И поскольку мы живем в таких реалиях, то какое влияние на нашу цивилизацию оказывают новации, такие как искусственный интеллект, Интернет вещей, технологии виртуальной и дополненной реальности, блокчейн и др.?

Сергей Щербаков:

– Интересно, что приведенные примеры, кроме искусственного интеллекта, характеризуют скорее «антиэмерджентность». Ведь Интернет вещей, виртуальная и дополненная реальность, блокчейн заняли свои значимые технологические и экономические ниши, но пока не оправдали изначальных, возможно, завышенных, глобальных ожиданий. Другое дело – искусственный интеллект. По сути, современные большие языковые модели вроде ChatGPT являются первым общим искусственным интеллектом, при генерации текста демонстрирующим высокий уровень эмерджентности. Может ли их применение привести к разупорядоченности и неустойчивости общества, зависит от успешности ответственного контроля данных технологий. В этом контексте построение эффективных математических моделей взаимодействия малых, казалось бы, незначительных воздействий на систему, приводящих к весьма сильному ее отклику, имеет очень большое значение. Мы с этим столкнулись, например, при анализе и преодолении катастрофических эффектов взаимодействия малых механических повреждений разной природы на долговечность такой системы ответственного назначения, как турбина электростанции.

Александр Данилов:

– Жизнь так устроена, что всякое новое вначале не воспринимается современниками, но затем становится естественным и неизбежным. Далее идет процесс адаптации и раскрытие потенциала нового качества для использования в устойчивом функционировании существующей системы. Но надо понимать, что только наука и новые технологии способствуют развитию, хотя могут нести и отрицательные побочные эффекты. Получается, что чем больше вы знаете, чем больше технологий, связанных с новыми знаниями, производите и применяете, тем выше опасность, что вы порождаете такие силы, поведение которых

невозможно предсказать. То есть чем больше знаний, тем больше и рисков. Современное общество становится обществом рисков и новых вызовов и в отношении будущего человечества.

– Британский социолог и один из основателей классической политической экономии, он же автор термина «эмерджентность» Стюарт Милл использовал понятие «коллективный разум» для описания возможности появления новых свойств или качеств у группы людей, которые не свойственны отдельным индивидам. Он полагал, что коллективный разум может возникать благодаря взаимодействию и коммуникации между людьми и что это может привести к развитию новых идей, ценностей и подходов. Действительно ли, приняв и задействовав эмерджентные системы в различных сферах жизни, можно повлиять на человеческий потенциал, на качество жизни людей, улучшить или ухудшить ее?

Александр Данилов:

– Определенно это может влиять и влияет. Рассмотрим на примере наук. Мы все чаще наблюдаем срастание фундаментальных и прикладных исследований. Такого раньше не было. К тому же современное общество знаний – новый этап цивилизационного развития и вместе с тем вызов многим устоявшимся взглядам и ценностям, в том числе связанным с пониманием того, что такое знание и какова его роль в жизни человека и общества. Меняются представления о взаимоотношении фундаментального и прикладного знания. Есть научные дисциплины, которые не имеют технологических выходов, к примеру теоретические физика и математика или лингвистика, но они также воздействуют на людей, на их понимание окружающего социального мира, ценностные установки и в этом смысле приводят к новым открытиям и применению в будущем. К их числу относятся и история, и филология. Вообще, гуманитарные науки самым серьезным образом могут влиять на человека, однако к прикладным мы их не относим, ибо они принципиально не технологичны. Зато на базе современных психологии, социологии, экономической науки можно разработать и разрабатываются социальные и гуманитарные технологии: образовательные и политтехнологии, технологии пиара и др. Практика показывает, что простое деление наук на фундаментальные и прикладные неточно и не охватывает

все имеющиеся различия между ними и к тому же не соответствует той реальности, которая сформировалась и во многом определяет нашу жизнь.

Олег Кобяк:

– Как недавно высказался мой коллега-соруководитель Центра культурно-креативных индустрий, кандидат искусствоведения Александр Шифрин, один из секретов «удивительности» нашего мира состоит именно в способности систем порождать эмерджентные эффекты. Причем мы имеем все основания говорить о них в сфере межличностных профессиональных отношений. Когда объединяются потенциалы двух и более сознаний в процессе совместного творчества, то на выходе мы можем получить эффект, который качественно, именно качественно, превосходит весь возможный совокупный продукт, который могли бы произвести индивиды поодиночке, как бы они ни старались. Пример из личной практики, когда я как социолог, специализирующийся на экономической социологии, и мой коллега А. Шифрин в процессе сотворчества создали новую авторскую спортивную игру в Слупки «Папараць Кветка» (www.slupki.by). Кто бы мог подумать, что так превосходно сработает формула: социология × искусство = спортивная игра с белорусским колоритом! Еще один показательный пример – опыт проектной деятельности междисциплинарной научно-исследовательской группы «Высокие технологии», когда представители ряда академических институтов – экономисты, филологи, социологи, объединив свои потенциалы, сумели разработать и успешно реализовать инновационную социальную технологию кадровой экспертизы научных организаций. С серией статей, подготовленных ее участниками В.В. Гончаровым, А.И. Шабловским, О.В. Кобяком и др., можно ознакомиться на страницах журнала «Наука и инновации» (№№9(55) / 2007; 5(63) / 2008; 1(83) / 2010). В обоих случаях творил «коллективный разум», порождая новые идеи, ценности и подходы.

Сергей Щербаков:

– В социологии и психологии хорошо известно, что поведение человека во взаимодействии с другим отличается от поведения этого же человека в малой группе и толпе. Также отличается поведение малых и больших групп. При этом такая эмерджентная система искусственного интеллекта, как онлайн-сервис такси, может влиять на поведение людей на этих масштабных уров-

нях. Изменяя тариф в зависимости от времени суток и загруженности, такая система может повлиять на принятие решения взять такси или заказ как отдельного человека – водителя, пассажира, так и группы людей. Существующие автоматизированные информационные и управляющие системы, например, система государственной научной и научно-технической экспертизы, позволяют значительно улучшить качество государственных услуг и сократить сроки их предоставления. Но известны и обратные примеры, когда выдача кредитов представителям национальных меньшинств затруднена в связи с предвзятостью подобных автоматизированных систем, искусственные нейронные сети которых обучены на плохо подготовленных выборках.

Сергей Кругликов:

– Новые технологии позволяют создавать методы и алгоритмы эволюционного развития «умных» экосистем в целях устойчивого социально-экономического развития общества и, как следствие, способствуют раскрытию человеческого потенциала, повышают качество жизни людей. В то же время, как я уже говорил, результат этого влияния может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от конкретных обстоятельств и способов применения эмерджентных систем. Хочется в этой связи остановиться на нескольких позитивных примерах, которые могут быть получены при реализации концепции «умный город». Она основана на интеграции различных систем и инфраструктур, таких как транспорт, энергетика, информационные технологии, управление отходами, безопасность и др., с целью создания интеллектуальной и инновационной городской среды. Это яркий пример того, как передовые технологии и цифровые решения сказываются на качестве жизни людей и эффективности управления. На основе концепции «умный учет и регулирование потребления ресурсов» за счет оснащения зданий системами умных счетчиков и управления ресурсами, позволяющими отслеживать и контролировать потребление электроэнергии, газа, воды и тепла, решаются задачи сокращения их избыточного использования и повышается эффективность. Так, расчеты показывают, что ожидаемый экономический эффект от реализации данного подхода в Минске приведет к снижению затрат на эксплуатацию приборов учета до 15%, уменьшению простоев оборудования

учета энергоресурсов на 20%, выбросов парниковых газов и экономии оплаченной и поставленной энергии на 30%, а также сбережению финансовых и людских ресурсов при автоматизации расчетов между поставщиком и потребителем до 20%.

Или возьмем, к примеру, блок, связанный с освещением улиц, дорог, дворовых территорий, когда путем замены традиционных осветительных систем на «умные» – передовые и энерго-сберегающие – можно управлять расходом электроэнергии, сокращать ее потребление и затраты на обслуживание, улучшать качество освещения такими средствами, как удаленный контроль, умное включение/выключение, точечное затемнение и пр. Ожидаемый экономический эффект – это не только снижение потребления энергии, но и выбросов парниковых газов.

Еще одно направление, связанное с умным городом, – своевременный вывоз ТКО и контроль за положением крышек коммуникационных люков, канализационных колодцев и шахт. Так, использование умных систем, установленных на мусорных баках и люках в инженерных сетях, вместе с раздельным сбором отходов и передачей данных в эксплуатирующую организацию снизит расходы на утилизацию мусора до 20%, оптимизирует логистическую систему его вывоза. Одновременно с экономическим эффектом есть еще и социальный, поскольку за счет постоянного контроля минимизируются последствия попадания граждан в коммуникационные и канализационные колодцы и шахты, а значит, снижается их травматизм, а также уменьшается количество возгорания мусорных баков, опрокидывания люков, краж технических кабелей и оборудования. Это лишь малая, но вполне убедительная часть положительной эмерджентности на основе системной реализации функций умного города.

– Интернет можно рассматривать как своего рода коллективный разум, так как он предоставляет доступ к огромному количеству информации и позволяет людям обмениваться мнениями, идеями и знаниями. Он же является ключевым фактором цифровых преобразований, происходящих в настоящее время, а их масштабы впечатляют. По данным креативного агентства We Are Social и сервиса для SMM Hootsuite, 62,5% мирового населения используют Интернет, при этом количество юзеров за 2021 г. увеличилось на 192 млн и составляет 4,95 млрд человек. Выросло

и число пользователей социальных сетей более чем на 10%, что составило 4,62 млрд, то есть 58,4% от общей численности населения Земли. Следует ли ожидать количественного перехода в качественный, когда совместное создание и накопление знаний приведет к появлению прогрессивных идей и решений, направленных на благо человечества?

Сергей Щербаков:

– До недавнего времени казалось, что ничего эмерджентного для человека в Интернете уже произойти не может, ведь большая часть трафика сейчас используется в основном для развлечений. Действительно, большинство научных коллективов успешно справляется со своими задачами с помощью базовых технологий электронной почты, поиска и обмена файлами. Однако появление успешных больших языковых моделей продемонстрировало огромный потенциал эмерджентности Интернета. Правда, не для нас непосредственно, а для обучения этих моделей.

Александр Данилов:

– На мой взгляд, здесь необходимо учитывать тот факт, что человек всегда был и остается не только естественным, но и искусственным существом, то есть таким, который конструируется культурой. А последняя, как мы понимаем, имеет ряд особенностей, отличающих ее от природных образований. Академик В.С. Стёпин предложил оригинальную концепцию культуры, где он рассматривал ее как совокупность надбиологических программ человеческой жизнедеятельности, выполняющих в обществе роль, аналогичную той, какую в жизни биологических организмов играют генетические коды. Такого рода культурными кодами являются мировоззренческие универсалии – категории культуры, которые задают системную и историческую целостность определенным аспектам деятельности, поведения и общения. В такой ситуации культура все больше ассоциируется со средой сохранения и возможной передачей духовного цивилизационного наследия. Сберечь в своей памяти только то, что подтверждает идеальный образ народа, – видимо, и есть важнейшая функция культуры.

– Поскольку мы имеем дело с огромным количеством эмерджентных систем и технологий и у каждой из них есть масса вариантов будущего развития, какие риски они таят в себе?

Олег Кобяк:

– В этой связи позволю себе поделиться некоторыми результатами текущего научного проекта «Социальные риски молодежи Беларуси и Монголии в контексте дигитализации», который выполняется Институтом социологии НАН Беларуси при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований под научным руководством кандидата социологических наук Натальи Сосновской. В ходе изысканий выявлены риски, связанные с возможным обострением проблемы интернет-зависимости белорусской молодежи. Значения показателя интернет-погруженности в диапазоне от 0 – минимум – до 1 – максимум – в группе условно выделенной «младшей молодежи» (18–25 лет) – 0,550 и «старшей молодежи» (26–35 лет) – 0,493; таким образом, у младших этот показатель на 12% выше. Более 1/3 молодежи до 35 лет в обеих группах указали, что в их окружении, по их наблюдениям, есть те, кто страдает от компьютерной или игровой зависимости. Дальнейшее углубление интернет-погруженности, а оно весьма вероятно, если представители «младшей молодежи», как минимум, сохраняют такие же темпы при естественном переходе в возрастную группу «старшей молодежи», может усилить риски увеличения доли таких зависимых в целом. Все большее погружение молодых людей в интернет-среду усугубляет проблему обеспечения безопасности личных данных. Для социологической оценки текущей ситуации использовался показатель цифрового самосохранения с аналогичным диапазоном вариации значений от 0 до 1. Его расчетные значения таковы: в группе «младшей молодежи» – 0,518, в группе «старшей» – 0,450. Отсюда вытекают риски, связанные с опережением значений индикатора интернет-погруженности по сравнению со значениями показателя цифрового самосохранения. Другими словами, молодое поколение белорусов погружается в цифровую среду быстрее, чем осваивает в достаточном объеме навыки безопасного использования цифровых технологий.

Александр Данилов:

– Современное общество называют обществом рисков, и это социальная реальность, которая несет немало проблем. Если развитие общества пойдет по односторонне технологическому пути, оно может привести к разрушению человека. Сегодня рождаются такие

НБИК-технологии, которые трансформируют весь наш жизненный мир и самого человека. Уже появились фантастические, на первый взгляд, планы проектирования человека: его телесности, мозга, психики. Набирают обороты идеи создания нового существа, которое называется трансчеловеком, или постчеловеком, трансгуманистического общества. А это, по сути дела, отказ от старой европейской теории гуманизма, которая всегда связывала победу разума, науки с гуманизацией человеческих отношений. Конечно, речь не идет о том, чтобы отказаться от науки. Это и невозможно, и не нужно. Наука в самом деле творит чудеса, она дает шанс человеку подняться на новый, более высокий во всех отношениях уровень развития. Но вместе с тем она открывает ящик Пандоры, когда создаются технологии, несущие в себе опасность жизни и здоровью человека, а может быть, создадут угрозу существования его самого. Академик В.А. Лекторский высказал как-то мысль, что человек, по крайней мере, в том виде, в котором он до сих пор существовал, может исчезнуть не потому, что не развивались науки о человеке, а как раз в результате этого развития, а точнее – из-за такого использования результатов этих наук, когда в системе возникают новые качества, которые могут ему угрожать.

Сергей Щербаков:

– Риски применения, например, систем искусственного интеллекта в первую очередь связаны с возможностью их влияния на общественное мнение относительно важнейших вопросов жизни общества. Один из ярких примеров – продукты компании Cambridge Analytica, использованные на выборах в США в 2016 г. Также не столько опасной, сколько обескураживающей может стать высокая компетентность систем искусственного интеллекта в областях человеческой деятельности, которые традиционно считались творческими и недоступными для воспроизводства «машиной»: изобразительное искусство, литература. Расстраиваться, впрочем, не стоит, поскольку мы сами в некотором смысле являемся продуктом очень долгого «эволюционного обучения». И похоже, не скоро появится единая эмерджентная система, которая сможет и картину нарисовать, и стих сочинить, и рыбку поймать, и дифференциальное уравнение решить, и дом построить, и котлетку съесть, что несколько снижает страх «восстания машин».

Сергей Кругликов:

– Уместно привести слова одного из самых выдающихся и авторитетных ученых нашего времени, британского астрофизика Стивена Хокинга, рассуждавшего о внедрения ИИ. Он писал: «Настоящая угроза в случае искусственного интеллекта заключается не в том, что он злой, а в том, что он компетентен. Суперинтеллектуальный разум будет в высшей степени эффективен при достижении своих целей, и, если они не будут совпадать с нашими, мы окажемся в большой беде».

К сожалению, в мире ведется много разработок, направленных на то, как эффективней уничтожить потенциального противника. Вот где мне видится опасность применения технологий ИИ, и, соответственно, лучшее применение усилий всего мирового сообщества – не допустить бесконтрольного распространения ИИ в военной области. Закончу свой ответ на данный вопрос высказыванием Альберта Эйнштейна: «Я боюсь, что обязательно наступит день, когда технологии превзойдут простое человеческое общение. И мир получит поколение идиотов».

– *То есть эмерджентная перспектива – это «общество рисков» или все же фокус на изменения, креативность и возможности?*

Сергей Щербаков:

– Эмерджентные эффекты, например квантовомеханические, ядерные, при разумном их применении являются флуктуациями, резко ускоряющими научно-технический прогресс и позволяющими быстрее эволюционировать обществу. Выбор направления и способа их использования – сложная задача, решение которой должно базироваться на достижении консенсуса с привлечением всех заинтересованных сторон. Сейчас, например, это актуально в отношении систем электронного правительства и электронного государства, основанных на технологиях искусственного интеллекта.

Сергей Кругликов:

– Я бы говорил не о возможности, а о творчестве. Принято считать, что творчество и креативность – синонимы, но в контексте диалектического мышления они не просто различны, но и прямо противоположны друг другу. Креативное мышление предлагает поиск новых путей и решений, не обращая внимания на ограничения, создание новых возможностей для роста

и развития, что называется, «выход за рамки». Творческое же направлено на решение конкретных задач в конкретных условиях, где существуют ограничения по ресурсам и не важно, каким: человеческим, финансовым, временным, которые могут быть использованы для достижения целей, появления новых идей и проектов. Может быть, и эмерджентный эффект научится креативно мыслить, не будем исключать такую возможность, и откроет двери для творческого мышления, поиска новых возможностей и адаптации к изменениям. Но в целом эмерджентность стимулирует инновации и способствует развитию организаций, сообществ и обществ.

Олег Кобяк:

– Скорее это перспектива расширяющегося спектра возможностей, прежде всего в междисциплинарных областях, где возникают точки бифуркации, вокруг которых разворачиваются уникальные события и формируются «жемчужины» принципиально нового знания. О возможностях достижения невиданных ранее эффектов на примере взаимодействия научного и художественного познания размышлял и очень образно писал еще Антон Чехов: «Я подумал, что чутье художника стоит иногда мозгов ученого, что то и другое имеют одни цели, одну природу и что, быть может, со временем при совершенстве методов им суждено слиться вместе в гигантскую, чудовищную силу, которую теперь трудно и представить себе...».

Александр Данилов:

– Эмерджентная перспектива – важный и полезный фокус на изменения, креативность и возможности, подразумевающий высокую концентрацию внимания к новым и неожиданным явлениям, идеям и решениям, которые могут возникнуть в процессе изменений. Мир постоянно меняется и развивается, и важно быть гибкими, готовыми к адаптации и реагировать на эти перемены. Уверен, и сам термин «эмерджентность» будет видоизменяться, дифференцироваться, уточняться, обновляться во времени. Но его содержательный компонент никогда не потеряет актуальности и будет постоянно в фокусе исследователей. ■

Жанна КОМАРОВА

Результативная цифровая культура как фактор снижения рисков эмерджентности искусственного интеллекта



Борис Паншин,
профессор кафедры
цифровой экономики БГУ,
доктор технических наук

Настоящий этап цифровой революции, связанный со стремительным и масштабным применением систем искусственного интеллекта, является, очевидно, самым важным парадигмальным изменением использования информационных (цифровых) технологий со времени создания персональных компьютеров и сети Интернет. Искусственный интеллект (ИИ) становится все более значимой и обширной областью теоретических исследований и практики. В развитии подходов к системам ИИ наблюдались периоды больших ожиданий и разочарований вследствие значительных затрат на разработки и отсутствия ощутимых эффектов от внедрения высокоинтеллектуальных технологий и оценки их потенциальных возможностей.

В результате в конце 70-х гг. прошлого века сложилось мнение о принципиальной невозможности создания мыслящей машины вследствие отсутствия алгоритмов, учитывающих контекст, а в качестве инструмента для преодоления этого барьера предлагалась канонизация языка, которая была бы ориентирована на проблему в соответствии

с характеристиками предельно ограниченного тезауруса понятий. Таким образом строились специализированные экспертные системы.

Ситуация резко изменилась с разработкой и успешным практическим применением моделей машинного обучения, на основе которых стремительно и масштабно развиваются как специализированные, так и универсальные высокоинтеллектуальные системы с достаточно простыми интерфейсами для пользователей. Новые алгоритмы обучения нейросетей построены по принципу «от общего к частному», а не наоборот, как это было ранее. То есть нейросеть обучает саму себя, используя метод «обратного распространения ошибки» [1] для перебора смысловых конструкций, имеющихся на многочисленных информационных ресурсах (dataset), доводя до предела вероятность совпадения произвольных запросов с имеющимися в сети текстами и изображениями, что обеспечило выход на рынок таких предварительно обученных генераторов, как чат-бот GPT для текстов, Midjourney для изображений, AIVA для музыки.

Одновременно с ростом масштабов использования предварительно обученных генеративных нейросетей и динамикой их развития резко возросло количество дискуссий о возможностях, перспективах, рисках и угрозах технологий ИИ для различных сфер деятельности и общества в целом. При этом большинство известных публикаций и обсуждений посвящено техническим и организационно-технологическим аспектам их разработки и применения без учета влияния роли и синергетических эффектов общей и цифровой культуры на перспективы феномена искусственного интеллекта.

Эмерджентные эффекты в ИИ

Количественные изменения в любой системе приводят к качественным трансформациям в ее структуре и поведении, что именуется эмерджентностью, теория которой уже давно обсуждается в таких областях, как физика, биология и информатика. В самом общем виде эмерджентность можно определить как проявление синергетического эффекта в развитии сложной динамически изменяющейся системы, при котором происходит не только усиление уже существовавших ее положительных свойств и параметров, но и формирование принципиально новых, которые не пред-

усматривались ранее заложенными алгоритмами для отдельных составляющих и системы в целом.

Применительно к искусственному интеллекту эмерджентность выражается в возникающих новых способностях больших социальных систем, в том числе и современных языковых моделей, которые отсутствовали в имеющихся меньших масштабах и которые затруднительно предсказать путем простой экстраполяции работы последних, что обуславливает необходимость разработки институтов и практик саморегулирования и государственного контроля за созданием и применением ИИ, что можно определить как формирование результативной цифровой культуры.

В цифровых системах эмерджентность можно объяснить как взаимодействие, вызывающее трансформации, ведущие к появлению новых способностей. Например, система AirBnB, анализируя с помощью методов машинного обучения статистические закономерности данных, осуществляет персонализированное ранжирование жилья и формирует опыт пользователей платформы, что не предполагалось запрограммированными алгоритмами поиска жилья. Срабатывает цепочка: платформа обеспечивает взаимодействие с клиентом, влекущее изменения данных, модель обучается и дает возможность ранжирования жилья.

Отличие цифровых технологий со встроенным ИИ от ранее созданных IT состоит в том, что они могут изменяться в ходе использования людьми вследствие добавления или изменения данных и структуры взаимодействий людей в цифровой среде. В результате этого возникают эмерджентные эффекты, обусловленные данными, алгоритмами и механизмами взаимодействия элементов системы между собой и внешней средой.

Ключевое значение имеет учет возможностей новых цифровых технологий со встроенным ИИ, которые становятся все более адаптивными к поведению людей в Сети и к закономерностям развития сложных систем. Угроза состоит в том, что такие технологии превращаются из инструментов в агентов сетевых взаимодействий, степень влияния которых трудно идентифицировать и контролировать вследствие многообразия и масштабности применения динамично развивающихся интеллектуальных приложений – интерфейсов взаимодействия с самообучающейся системой. Поэтому важна культура данных и алгоритмов нейросетей, и она должна быть результативной.

Гипотеза и концепция исследования

Главные риски и угрозы заключаются не в возрастании мощности ИИ, а в отставании культуры его применения, в трудностях адаптации человека к масштабному распространению новых приложений для анализа и обработки текстов, снижении мотивации индивидуума к самостоятельному поиску информации и принятию решения не только полагаясь на результаты алгоритмов, но и путем случайного выбора и генерации новой информации. Так как, в соответствии с принципами синергетики, основой прогресса человека и общества является выбор решения в условиях ситуации случайности (хаоса) [2].

Гипотеза и концепт статьи заключается в обосновании принципа приоритетности культуры в развитии и применении технологий искусственного интеллекта, согласно которому на их создание и использование, а также на возникновение эмерджентных эффектов влияют общая и цифровая культура людей и особенности формирования цифровой экономики совместного пользования, проявляющиеся под воздействием синергетических эффектов культурной самоорганизации ее участников, а также изменений индивидуальных ценностей от материальных в сторону постматериальных: самовыражения и самореализации [3].

Результативная цифровая культура – это принципиально иной подход в оценке ее роли в развитии искусственного интеллекта. Имеется в виду переход от обсуждения различных аспектов и примеров влияния культуры на применение технологий ИИ к концепции формирования среды на основе определенных и отработанных принципов, правил, институтов и практик, поддающихся как качественным, так и количественным измерениям.

Как и в случае с кибербезопасностью, концепция результативной цифровой культуры также предполагает создание и внедрение соответствующих стандартов и руководств по использованию лучших практик цифровых технологий и искусственного интеллекта на основе нейросетей [4]. Этот подход подразумевает не только выработку методологии и методик применения технологий и действий пользователей в Сети на мега-, макро- и микроуровне, но и комплекс мероприятий по контролю соблюдения этих правил и, при необходимости, навязывания требуе-

мого поведения и принуждения (подталкивания) индивидуума к соблюдению общепризнанных норм с целью предотвращения нежелательных, в том числе и эмерджентных эффектов и недопустимых событий в цифровой среде и реальной жизни. В качестве примера создания инструмента для контроля поведения людей в виртуальном мире можно рассматривать опыт социального рейтинга в Китае [5], положения концепции эмоционального программирования и вспомогательной социальной робототехники [6].

Актуальность проблемы ИИ

Рост сложности объективно необходимых задач управления экономикой и постоянно возрастающие темпы и масштабы цифровизации повседневной жизни общества определяют важность разработки и применения технологий ИИ.

Можно предположить, что основными предпосылками актуализации этого направления в экономике и социальном развитии являются следующие:

- *нарастание многоплановости экономики, прогресса знаний и скорости их устаревания и, как следствие, наметившийся тренд трансформации производственных систем от «машинно-интенсивных» к «знание-интенсивным» [7];*
- *несоответствие темпов увеличения времени на сбор и анализ информации для управления требуемым темпам сокращения времени на выработку и принятие управленческих решений;*
- *новые требования к работникам, обусловленные технологической модернизацией труда (широкий диапазон навыков, постоянное обновление квалификации, адаптация к многозадачности и горизонтальной организации управления современным производством);*
- *увеличение многообразия взаимодействий между людьми, а также используемыми человеком технологиями, требующих от сотрудников все большей гибкости и адаптивности.*

Предполагается, что ИИ поднимет мировой ВВП на 7% и автоматизирует до четверти рабочих мест в развитых странах. В России, по расчетам «Сбера», мультипликативный эффект от применения ИИ-решений к 2025 г. может добавить к ВВП страны минимум 1%. Для Беларуси эта оценка может быть значительно выше вследствие



большей организованности и связности экономики (все отрасли работают как единый народнохозяйственный организм, а не как отдельные бизнесы). Как правило, технологии ИИ наиболее активно используются в постцифровых секторах экономики (финансы, электронная торговля, страхование, гейминг), где основной массив данных изначально оцифровывается. При этом наибольший экономический эффект при-

носят не «бытовые» ИИ-решения (разговорные боты в колл-центрах), а системы, направленные на поддержку профессиональной деятельности (банковский скоринг или маркетинг – предсказание покупок клиентов).

В настоящее время искусственный интеллект входит в новую фазу совершенствования и становится одним из главных катализаторов изменений в экономике и образовании вследствие роста степени адаптивности технологий со встроенным ИИ. В то же время решения о том, как это использовать, уравновешивая риски и возможности, принимают в первую очередь крупные корпорации, оттесняя на второй план детальные исследования по оценке рисков разработки и последствий внедрения приложений с технологиями ИИ для органов госуправления и предприятий реального сектора экономики. Как следствие, развитие ИИ идет очень противоречиво и зигзагообразно. Если в 2022 г. интернет-гигантами и крупными корпорациями было создано 32 значимых модели машинного обучения, то научными центрами – только 3.

Одновременно наблюдается тенденция сокращения отделов, занимающихся вопросами этики и безопасности, даже в таких корпорациях, как Microsoft или Google. В основном это происходит из-за того, что развитие технологий ИИ стало требовать все больше ресурсов: кадровых, информационных (баз данных) и вычислительных мощностей, необходимых для создания таких приложений. Поэтому возрастает интерес к регулированию данной сферы со стороны государственного управления: анализ ситуации в 127 странах показал, что количество принятых там законов, содержащих словосочетание «искусственный интеллект», выросло с 2 в 2016 г. до 37 в 2022-м. В экспертной среде все более активно обсуждается необходимость скорейшего внедрения и актуализации этического кодекса искусственного интеллекта на национальном и международном уровнях.

Приоритетность цифровой культуры в развитии искусственного интеллекта, общества и экономики

Роль цифровой культуры становится все более значимой, а потребность повышения ее уровня, возросшая вследствие применения технологий

искусственного интеллекта, – одной из ключевых составляющих для достижения этих целей. Известен эмпирически обоснованный социокультурный закон приоритетности культуры в общественном развитии [8], что применимо и к росту интеллектуальной составляющей современных технологий и производств в условиях глобальной цифровизации. Эксперты из многих стран мира считают культуру самым большим препятствием на пути цифровой трансформации предприятий и организаций [9].

В отношении сложных и динамически развивающихся систем – информационных, транспортных, энергетических и других – важно учитывать синергетический эффект культурной самоорганизации их отдельных объектов, что всегда предшествует возникновению более совершенных организационно-технологических структур. Объективные явления самосборки и самоорганизации в социокультурных системах осуществляются под воздействием и со скоростью изменения таких факторов, как общая культура, моральные и нравственные нормы людей.

Сегодня уже очевидно, что негативные последствия применения цифровых технологий проявились настолько массово и внезапно, что традиционных методов противодействия угрозам уже недостаточно. Возникли новые риски:

- *перекос в производстве вторичного пользовательского контента (1 создается, 10 читают, 90 пересылают) и развитие сетевых связей в пользу ИИ;*
- *технологии и приложения совершенствуются быстрее их осмысления, настолько, что пользователи не всегда имеют возможность определить их преимущества;*
- *скорость потребления контента изменяет формат мышления и горизонт планирования у людей [10];*
- *отсутствие возмущений (случая), что создает проблему самостоятельного выбора, требующего соответствующей интуиции, знаний, воли и смелости принятия решения, так как для возникновения новой информации требуется состояние некоторой неустойчивости [2], когда нужно делать выбор (при этом количество и ценность информации изменяются в ходе эволюции системы);*
- *самоподчинение индивидуума алгоритмам предоставления и потребления контента (предвзятости) и установления сетевых взаимодействий.*

Дополнительные проблемы создает совпадение стремительного прогресса в области приложений ИИ с тенденцией смещения (особенно в развитых странах) приоритетов от материальных ценностей к постматериальным, предполагающим самовыражение и самореализацию индивидуума [11], что в итоге должно обеспечить повышение уровня доверия и согласия в обществе и, что естественно, требует разработки этических и правовых норм применения ИИ.

Отдельного рассмотрения требуют последствия алгоритмизации поведения пользователей цифровых систем со встроенным ИИ, причины которых кроются в естественном стремлении живого организма доводить те или иные функции до уровня рефлексов и избегать трудностей и ответственности самостоятельного принятия решений.

Необходимо осмыслить эти явления и выработать план глобальных и долговременных действий. Можно сказать, в Сети наступает эра приоритета культуры, а не экономики. Для того чтобы ускорить этот процесс, необходим комплекс взаимозавязанных институтов, мероприятий и практик по формированию цифровой среды, комфортной для устойчивого развития общества и ведения эффективной экономической деятельности. Практика показывает, что только правовых и организационных мер и программного обеспечения для защиты информационного пространства от современных угроз цифровизации недостаточно. Нужно на государственном и международном уровне создавать условия для понимания, принятия и соблюдения социально одобряемых норм поведения пользователей в Сети и разработчиков технологий. Примерно так, как это делается в системе социального рейтинга в Китае.

Важно отметить и принципиальную значимость культуры для решения проблемы междисциплинарности исследований в сфере искусственного интеллекта, как и в любых других сферах. Многочисленные исследования свидетельствуют о ключевой роли и влиянии культуры на различные общественные структуры. Эта взаимообусловленность состоит в достижении определенного уровня техно-гуманитарного баланса, согласно которому чем выше мощь производственных технологий, тем более совершенные средства культурной регуляции необходимы для сохранения и устойчивого развития сообщества, которое с нарушением техно-гуманитарного баланса [12] либо подрывает природные и/или организационные основы своего существования, либо адаптирует

культурные регуляторы к возросшему технологическому потенциалу. То есть путем отбора лучших практик сообщество создает соответствующую среду для эффективного и безопасного взаимодействия (как эффекта самосборки и самоорганизации). При этом основными факторами достижения баланса являются скорость и масштабы изменений.

При достаточно замедленных их темпах в процессе отбора происходит культурно-психологическая притирка людей к новым технологиям и инфраструктуре и превращение их в жизнеспасающий фактор. В конечном счете среда обеспечивает безопасное освоение технологий, сохранение и развитие новых производств и опыта путем формирования общности (общины, гильдии, корпорации). Чем она многочисленнее, тем более выражен синергетический эффект взаимодействия людей по освоению и применению новой техники. По мере появления новых технологий и овладения ими цикл повторяется – прошлые общности распадаются, и рождаются новые формы взаимодействия и управления ими.

Исследования выдающихся ученых постулируют, что для достижения позитивных синергетических эффектов в обществе и экономике вначале должна произойти культурная самоорганизация сообществ [10]. Это применимо и в сфере искусственного интеллекта, когда эффекты культурной самоорганизации проявляются при использовании больших массивов данных для обучения нейросети. К примеру, в нейросети Watson люди, казалось бы, случайно выбирая и в произвольном порядке загружая в систему текст, на самом деле дают подкрепление алгоритму, который с каждой новой загрузкой все точнее определяет, что в этом тексте важнее и достовернее [13].

Проблемы ИИ в контексте цифровой культуры

В числе основных препятствий развития ИИ, связанных с культурой разработчиков и пользователей интеллектуальных технологий, эксперты отмечают следующие [6]:

- *отсутствие достаточного уровня понимания сущности алгоритмической сложности ИИ, что вызвано отставанием культуры от технологий, совершенствование которых стремительно опережает правила их использования, отсюда – потери и риски;*

- *завышенные ожидания, то есть недостаточно реалистичные оценки возможностей и перспектив в области технологий;*
 - *опасения фундаментальных изменений в характеристиках занятости;*
 - *трудности регулирования использования технологий ИИ вследствие практически невозможной фиксации этапов процесса генерации решений и непрозрачности алгоритмов нейросети.*
- Решение этих проблем требует соответствующей культуры для полноты понимания технологий ИИ, оценки рисков их применения и перспектив развития. Основную угрозу представляет не суперинтеллект, а недостаток адаптации людей для совместной работы с ИИ на принципах взаимодополнения и риски снижения уровня интеллектуальной деятельности и мотивации к поискам решения и самостоятельному выбору.

Синтаксис и семантика ИИ

Термин «интеллект» (*intelligence* – лат.) означает ум, рассудок, разум, мыслительные способности. В контексте основных положений культуры интеллект, как естественный, так и искусственный, предполагает способность понимать и соединять некоторые смыслы (понятия, гипотезы, концепции, алгоритмы, научные теории и т.д.), представленные в виде знаков, объединенных по соответствующим грамматическим правилам. Речь идет о семантике (смыслах) и формах знакового представления смыслов (синтаксисе) как важнейших составляющих культуры [14]. В более общем виде интеллект можно определить как способность увидеть сущность какой-либо ситуации и понять то, что действительно важно [15]. Отсюда следует, что для понимания сути технологий ИИ необходимо различать знаковое мышление, которое оперирует не с самими смыслами, а их знаками (буквами, словами, предложениями), и семантическое мышление – оперирование со смыслами, представленными в виде знаков [14].

Синтаксис (грамматика для моделей ИИ) – это законы организации знаков, которые можно формализовать и затем исчислять по определенным алгоритмам, которые представлены, как правило, в алгебраической (символы элементов и операций с ними) или графической форме (графы, представленные узлами и дугами) и затем реализуются с помощью компьютерных программ – семантических машин (СМ). Ярким примером

являются электронные переводчики текстов, чат-боты, генераторы речи, звуков и изображений.

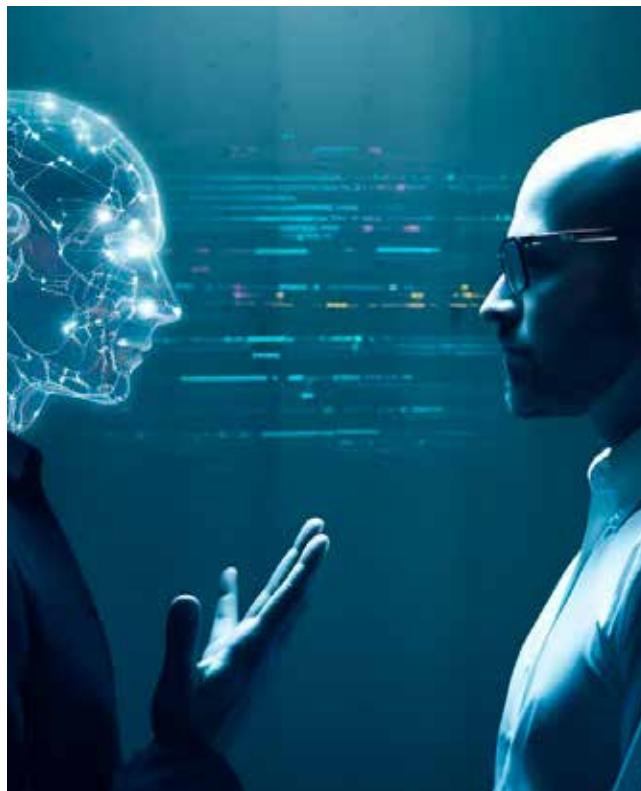
Семантика – это понимание того, как знаковые формы соединяются с содержанием. Здесь в плане формализации все кардинально усложняется, но уже имеются достаточно простые системы, функционирующие по алгоритмам обработки текстов, звуков, изображений, характеризующихся достаточно видимой логикой их представления. Например, своды юридических правил или известные системы ТРИЗ.

Но это не мышление, а его имитация по заранее определенным правилам. Новых информации и знаний здесь не возникает. Поэтому современные технологии ИИ правильнее называть имитирующими человеческое мышление. Пока освоены семантические машины, работа которых (например, GPT) создает видимость мышления, так как результаты, выдаваемые компьютером, человек соединяет с имеющейся у него картиной мира. Отсюда возникает иллюзия искусственного интеллекта (якобы машина мыслит), но на самом деле никакого мыслительного процесса не происходит. Здесь применены алгебры и вычислительные процедуры работы с синтаксисом по определенным жестким правилам, исполняемые мощными машинами. Это имитация мышления на основе ранее созданного людьми контента, что требует особого внимания к алгоритмам и данным для обучения нейросетей.

Отставание культуры от технологий

Культурные ценности и нормы формируются и меняются значительно медленнее, чем появляется новая техника. Яркий пример – угрозы, риски и потери от широкого применения современных информационных и цифровых технологий как результат опережения технологиями сознания и недостаток культурного развития.

В сфере искусственного интеллекта инновации появляются быстрее, чем мы успеваем их осмысливать. Возникают иллюзии, что если у нас будет достаточно данных и мощных компьютеров, то мы сможем поручить ИИ решить любую задачу. Но пока основные эффекты связаны с дипфейками и игровым контентом. Не секрет, что с помощью различных технологий больших данных и машинного обучения возможны манипуляции массовым сознанием, а дипфейк – это один из мощных инструментов для подобных дей-



ствий. По данным компаний, специализирующихся на цифровой безопасности, до 80% киберпреступлений совершается с помощью социальной инженерии (дипфейков), а не использования пробелов в защищенности компьютеров.

Глобальные угрозы несет простота создания дипфейков, которые, подобно пеплу Везувия, скрывшему Помпею, накроют Сеть собой

и информацией second hand, и поскольку нейросети обучаются на основе уже имеющихся данных, новой информации не возникает, а без этого нет движения вперед. В результате, как отмечают многие эксперты, перед странами и мировым сообществом встают вопросы об этических проблемах, связанных с развертыванием ИИ. Предстоит решить дилемму, надо ли приводить их использование в соответствие с этическими нормами, что сильно ограничит технологию и снизит ее эффективность, или в интересах конкуренции и развития дать разработчикам больше свободы. По сути, речь идет о культуре создания и применения технологий ИИ. К примеру, не так давно компания Microsoft впервые ограничила доступ к своим технологиям распознавания изображений и синтезирования голосовых подделок (дипфейков). Это произошло из-за принятия нового стандарта этики в отношении ИИ, согласно которому интересы личности должны стоять выше технологий.

Влияние искусственного интеллекта на реальную жизнь активно обсуждается и в среде российских и белорусских ученых. Для практического решения подобных проблем может быть применен опыт Китая по созданию и эксплуатации системы формирования общенационального рейтинга, которая является своего рода социальным посредником, ориентированным на мотивацию человека исполнять благие действия и поступки, достигая тем самым «социально приемлемого поведения» [5]. То есть рейтинг служит новым форматом социальных отношений, эквивалентным цифровому будущему Китая и многих других стран с учетом их специфики.

Важно отметить, что в основе китайского социального кредита первостепенно заложены нематериальные факторы повышения общего уровня честности и достоверности в обществе, заинтересованности человека в результатах своей оценки в рамках единой системы. Отметим, что в китайской традиции понятие «кредит» приравнивается к понятию «репутация», оценка которой включает экономические, моральные и социальные факторы. Поэтому данное понятие уже закреплено в нормативных документах центральных государственных органов и в местном законодательстве и подразумевает соблюдение человеком и предприятием принятых стандартов поведения, а также предполагает возможность интеграции накопленной информации в единую базу для более эффективного распределения социаль-

ных благ. Одновременно составление общегосударственных рейтингов на основе технологий искусственного интеллекта позволит избежать лишней бюрократизации и сделает кредитно-финансовые и другие деловые отношения более упроченными и прозрачными. В Китае Интернет считается правовым пространством, поэтому можно предположить, что подобный подход может быть использован для системы формирования результативной цифровой культуры.

Продвинутое технологическое решение с встроеным ИИ нуждается в целенаправленном регулировании, о чем свидетельствует следующее:

- *технологии могут обладать неожиданными и сложно обнаружимыми опасными возможностями;*
- *предлагаемые для широкого применения ИТ могут быть трудно контролируемы с целью предотвращения их использования для причинения вреда человеку или обществу в целом;*
- *быстрое распространение технологий затрудняет их сертифицирование и применение мер безопасности.*

Поэтому саморегулирование в рамках личной и корпоративной культуры должно быть дополнено государственным и межгосударственным контролем для предотвращения возможных рисков и угроз.

К числу основных мер относятся:

- *стандарты, правила и организационно-правовые механизмы для создания, обучения нейросетей, обновления и внедрения технологий с ИИ, что предполагает участие многих заинтересованных сторон и своевременную оценку эмерджентных эффектов и последствий применения новых решений, включая меры по снижению уровня агентности технологий с ИИ и защиту интеллектуальной собственности;*
- *наличие возможностей и четких организационно-технологических схем, позволяющих не только фиксировать передовые разработки и степень их агентности, но и использовать технологии аудита баз данных (корпуса данных) для обучения нейросетей, раскрытия информации о новых разработках и прогнозировать оценки рисков;*
- *создание системы для автоматического встраивания в технологии с ИИ механизмов прогноза эмерджентных эффектов, мониторинга и обеспечения соблюдения разработчиками и пользователями норм защиты прав интеллекту-*

альной собственности, дополняющих их усилия по саморегулированию, стандартам безопасности и соответствию законодательству;

- наделение надзорного органа полномочиями по оценке результатов мониторинга, проведения аудита контента (корпуса данных) для обучения нейросетей и наложению санкций за несоблюдение требований создания и безопасного применения технологий с ИИ, контроля уровня их агентности и соблюдения разработчиками и пользователями законодательства по защите интеллектуальной собственности.

Важно отметить, что работа с правилами и системами регулирования процесса создания и применения технологий с ИИ сложна и требует не только больших затрат на создание, обучение и постоянное дообучение нейросетей, но и обеспечения баланса мер регулирования и стимулирования инноваций.

На сегодня актуальны подготовка и принятие мер по контролю уровня агентности технологий с ИИ (в первую очередь больших предобученных языковых моделей типа чат GPT) и аудиту корпуса данных, используемых для обучения и дообучения нейросетей, приоритетность идеологии Open Source для повышения уровня открытости разработок, обучения и применения нейросетей. Можно предположить, что в дальнейших исследованиях наиболее актуальны и перспективны такие направления, как оценка влияния преобразования данных в цифровых системах на их трансформацию, изучение конкретных механизмов, лежащих в основе данных процессов.

Фактор культуры становится приоритетным в цифровой экономике вследствие эмерджентных эффектов ИИ и возрастания ценностных характеристик разработчиков и пользователей цифровых технологий. Мировые гиганты цифровой индустрии Google, Alibaba уже давно используют методики и алгоритмы определения соответствия сотрудников специфическим требованиям культуры современных смарт-компаний (управление рисками, сотрудничество, способность самостоятельно действовать в гибких оргструктурах на основе горизонтальных связей и сетевой координации и т.д.).

Цифровая культура как наука достигла необходимого уровня развития для оформления в качестве отдельной научной и учебной дисциплины. К настоящему времени во многих вузах разных стран введены учебные курсы для бакалавриата

и магистерские программы по цифровой культуре, созданы кафедры, факультеты, лаборатории и исследовательские институты, издаются журналы и книги. Прежде всего это страны с развитым сегментом цифровой экономики (Великобритания, США, Китай, Голландия, Израиль и др.). На платформе Coursera открыт доступ к соответствующим учебным материалам.

В России уже 4 года действует Высшая школа цифровой культуры при Национальном университете ИТМО в Санкт-Петербурге, создана кафедра информационной культуры цифровой трансформации в МГЛУ, в ряде вузов введены соответствующие базовые учебные курсы.

Можно предположить, что актуальным является не только включение в учебные программы вузов и техникумов курса по цифровой культуре применительно к специфике конкретной специальности, но и создание в вузах магистратур по направлению «Цифровая экономика + Цифровая культура» для подготовки и переподготовки специалистов по цифровой трансформации экономики Беларуси. ■

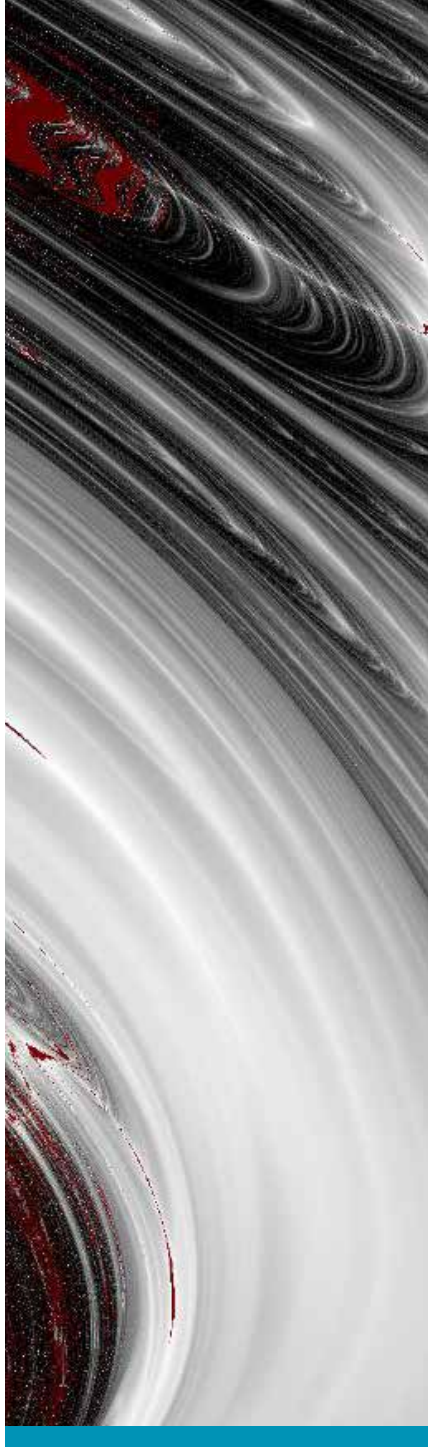
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. И.А. Прудников. Алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки // Евразийский научный журнал. 2016. №2.
2. Дашкевич В. Великое культурное одичание / В. Дашкевич. – М., 2018.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации / Предисл. и послесл. Г.Г. Малинецкого. – М., 2021.
4. Вячеслав В. Результативная кибербезопасность как драйвер продвижения услуг по информационной безопасности // <https://www.securitylab.ru/analytics/537989.php>.
5. Ю.Н. Руф, Д.В. Каримова. Предпосылки создания системы социального рейтинга в России: оценка ситуации в условиях пандемии коронавируса // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11. №4. С. 845–862.
6. Йонк Р. Сердце машины. Наше будущее в эру эмоционального искусственного интеллекта / Р. Йонк; пер. с англ. Э. Воронович. – М., 2019.
7. Человек труда в цифровой экономике: новые реалии и социальные вызовы / под ред. В.Н. Мининой, Р.В. Карапетяна, О.В. Вередюк. – СПб., 2021.
8. Арнольд А.И. Человек и мир культуры / А.И. Арнольд. – М., 1992.
9. Т.С. Ахромеева, Г.Г. Малинецкий, С.А. Посашков. Искусственный интеллект как проблема культуры // Обсерватория культуры. 2020. Т. 17, №3. С. 228–241.
10. Инглхарт Р. Культурная эволюция. Как изменяются человеческие мотивации и как это меняет мир / Р. Инглхарт; пер. с англ. С.Л. Лопатиной, под ред. М.А. Завадской, В.В. Костенко, А.А. Широкаковой, научн. ред. Э.Д. Панарин. – М., 2018.
11. Назаретян А.П. Воспитательный потенциал синергетики: гипотеза технологического баланса / А.П. Назаретян // <https://cyberleninka.ru/article>.
12. Берджесс Э. Искусственный интеллект для вашего бизнеса: Руководство по оценке и применению / Э. Берджесс. – М., 2021.
13. Мартынов В.В. Универсальный семантический код: УСК-3 / В.В., Мартынов. – Минск, 1984.



ПРОБЛЕМА ПЕРВОНАЧАЛА

Проблема первоначала космоса имеет важное мировоззренческое значение, так как все прочие явления во Вселенной представляют собой ее дочерние ответвления и производные. Такой же частью всеобщего космического прогресса выступает и каждая человеческая судьба, а также история социума в целом. Все эти динамические процессы в миниатюре несут в себе общие черты времени и развития всего универсума, распадающегося на миллиарды фрагментированных сущностей, которые, подобно новогодним елочным шарам, отражают и несут в себе тысячи копий всеобщей картины эволюции Вселенной. Проникнув в сущность космогенеза, приобщившись и поняв причины, его породившие, можно глубже понять цель и смысл существования и назначения человеческой цивилизации.



Андрей Колесников,
заведующий отделом
информационных
и когнитивных процессов
Института философии
НАН Беларуси, кандидат
философских наук, доцент

Вопрос о первоначалах космогенеза необходимо ставить, несмотря на то, что иногда высказываются соображения о его неактуальности, метафизичности, несвоевременности и надуманности. Тем не менее познание тяготеет к целостному и конечному пониманию мира, в котором существует и развивается общество.

Космогоническая концепция, включающая в обязательном порядке объяснение происхождения Вселенной, содержится во всякой мифологической, религиозной либо философской картине мироздания. Концепция начала есть и в ветхозаветной Книге Бытия. «В начале сотворил Бог небо и землю. Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною, и Дух Божий носился над водою. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет» (Быт. 1:1–3). Там постулируется начало мира. Тьма, бездна и пустота первоначально озаряются божественным светом. Далее происходит отделение тверди, сотворение неба, субстанции, небесных светил и, наконец, жизни. То есть акт первоначала присутствует, космос представляется не вечным, а имеющим свое начало.

Основоположник космической философии К.Э. Циолковский в своих размышлениях скорее склонен рассматривать Вселенную бывшей в том или ином виде всегда, признавая, однако, ее вечную изменчивость. «Мы намерены доказать, что Вселенная всегда была и будет приблизительно такова, какова она есть и сейчас... Физическая жизнь космоса периодична, то есть повторяется» [1].

Проблема первоначала логически трудноразрешима, так как ставит вопрос о причинной детерминации первопричины, если допустить существование таковой. В современной физической картине мира присутствует акт первоначала Вселенной в образе Большого Взрыва. Вопрос, что было до него, как бы выносится за скобку научного познания со ссылкой на то, что в нем родилось само время, и, таким образом, становится неправомочным, ибо самого времени не было, а следовательно, и не было «до».

Однако нобелевский лауреат Роджер Пенроуз утверждает, что Вселенная проходила множество рождений и возникала много раз [2]. Концепция ученого – это фактически тоже парадигма вечной, но циклической Вселенной, и в этом смысле

его точка зрения созвучна с теорией Циолковского.

Концепции множественных мультивселенных представляют универсум вечным подобием пенящейся субстанции, отдельные пузыри которой порой раздуваются до невероятных размеров. Одним из них представляется наша Вселенная.

С философской точки зрения, проблема первоначала не решена. В данном случае нами не рассматривается множество конкретных физических теорий происхождения мира. В рамках поля философии важен общий когнитивный протоконструкт первоначала, если допустить, что таковое было, а с эволюционных позиций признание данного факта представляется основополагающим. Необходим некий образ, на который можно было бы опереться в своих размышлениях о структуре картины мира, включающей социум и человека. Ибо иначе нельзя построить удовлетворительную и законченную картину человеческой судьбы, социодинамики, которую целесообразно расширить и именовать космосоциодинамикой. Этот терминологический нюанс позволяет не забывать о происхождении и соподчиненности исследуемых явлений и процессов.

С нашей точки зрения, концепт вечной Вселенной хоть и является весьма привлекательным, но все-таки оставляет открытой саму проблему происхождения сущего. Физические аргументы об отсутствии времени до акта начала также несколько искусственны, не отвечают на поставленный вопрос и не создают внятной картины. Нужен логический прототип решения, или, лучше

сказать, когнитивный протоконструкт, способный обозначить путь снятия рассмотренного противоречия первоначала. Это можно сделать на основе предложенной нами концепции несколько видоизмененных чисел, получивших наименование темпоральных. Они не посягают на традиционную, принятую в математическом сообществе теорию чисел, но предлагают взглянуть на это фундаментальное математическое понятие с несколько иной стороны. Темпоральные числа существуют во времени, и, как всякие вещи (Пифагор утверждал, что число подобно вещи), претерпевают постоянные небольшие изменения во времени. В отличие, скажем, от вещественных чисел, темпоральные включают в себя две условные части – номинальную и феноменальную. Первая – это фактически некоторым образом ограниченное вещественное число, которым мы оперируем (а делается это всегда с ограниченным числом, хотя в теории битовая последовательность вещественного числа бесконечна) и проводим расчеты. Однако за пределами номинальной части существует пренебрежимо малая феноменальная. В пределах традиционных представлений это незначимые и неизменные (нулевые), уходящие в бесконечность знаки за пределами требуемой точности наших расчетов. В рамках же концепции темпоральных чисел предполагается, что эти незначимые биты флуктуируют во времени и получают какое-то случайное значение лишь в момент вычислительного акта. Таким образом, темпоральное число всегда уникально и никогда в точно-

сти не равно самому себе. Феноменальная его часть исчезающе мала и не оказывает никакого влияния на сходящиеся и гладкие вычислительные процессы. Но в случае нелинейности эти малые флуктуации приобретают ключевое значение и способны изменить судьбу Вселенной. Идея подобных чисел высказывалась независимо друг от друга нами [3] и швейцарским физиком-теоретиком Николасом Гисиним [4–5], который опирался на концепцию Брауэра.

В проблеме первоначала важен исходный постулат, формулирующий или определяющий, из чего возникла Вселенная. В Евангелии от Иоанна творящей силой выступает слово, причем наделенное важным рекурсивным свойством: «В начале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог» (Ин. 1:1). То есть возникает петля самосотворения. Первоначально есть Слово как символ материализации или воплощения замысла, и этот замысел и есть он Сам – Бог. Бог создает, или рождает, или актуализирует сам себя как творящее начало. Это важный когнитивный элемент, без которого, вероятно, сложно решить проблему первоначала.

Наука может лишь постулировать, что Вселенная возникла из ничего. И вот тут ключевое значение приобретают свойства этого самого ничего. Что оно собой представляет? Как можно его осмыслить?

Гегель в «Науке логики» обосновывает невозможность застывшего абсолютного ничто, утверждая, что оно мыслимо лишь как альтернатива бытия и, следовательно, уже содержит в себе этот потенциал. Равно как и бытие имеет уже в основе

ничто как элемент своей сущности. Бытие и ничто в диалектике Гегеля неразрывны, как свет и тьма. Одно не объяснимо без другого. Невозможно понять или определить, что есть тьма, если в потенции не существует света, ибо тьма есть его отсутствие. В отсутствии света уже содержится потенция его существования, ибо во тьме он отсутствует.

Математически ничто представлено нулем. Это отсутствие числа, количества. Но ноль в каком-то смысле предполагает существование количества, потенциально он тоже количество, в некотором смысле число.

Выше нами уже упоминалось понятие темпоральных чисел, существующих в реальном историческом времени, имеющих номинальную и феноменальную часть. Первая представляет собой собственно само число, его номинал, имя, по которому к данному числу или величине можно обращаться. Вторая не контролируема и подвержена флуктуациям в реальном времени, а ее величина лежит за пределами изменемости, вне зоны чувствительности вычислительных процедур, производимых с номинальной частью числа, но важно, что она существует. Феноменальная часть получает свое конкретное (неизвестное) значение лишь в момент непосредственного вычислительного акта; ее биты можно рассматривать скорее как квантовые кубиты, находящиеся в суперпонираванном состоянии.

Непосредственно в момент наблюдения (акта вычисления) разряды феноменальной части «оживают», принимая значение 0 или 1. Их количество при этом теряется в бесконечности,

да и нет необходимости (и возможности) некоторым образом выявлять и делать эту часть числа видимой. Важно лишь то, что она существует и обладает изменчивостью. Наличие феноменальной части делает все операции с темпоральными числами не коммутативными и не ассоциативными, что не имеет принципиального значения для «гладкой» сходящейся математики, но важно для нелинейных разрывных хаотических динамических явлений и процессов.

Темпоральными могут быть натуральные, целые, вещественные, комплексные, гиперкомплексные – фактически любые числа. Особенно интересен в этом отношении ноль. Номинальная его часть пуста и не содержит никакой величины. Однако за пределами этой пустоты располагается флуктуирующая феноменальная часть. Это не имеет существенного значения для традиционной арифметики и «гладкой» математики. Хотя, строго говоря, свойства нуля изменяются. На ноль становится теоретически можно делить. Он приобретает некую вещественность, что делает его полноценным, не выпадающим из общей канвы числом. Малость феноменальной части и ее флуктуации приобретают значение лишь в сочетании с нелинейностью, которая, подобно мощной линзе, способна многократно увеличивать флуктуирующее ничто, превращая его в разнообразные сложные полноценные структуры. Этот подход на данном этапе представляется едва ли не единственным возможным способом решения проблемы первоначала.

В качестве инструмента выражения и трансляции пара-

дигмальных смыслов нами был предложен метод когнитивных протококонструктов. Причем в рамках развиваемой концепции киберкосмизма [6] последние представлены в форме особым образом разработанных континуальных игр клеточных автоматов с нелинейными правилами перехода. Задача в данном случае заключается в том, чтобы с их помощью из ничего произвести сложные саморазвивающиеся клеточные структуры. Самый первый вопрос, возникающий при ее решении: где взять ничто? Если просто в качестве исходной конфигурации поместить в ячейки клеточного поля очень маленькие числа, это будет в какой-то степени обманом. Поэтому нужен некий способ генерации, воссоздания ничто именно в той форме, которая была заявлена нами ранее. Невольно всплывают поэтические строки Николая Гумилева: «...искать увянувшие розы и слушать мертвых соловьев...».

Получить ничто можно как раз-таки из невозможных в традиционном математическом мире так называемых симметроидов. Разработанные нами их модели (рис. 1) представляют собой континуальные синхронные клеточные автоматы, конфигурации которых возникают из одной исходной клетки, куда помещается изначально некоторое случайное число между нулем и единицей. В нашем случае симметроид будет выращиваться также из ничего. В качестве стартового значения предполагается использовать значение выражения ноль в степени ноль. Поскольку имеются в виду темпоральные нули, то фактически речь идет о возведении исчезающе малого числа в исчезающе малую степень – почти нуля в почти нулевую

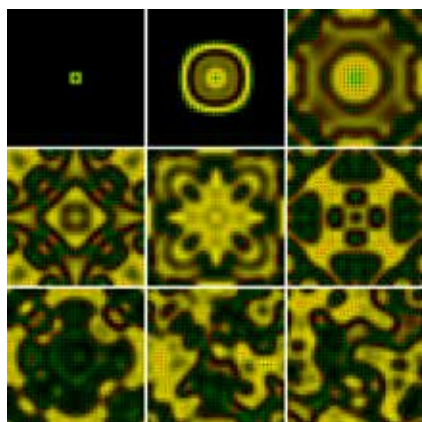


Рис. 1. Континуальный клеточный симметроид в различных фазах своего развития: от возникновения к дистинктивным структурам

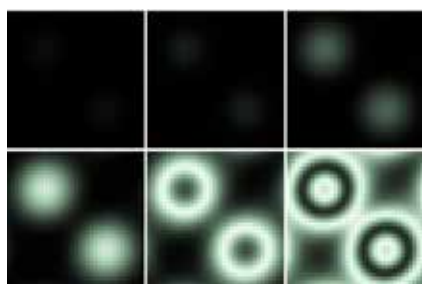


Рис. 2. Возникновение клеточной Вселенной из темпоральных нулей

степень, в результате чего мы получим почти единицу. Она и будет стартовым значением.

Правила взаимодействия ячеек этих автоматов содержат нелинейность в форме унитарного отображения, способного переходить к хаосу через серию бифуркаций удвоения периода по сценарию Фейгенбаума [7]. Поскольку правила перехода (формулы) для всех клеток одинаковы, а исходная клетка одна, то теоретически симметроиды должны оставаться центросимметричными неограниченно долго. В реальности же они самопроизвольно распадаются, достигнув определенного уровня развития. Этого происходить принципиально не должно. С точки зре-

ния традиционной арифметики, симметрия должна сохраняться неограниченно долгое время. В данном случае срабатывает как раз погрешность операций с плавающей точкой, которую с долей условности можно рассматривать как проявление темпоральных свойств чисел. Поэтому теоретически несуществующую разницу между центросимметричными элементами растущего симметроида мы возьмем в качестве основы для модели флуктуирующего феноменального ничто.

Суть всего алгоритма сведется к следующему. Первоначально из нуля в нулевой степени выращивается классический симметроид. В симметричной фазе его роста несуществующая разность между элементами матрицы $a[i][j]-a[n-i+1][n-j+1] \rightarrow 0[i][j]$ записывается в соответствующие ячейки чистого игрового поля (матрицу размером $n \times n$), заполненного темпоральными нулями (точнее, их floating point-аналогами). После этого к чистому игровому полю начинает применяться рекурсивная процедура тех же нелинейных правил перехода, которые использовались при выращивании симметроида.

Некоторое время ожидаемо ничего не происходит (теоретически ничего и не может происходить, ибо вычислительные действия осуществляются с нулевыми элементами). Однако через некоторое количество шагов на матрице начинают проявляться структуры (рис. 2). Они уже не столь симметричны, как исходный симметроид, но несут в себе искаженные следы центральной симметрии. Структуры развиваются, растут и занимают все пространство матрицы.

В дальнейшем симметрия конфигурации полностью распадается и превращается в эволюционирующие дистинктивные (различные, от англ. distinction) системы.

В нашем примере клеточная Вселенная возникла из ничего, так как никаких чисел в ячейки исходной матрицы мы не помещали. Она заполнялась арифметически несуществующим модулем разности равных чисел, к которому применялась одинаковая рекурсивная нелинейная процедура. В результате рождалась новая «невозможная» клеточная Вселенная.

Таким образом, предложенную модель можно рассматривать как когнитивный протоконструкт возникновения нечто из ничего на основе нелинейной темпоральной арифметики. Проведенный эксперимент можно интерпретировать как демонстрацию и доказательство принципиальной темпоральности объективной арифметики универсума, определяющей весь последующий эмерджентный характер его развития, включая высшую фазу космогенеза.

Проблема первоначала имеет тесную связь с проблемой самозарождения «я» в рождающемся животном организме и разумном существе. Социум как система множественных «я» – рефлектор, многократное отражение и самоповторение космоса. Рождается человек – рождается космос. Таким образом, метафизика первоначала космоса и «я» должны обладать свойствами подобия. Космос многократно перерождается и воспроизводится в когнитивных субъектных копиях возникающих индивидуальностей. Поэтому проблема первоначала космогенеза имеет прямое отношение к природе «я», а через нее

и к проблеме природы сил, формирующих и движущих космо-социодинамические процессы.

В контексте эмбриональной аналогии исходный клеточный симметроид может интерпретироваться или играть роль растущей клеточной структуры зародыша, в которой постепенно возникает душа, ощущение самого существования – «я». Сама по себе система клеток еще не является организмом в полном смысле слова, а тем более зачатком разумного существа. Эмбрион становится таковым, лишь обретая субъективное переживание собственного существования или, по крайней мере, потенцию такого переживания. Сколь далеко может простираться данная аналогия на космос, пока сказать сложно, но то, что потенциальная рефлексивность уже заложена в первоосновы устройства Вселенной, следует признать фактом. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Циолковский К.Э. Космическая философия. Живая Вселенная / К.Э. Циолковский. – М., 2017.
2. Пенроуз Р. Циклы времени. Новый взгляд на эволюцию Вселенной / Р. Пенроуз. – М., 2014.
3. А.В. Колесников, С.Н. Сиренко, Г.Г. Малинецкий. Хаос и трансформация категории времени в постнеклассической науке // Философия науки. 2019. №1. С. 35–56.
4. Gisin N. Real Numbers are the Hidden Variables of Classical Mechanics / N. Gisin // <https://arxiv.org/abs/1909.04514>.
5. N. Gisin. Mathematical languages shape our understanding of time in physics // Nature Physics. 2020. №16. P. 114–116
6. Колесников А.В. Киберкосмизм. Цифровая философия темпорального универсума / А.В. Колесников. – Минск, 2022.
7. М. Фейгенбаум. Универсальность в поведении нелинейных систем // Успехи физических наук. 1983. №2. С. 343–374.

ТРЕХМЕРНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ КЛЕТОК И БИОПРИНТИНГ

Аннотация. Представлены подходы к формированию плоских и объемных клеточных паттернов с применением метода биопринтинга, обсуждаются особенности трехмерного культивирования, когда за счет более интенсивных межклеточных взаимодействий у клеточного ансамбля появляются свойства, нехарактерные для одиночных клеток, создаются условия, необходимые для возникновения процессов самоорганизации в системе взаимодействующих клеток, трансформации в тканеподобные и органоподобные структуры. Современные методы биопринтинга позволяют увеличить производительность этих процессов путем инженерного внесения дополнительных уровней организации.

Ключевые слова: трехмерное клеточное культивирование, гидрогели, биопринтинг.

Для цитирования: Денисов А., Пашкевич С. Трехмерное культивирование клеток и биопринтинг // Наука и инновации. 2023. №11. С. 27–31. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-27-31>

Методы *in vitro* активно применяются в биомедицине при моделировании патологических процессов, разработке новых лекарственных препаратов и методов клеточной терапии, в биоинженерии. При культивировании клетки помещаются в питательную среду в специализированном инкубаторе с контролем уровней CO₂, pH и температуры для поддержания условий, необходимых для их жизнедеятельности.

Классические подходы основаны на их выращивании на плоской (2D) жесткой поверхности – на дне луночного планшета или чашки Петри. Такие условия далеки от естественной физиологической среды

УДК 57.086.83



Андрей Денисов,

заведующий лабораторией клеточной инженерии и нанобиотехнологий кафедры биофизики физического факультета Белорусского государственного университета, ведущий научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии Института физиологии НАН Беларуси, кандидат биологических наук; an.denisov@gmail.com



Светлана Пашкевич,

заведующий лабораторией нейрофизиологии Института физиологии НАН Беларуси, кандидат биологических наук, доцент; skypasht@mail.ru

и не позволяют воспроизводить сложную трехмерную (3D) структуру и микроокружение клеток в тканях *in vivo*, что может снижать релевантность экспериментальных данных. Так, в области создания новых лекарственных препаратов типичный процесс разработки включает ряд этапов исследований – доклинических (*in vitro* на клеточной культуре и на животных) и клинических, при этом последние наиболее затратны, в связи с чем актуально выявление нежелательных свойств или неэффективности тестируемых субстанций именно на ранних стадиях. При этом 90% препаратов, успешно прошедших доклинические испытания, при переходе к клиническим терпят неудачу [1]. Более 95% соединений, которые убивают опухолевые клетки в культуре или результативны против опухолей у животных, не проходят I фазу клинических испытаний [2]. Это свидетельствует о несовершенстве существующих экспериментальных моделей, в частности *in vitro*, и актуальности новых разработок в данной области. В настоящее время интенсивно развивается подход *in silico*, позволяющий с помощью методов компьютерного моделирования выполнять предварительный анализ свойств синтезируемых молекул. Однако усовершенствование используемых экспериментальных моделей *in vitro* для повышения эффективности процесса разработки и тестирования препаратов по-прежнему актуально, в том числе, и с целью снижения потребности в проведении опытов на животных *in vivo* в соответствии с современными тенденциями в области биоэтики.

В связи с этим активно развиваются методы 3D-культивирования для более полного воссоздания клеточного окружения, соответствующего

условиям *in vivo*. 3D-культуры отличаются более интенсивными взаимодействиями клеток между собой, а также с внеклеточным матриксом, наличием пространственных градиентов биохимических факторов, питательных веществ, кислорода и тестируемых субстанций, что приводит к возникновению новых, в терминах системной биологии – эмерджентных [3] свойств у трехмерной популяции клеток по сравнению с одиночными или клетками на плоском субстрате – таких, как устойчивость к действию фармакологических препаратов и способность к самоорганизации [4].

Для создания трехмерных популяций клеток используют как методы формирования клеточных сфероидов при культивировании в жидкой среде в условиях отсутствия адгезивной подложки, так и трехмерные скаффолды с применением гидрогелей на основе альгината, коллагена и широкого ряда других естественных или синтетических субстанций для моделирования внеклеточного окружения [5]. Гидрогель на основе клеточной суспензии в культуральной емкости позволяет, однако, в основном получать клеточные популяции с исходной гомогенной структурой. Вместе с тем интенсивно развивается подход по биопечати клеточных популяций с различной пространственной конфигурацией с помощью 3D-биопринтеров. Они активно применяются в исследованиях для создания тканеинженерных конструкций, разработки новых подходов в биомедицине, в том числе для построения научно-технологического базиса восстановления тканей и органов при решении задач регенеративной медицины [6].

В совместных исследованиях сотрудников кафедры биофизики БГУ и лаборатории нейрофизиологии Института физиологии НАН Беларуси

разрабатываются методы трехмерного культивирования клеток линии глиомы С6 и первичной культуры коры головного мозга крысы, создания упорядоченных клеточных паттернов с применением разработанного 3D-биопринтера, позволяющего формировать их в чашке Петри путем трехмерного позиционирования шприца с клеточной суспензией и ее дозирования в соответствии с заданным алгоритмом. Вид печатающего узла биопринтера представлен на *рис. 1А*. Типичный вид клеток глиомы крысы С6 при стандартном протоколе культивирования в чашке Петри показан на *рис. 1Б*. После высевания из суспензии клетки оседают на дно чашки равномерным слоем, прикрепляются к ее поверхности и распластываются, принимая характерную вытянутую веретенообразную форму с отростками.

На *рис. 2А* представлен паттерн из суспензии клеток глиомы С6, сформированный на дне чашки Петри при помощи биопринтера. Клеточная суспензия образует упорядоченную квадратную решетку в виде капель. По завершении процесса печати чашку Петри помещали на 15 мин в клеточный инкубатор, чтобы клетки осели на дно и закрепились, после чего промывали раствором фосфатного буфера, заливали средой культивирования и снова помещали в клеточный инкубатор. На *рис. 2Б* показаны клетки после одних суток культивирования. В отличие от однородного слоя, создаваемого по стандартной методике, они растут в виде паттерна в узлах решетки, сформированного посредством биопечати. В дальнейшем происходит пролиферация (разрастание путем размножения делением), распространение клеток по незанятым изначально участкам субстрата, и в течение нескольких дней клетки С6 полностью заполняют дно плотным монослоем.

На *рис. 2В* – фрагмент аналогичного клеточного паттерна на поверхности гидрогеля, полученного путем растворения 3%-ного желатина в среде культивирования с последующей его сшивкой ферментом трансглутаминазой [7]. На *рис. 2Г* показан участок паттерна после 4 суток культивирования. Морфология клеточной культуры существенно отличается от таковой в случае роста на плоском субстрате (*рис. 2Б*) – формируется плотный трехмерный кластер, от которого клетки разрастаются в стороны по объему гидрогеля. Одиночные имеют преимущественно округлую форму с тонкими отростками. Интенсивность пролиферации в 3D условиях также отличается – в случае роста аналогичного паттерна

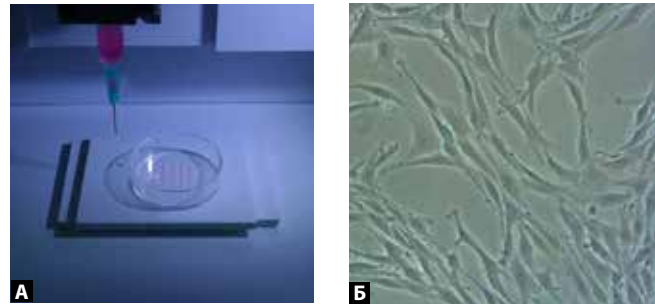


Рис. 1. Печатающий узел биопринтера (А). Клетки глиомы крысы С6, растущие на дне чашке Петри (Б)

на плоском субстрате клетки за это время полностью заполняют все свободное пространство.

С помощью методов биопринтинга можно создавать и более сложные структуры с применением композитных скаффолдов. На *рис. 3А* представлено фазово-контрастное изображение паттерна в виде решетки, сформированного из коллаген-альгинат-желатинового гидрогеля, оптимизированного для культивирования нейронов и дополнительно загруженного флуоресцентными графеновыми квантовыми точками (максимум поглощения – 485 нм, максимум испускания – 530 нм),

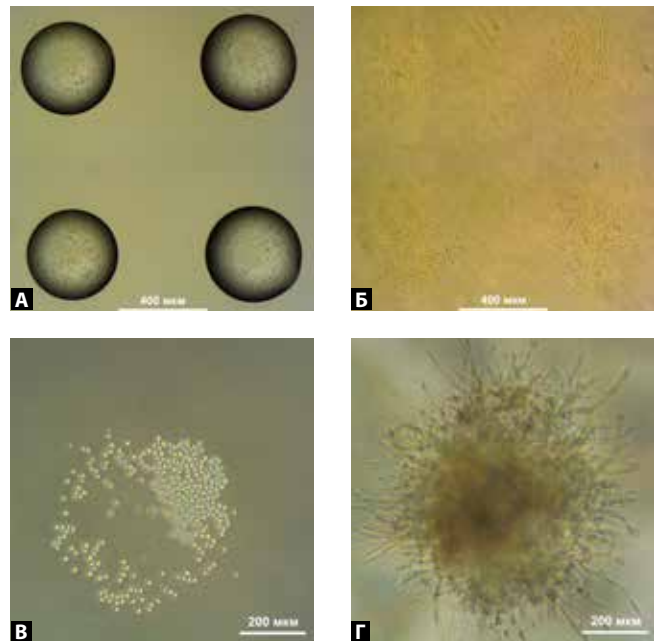


Рис. 2. Паттерн из суспензии клеток глиомы С6, сформированный на дне чашки Петри при помощи биопринтера: после печати (А) и через одни сутки культивирования (Б). Фрагмент паттерна из клеток глиомы С6, полученный на поверхности гидрогеля: после печати (В) и через 4 суток культивирования (Г)

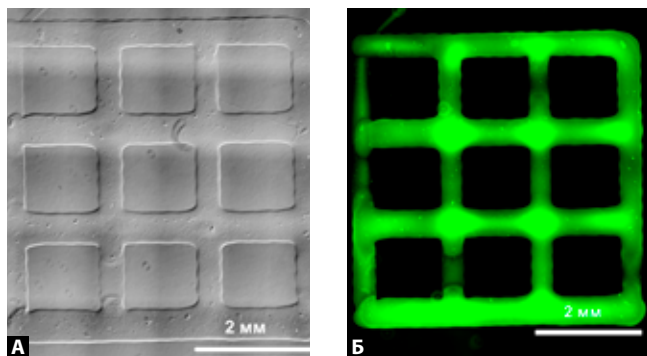


Рис. 3. Паттерн в виде решетки, сформированный из коллаген-альгинат-желатинового гидрогеля, загруженного флуоресцентными графеновыми квантовыми точками: фазово-контрастное изображение (А) и флуоресцентное изображение (Б)

а на рис. 3Б – соответствующее флуоресцентное изображение. Наноразмерные флуоресцентные углеродные материалы позволяют визуализировать клетки нервной ткани [8] и способны доставлять конъюгированные препараты. Как биосовместимый электропроводящий материал графен может улучшать механические и электрические характеристики гидрогеля при использовании в качестве интерфейсного элемента электродов сенсоров электрической активности при их сопряжении с трехмерными биоинженерными конструкциями, моделирующими нервную ткань.

Представленные методы формирования клеточных паттернов могут применяться при исследовании процессов миграции и пролиферации клеток. Задействованная в работе линия клеток глиомы крысы С6 широко используется при моделировании роста и инвазии опухолей, в том числе в условиях трехмерного культивирования [9]. Интенсивно развиваются методы экспериментального моделирования опухолевых процессов с помощью 3D-печати. Хотя трехмерное культивирование в гидрогелевых скаффолдах позволяет улучшить релевантность данных по сравнению с 2D-подходами, для создания более сложных моделей с гетерогенной структурой и васкуляризацией сложно обойтись без 3D-биопринтинга [10], открывающего новые перспективы для разработки персонализированных методов терапии онкозаболеваний [11].

Полученный эффект формирования клеточной культуры с различными свойствами из изначально одинаковых паттернов (рис. 2Б и 2Г) отражает существенные различия в условиях роста клеток при 2D- и 3D-культивировании.

Отличия в морфологии отдельных клеток (распластанные на поверхности и округлые/шарообразные в гидрогеле) определяют большую интенсивность их взаимодействия с внеклеточной средой в случае 2D-культуры. Плотная структура клеточного кластера при 3D-культивировании ведет к возникновению градиентов концентрации веществ, поступающих из внеклеточного раствора, факторов роста, вырабатываемых клетками, кислорода и др., что нехарактерно для культуры на плоской поверхности. Более низкая скорость пролиферации клеток глиомы С6 при 3D-культивировании дает возможность проведения длительных, более реалистичных экспериментов по сравнению с условиями 2D, когда клетки формируют плотный монослой за несколько дней, и становится необходимым их пересевание. При этом рост и увеличение размеров клеточных кластеров приводит к возникновению гипоксических состояний в их центрах с последующей гибелью клеток, что является особенностью методов 3D-культивирования, причем негативные процессы могут наблюдаться уже для структур толщиной порядка 200 мкм. В связи с этим весьма актуальна разработка методов биопринтинга для создания сосудистой сети, которая обеспечивала бы поступление кислорода и питательных веществ в объем клеточных конструкций [12].

Интенсификация межклеточных взаимодействий в трехмерной клеточной культуре обуславливает возникновение явления самоорганизации в данной сложной системе [4]. Одно из наиболее значимых практических применений такого эффекта – разработка методов формирования органоидов – трехмерных клеточных структур, получаемых из стволовых клеток и обладающих определенными свойствами органов с дифференцированными клетками и тканеподобной архитектурой [13]. Хотя структура органоидов во многом упрощена относительно полнофункционального органа, отсутствует васкуляризация и иннервация, органоиды при этом обладают преимуществами культуры *in vitro* (контролируемые условия роста, возможность масштабирования) и позволяют исследовать многие аспекты функционирования ткани [4].

Следует отметить, что для нейронов эмерджентные свойства могут проявляться уже при 2D-культивировании отдельных диссоциированных клеток благодаря формированию ими развитой сети отростков – нейритов,

посредством которых нейроны передают генерируемые электрические импульсы через синаптические контакты. Культивируемая биологическая нейронная сеть может спонтанно генерировать паттерны электрической активности, несвойственные одиночным нейронам [14]. Вследствие усложнения строения в процессе роста и развития у нервной ткани возникают принципиально новые качества. Зарождение сознания и интеллекта – наиболее яркий пример проявления эмерджентности в нейрофизиологии.

Мозг – наиболее сложно организованный орган, и для нервной ткани эмерджентные свойства и самоорганизация исследуются на различных уровнях: от молекулярных сигнальных каскадов синаптической передачи [15] до церебральных органоидов и мозга в целом [16]. При этом даже двумерная сеть из нескольких сотен тысяч нейронов, культивируемых на планарном микроэлектродном массиве, спонтанно генерирует сложные наборы пространственно-временных паттернов электрической активности, что делает эксперименты по исследованию процессов обучения *in vitro* труднопроизводимыми. Одним из подходов по улучшению стабильности нейросетевого ответа на стимуляцию может быть формирование нейронной сети методом биопечати в виде упорядоченной решетки, подобной представленной на рис. 3А.

Несмотря на успехи в области методов трехмерного культивирования, производимые с их помощью тканеинженерные конструкции находят лишь ограниченное применение в клинической практике. Это связано с тем, что получаемые клеточные продукты уступают по своим свойствам естественным тканям. Улучшить ситуацию может комбинация методов биопринтинга и формирования органоидов, чтобы создавать изначально организованную клеточную структуру и таким образом повысить эффективность последующего процесса самоорганизации клеток [17]. Прогресс этих направлений рассматривается как часть процесса смены парадигмы тканевой инженерии – сдвиг фокуса от конструирования ткани/органа (tissue engineering) на создание условий для развития, воспроизведения этапов органогенеза (developmental engineering) [18]. К передовым достижениям в этой области относится разработка ассембляжидов – композитных конструкций, объединяющих органоиды различных типов для более полного воссоздания функций органов [19].

■ **Summary.** The paper presents approaches to the formation of flat and three-dimensional cellular patterns using bioprinting methods, discusses the features of three-dimensional culture, when due to more intensive intercellular interactions the cell ensemble has properties that are not typical for single cells, the conditions necessary for the emergence of self-organization processes are created in the system of interacting cells, transformation into tissue-like and organ-like structures. Modern bioprinting methods provide increased productivity of these processes by engineering the additional levels of organization.

■ **Keywords:** three-dimensional cell culture, hydrogels, bioprinting.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-27-31>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. D. Sun [et al.]. Why 90% of clinical drug development fails and how to improve it? // *Acta Pharm Sin B*. 2022. Vol. 12. №7. P. 3049–3062.
2. A. B. Kunnumakkara [et al.]. Cancer drug development: The missing links // *Experimental biology and medicine* (Maywood N.J.). 2019. Vol. 244. №8. P. 663–689.
3. M. Adler, A. R. Chavan, R. Medzhitov. Tissue Biology: In Search of a New Paradigm // *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 2023. Vol. 39. №1. P. 67–89.
4. A. Xavier da Silveira dos Santos, P. Liberali. From single cells to tissue self-organization // *The FEBS Journal*. 2019. Vol. 286. №8. P. 1495–1513.
5. J. Lou, D. J. Mooney. Chemical strategies to engineer hydrogels for cell culture // *Nature Reviews Chemistry*. 2022. Vol. 6. №10. P. 726–744.
6. I. Matai [et al.]. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering // *Biomaterials*. 2020. Vol. 226. P. 119536.
7. L. S. Moreira Teixeira [et al.]. Enzyme-catalyzed crosslinkable hydrogels: Emerging strategies for tissue engineering // *Biomaterials*. 2012. Vol. 33. №5. P. 1281–1290.
8. А.А. Денисов, А.В. Богданова, Т.А. Кулагова, Т.Е. Кузнецова, Д.П. Токальчик, С.Г. Пашкевич. Диффузия графеновых квантовых точек в срезы гиппокампа крысы *in vitro* // *Новости медико-биологических наук*. 2022. Т. 25. №4. Стр. 14–18.
9. F. M. Kievit [et al.]. Chitosan–alginate 3D scaffolds as a mimic of the glioma tumor microenvironment // *Biomaterials*. 2010. Vol. 31. №22. P. 5903–5910.
10. M. G. Sánchez-Salazar, M. M. Álvarez, G. Trujillo-de Santiago. Advances in 3D bioprinting for the biofabrication of tumor models // *Bioprinting*. 2021. Vol. 21. Стр. e00120.
11. R. Augustine [et al.]. 3D Bioprinted cancer models: Revolutionizing personalized cancer therapy // *Translational Oncology*. 2021. Vol. 14. №4. P. 101015.
12. C. Tomasina [et al.]. Bioprinting Vasculature: Materials, Cells and Emergent Techniques // *Materials* (Basel). 2019. Vol. 12. №17. P. 2701.
13. C. Corró, L. Novellasdemunt, V. S. W. Li. A brief history of organoids // *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2020. Vol. 319. №1. P. C151–C165.
14. Denisov A. A. et al. Patterns of Electrical Activity Generated by Biological Neural Network *in vitro* // *Open semantic technologies for intelligent systems*. 2018. P. 265–268.
15. U. S. Bhalla, R. Iyengar. Emergent Properties of Networks of Biological Signaling Pathways // *Science*. 1999. Vol. 283. №5400. P. 381–387.
16. M. Thiebaut De Schotten, S. J. Forkel. The emergent properties of the connected brain // *Science*. 2022. Vol. 378. №6619. P. 505–510.
17. C. He [et al.]. Organoid bioprinting strategy and application in biomedicine: A review // *IJB*. 2023. Vol. 9. №6. P. 0112.
18. J. Chakraborty, S. Chawla, S. Ghosh. Developmental biology-inspired tissue engineering by combining organoids and 3D bioprinting // *Current Opinion in Biotechnology*. 2022. Vol. 78. P. 102832.
19. S. P. Paşca. Assembling human brain organoids // *Science*. 2019. Vol. 363. №6423. P. 126–127.

Статья поступила в редакцию 31.10.2023 г.

ОБ ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ ГРУППОВЫХ УБЕЖДЕНИЙ И ЗНАНИЙ



Игорь Прись,
ведущий научный
сотрудник Института
философии НАН Беларуси,
кандидат физико-
математических наук,
доктор философии (PhD)

Эмерджентность означает возникновение нередуцируемого нового. С одной стороны, она предполагает некоторое основание (это необходимое условие), с другой – в том или ином смысле не редуцируется к нему (например, не может быть выведено или предсказано из него), то есть имеет собственную реальность. Это компромисс между полной зависимостью и полной автономией, срединная позиция между редукционизмом и дуализмом [1]. Рассмотрим некоторые примеры предполагаемой эмерджентности групповых эпистемических свойств – убеждений и знаний.

Анализ показывает, что правдоподобным допущением является то, что группа может обладать самостоятельной реальностью и иметь эмерджентные (групповые) эпистемические, этические и другие свойства. В частности, она может знать (или просто верить), что p (где p – предложение, выражающее пропозицию), независимо от того, знают (верят), что p , или нет ее отдельные члены.

Групповое знание (или убеждение) можно определить по-разному (но не произвольно!). В самом простом случае можно сказать, что группа знает (верит), что p , если каждый ее член знает (верит), что p . В этом случае, однако, группа редуцируется к совокупности индивидуумов, а групповое знание – к индивидуальным знаниям. Нет никакой эмерджентности.

Кроме того, эта простейшая модель сталкивается с контрпримерами. Предположим, что все члены группы знают (или верят), что p , но никто не знает, что другие знают (верят), что p , а всякий думает, что только он знает (верит), что p . Предположим, что

каждый думает, что другие верят, что q , но не хочет быть «белой вороной» и поэтому скрывает, что он знает (верит), что p , и ведет себя так, как если бы он знал (верил), что q (то есть каждый хочет быть «как все»). В такой ситуации в результате процесса обсуждения группа может принять положение q в качестве своего группового «знания» («убеждения»). Соответствующим образом она будет себя и вести. При этом нельзя сказать, что группа действительно будет знать, что q (утверждение, что q , может быть ложным, тогда как знание фактивно, то есть с необходимостью влечет истинность соответствующего убеждения). В то же время невозможно утверждать, что группа будет знать (или верить), что p , несмотря на то, что индивидуально все ее члены знают (верят), что p . Можно, однако, предположить, что группа будет верить, что q . Таким образом, убеждение, что q , оказывается эмерджентным: группа верит, что q , хотя ни один ее член не верит, что q , а знает (верит), что p .

Механизмы эмерджентности разнообразны. Например, присяжные заседатели, несмотря на свои индивидуальные предрассудки по отношению к подсудимому, проявляющиеся в частной жизни, могут вынести справедливое решение о его невиновности, если при разбирательстве в рамках группы удовлетворяются нормы объективности. Все вместе они могут знать (или обоснованно верить), что он невиновен, несмотря на то, что индивидуально никто не знает (не верит) в это. Социальная группа может состоять и из одного-единственного человека. Судья как частное лицо может верить, что подсудимый виновен. В то же время в суде, выполняя свою социальную функцию в соответствии с нормами судопроизводства, он может верить (или знать), что подсудимый невиновен.

Можно также ввести понятия «групповая (эмерджентная) очевидность» и «групповое обоснованное убеждение». Социальная группа имеет определенную структуру, функции, законы, цели и стандарты. Поэтому одна и та же совокупность индивидуумов, располагающая одной и той же информацией, может образовывать разные социальные группы. Например, вследствие того, что существуют различные стандарты доказательства в уголовном и гражданском судопроизводствах, может оказаться, что одни и те же присяжные заседатели, владеющие идентичной информацией, в зависимости от того, принимают ли они участие в уголовном или гражданском процессе, будут образовывать разные социальные группы, одна из которых может обоснованно верить, что подсудимый невиновен, тогда как другая – что он виновен [2].

Распределенное знание, что p – вид группового знания, что p , при котором ни один член группы не знает, что p , хотя тем или иным образом и в той или иной мере каждый член группы вносит свой вклад в групповое знание, что p .

Британский философ науки А. Берд приводит следующий пример: «Dr. X, физик, и Dr. Y, математик, сотрудничают в рамках проекта, цель которого – доказать истинность гипотезы q . Проект разбит на 3 части. Первая – физическая проблема, состоящая в том, чтобы показать, что p . Над ней работает только Dr. X. Вторая – чисто математическая задача, требующая доказать, что из p следует q . Dr. Y несет единоличную ответственность за ее решение. Часть третья подразумевает применение правила *modus ponens* к результатам, полученным в 1 и 2. Ассистенту поручено опубликовать результат только в том случае, если он получит от Dr. X доказательство, что p истинно, а от Dr. Y – что $p \rightarrow q$. (...) Можно представить себе, что X и Y не общаются ни друг с другом, ни с ассистентом и не знают в момент публикации, что гипотеза q была доказана» [3, 4]. Берд утверждает, что в момент публикации группа знает, что q , хотя ни один член группы не знает, что q . Существенным для наличия группового знания является наличие социальных связей между членами группы. Это разновидность групповой эпистемологии распределенного знания «начала социальные связи».

На самом деле роль ассистента может играть даже ребенок. Было бы контринтуитивно отнести его к познающей группе. Естественно предположить, что в данной социальной группе следует выделить собственно когнитивную подгруппу, к которой относятся лишь физик и математик, но не ассистент, выполняющий чисто вспомогательную функцию и ничего не смыслящий в производимом результате, что q . Социальная группа важна для производства знания, но только ее когнитивная подгруппа может быть его носителем. Берд же полагает, что ассистент – член группы как носителя группового знания, так как он технически необходим для его выработки. Но ведь и почтальон, который регулярно приносит корреспонденцию членам группы, тоже технически необходим для ее функционирования, но никто не скажет, что он вносит вклад в знание, что q . Таким образом, возникает вопрос о границах собственно когнитивной подгруппы, на которой может быть локализовано знание, что q . Модель Берда слишком либеральная. Она не делает различия между процессом производства знания и его носителем.

Эпистемолог и философ сознания Дж. Каллеструп предлагает свою версию мысленного эксперимента Берда, в которой ассистент не знает ни физики, ни математики, а выполняет чисто механическую работу: сохраняет полученную от Dr. X и Dr. Y информацию, готовит ее к публикации и отправляет в журнал [2]. В этом случае он не может считаться членом когнитивной подгруппы. Каллеструп утверждает, что знание приобретает группа, состоящая из Dr. X и Dr. Y.

Некоторые авторы предполагают, что более широкая социальная группа может участвовать, по крайней мере, в производстве знания. Не очевидно, однако, что ее некогнитивные элементы в состоянии вносить вклад в данный процесс, хотя они задействованы в получении результата (публикации статьи в примере Берда).

В этой связи приведем версию еще одного примера Берда. Профессор X делает открытие, публикует его в научном журнале и вскоре умирает, а вслед за ним – рецензенты и издатель журнала. Немногочисленные читатели статьи забывают как о ее содержании, так и о существовании. В течение нескольких лет материал никто не читает и, соответственно, никто не знает о сделанном открытии. Однажды профессору Y попадает на глаза публикация профессора X, и первый ссылается на нее в своей работе, благодаря чему открытие приобретает широкую известность. Берд утверждает, что научное сообщество как целое всегда знало об этом открытии, так как статья находилась в публичном доступе (в библиотеке) в соответствии с существующими научными нормами. Коллективное знание об открытии отсутствовало бы, если бы профессор X не опубликовал свой результат [4].

Этот пример можно усложнить. Предположим, что прошло не несколько, а много лет, сохранился лишь один-единственный экземпляр журнала, а статья была написана на иностранном языке и т.д. Эти дополнительные условия ослабляют интуитивное предположение о том, что научному сообществу было известно о сделанном профессором X открытии. О коллективном знании можно говорить лишь в том случае, если это понятие что-то объясняет. Например, коллективное знание физики и того, как работает адронный коллайдер (интеллектуалисты полагают, что «знание как» (что-то делать) – разновидность (пропозиционального) «знания что»), позволяют объяснить открытие бозона Хиггса. В примере Берда статья профессора X лежит в библиотеке, так сказать, мертвым грузом, то есть находится вне научного (когнитивного) употребления.

Ее существование не вносит никакого вклада в развитие науки. Если отталкиваться от парадигматических случаев коллективного научного знания, вовсе не очевидно, что примеры Берда – суть примеры группового знания.

Теорию ученого можно проверить с помощью теста на существование дефитора (defeator). Дело в том, что индивидуальные знание и обоснование могут быть устранены психологическими или нормативными дефиторами (второй ослабляет обоснованность убеждения даже в том случае, если о его наличии не знают). Подлинное групповое знание и обоснование также должны удовлетворять этому требованию.

Американская исследовательница в области социальной эпистемологии Дж. Лаки предложила следующий психологический дефитор для предполагаемого группового знания в примере Берда. Предположим, что вследствие незнания результата, изложенного в опубликованной статье, по тем или иным причинам большинство членов научного сообщества пришло к ложному убеждению, противоречащему этому результату. Допустим, что сообщество в целом приняло ложное убеждение и начало действовать соответствующим образом (финансирование проектов, выделение грантов, распределение позиций и т.д.). В этом случае контринтуитивно утверждать, что оно знает о сделанном в опубликованной статье открытии. Таким образом, понятие группового знания в смысле Берда не проходит тест Лаки [5]. На самом деле, как показал британский эпистемолог А. Картер, даже более умеренные случаи предполагаемого группового знания не справляются с тестом на существование дефитора [6].

Другой крайностью и разновидностью групповой эпистемологии «сначала социальные связи», принимающей это понятие в качестве первичного для объяснения распределенного знания, является позиция греческого философа О. Палермоса, согласно которой групповое знание требует тесного эпистемического взаимодействия между членами группы, обмена информацией, наличия обратной связи и т.д. Палермос применяет теорию динамических систем для объяснения эмерджентных когнитивных явлений. В рамках этого подхода, например, неавтономные когнитивные системы, будучи частями единой системы с «транзактивной памятью», в результате взаимодействия могут вспомнить то, что не могли бы вспомнить индивидуально [7].

На самом деле можно даже не участвовать в процессе формирования знания и в то же время быть его носителем или принадлежать группе, которая

является его носителем. Например, руководитель исследовательской группы, синтезирующий производимые ею частичные результаты, может не участвовать в когнитивном взаимодействии с ее членами. Тем не менее он, несомненно, будет относиться к когнитивной группе. Таким образом, модель Палермоса, в основе которой лежат двусторонние и многосторонние связи, оказывается слишком сильной.

Примеры Берда, Палермоса и соответствующие контрпримеры можно проанализировать с точки зрения эпистемологии добродетелей (ЭД). На индивидуальном уровне она утверждает, что знание есть подходящее (арт) убеждение. Применительно к групповому знанию можно сказать, что группа знает, что *p*, если и только если у нее есть убеждение, что *p*, и это убеждение истинно и подходяще. Подходящесть означает причинную обусловленность истинности убеждения компетенцией (в случае группы – групповой компетенцией), которая таким образом проявляется в истинном убеждении.

Если в примере Берда предположить, что групповое знание все-таки имеет место, следует признать, что подходящесть убеждения группы эмерджентна, поскольку у ее членов отсутствует знание, и, следовательно, их убеждения не являются подходящими. В то же время можно утверждать, что в этом примере компетенция группы редуцируется к компетенциям ее членов – физика и математика. Каллеструп считает, что и в общем случае компетентность группы (но не подходящесть ее убеждения) может быть лишь «суммой» компетенций отдельных ее членов, то есть он занимает позицию редукционизма относительно групповой компетенции. Это объясняет, почему ассистент не относится к собственно когнитивной подгруппе, являющейся носителем знания.

В то же время, как показал А. Картер, в общем случае компетенция группы может не редуцироваться к сумме компетенций ее членов. Многие зависят от ее структуры как целого. Например, спортивная команда может обладать высокой эмерджентной компетенцией благодаря своей правильной организации, несмотря на посредственный уровень компетенции отдельных ее членов, и наоборот. Групповая эпистемологии добродетеля не является редуктивной [8].

На наш взгляд, может и должен быть сделан еще один шаг – в направлении к групповой эпистемологии сначала-знания (ЭСЗ). Это более фундаментальная теория, чем ЭД. Согласно ЭСЗ известного британского философа Т. Уильямсона, знание – норма убеждения и обоснования [9]. Тогда групповое знание было бы нормой групповых убеждения и обоснования [10].

Иногда групповое убеждение, что *p*, определяется как совместное принятие, что *p*. Следующий классический пример американского когнитивного антрополога Э. Хатчинза опровергает эту теорию. Команда корабля, основываясь на имеющейся у нее информации, обдуманно, уверенно и безопасно направляет его в порт – на север со скоростью 80 миль/час [11]. Наилучшим объяснением этого группового действия является то, что как целое она знает, как это сделать, и, соответственно, знает направление и скорость движения. В то же время ни один из ее членов не только этого не знает и в это не верит, но даже не думает о том, что корабль плывет таким образом. Каждый просто вносит свой когнитивный вклад в общую слаженную работу команды. В частности, у ее членов отсутствует совместное принятие положения, что корабль движется на север со скоростью 80 миль/час. В данном случае группа является носителем эмерджентного (распределенного) знания, но не совместного принятия положения о скорости и направлении движения корабля.

Согласно ЭСЗ Уильямсона, знание – ментальное состояние [9]. Если предположить, что ЭСЗ применима к группе, то следует сделать вывод, что распределенное знание – ментальное состояние. Другими словами, тезис о распределенном знании оказывается радикальной версией активного экстернализма и, в частности, тезиса о расширенном сознании, согласно которому ментальное состояние не внутри черепа, а эмерджентно (супервентно), в том числе и над релевантными элементами внешней среды [12]. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. O'Connor T. Emergent properties // Stanford Encyclopedia of Philosophy // <https://plato.stanford.edu/entries/properties-emergent>.
2. J. Kallestrup. Group Virtue Epistemology // *Synthese*. 2016. №197 (12). P. 5233–5251.
3. Bird A. When is there a group that knows? Distributed cognition, scientific knowledge, and the social epistemic subject // *Essays in collective epistemology* / ed.: J. Lackey. – Oxford, 2014. P. 42–63.
4. A. Bird. Social knowing: The social sense of «scientific knowledge» // *Philosophical Perspectives*. 2010. №24(1). P. 23–56.
5. J. Lackey. Socially Extended Knowledge // *Philosophical Issues*. 2014. №24(1). P. 282–298.
6. J.A. Carter. Group knowledge and epistemic defeat // *Ergo: An Open Access Journal of Philosophy*. 2015. Vol. 1. №2. P. 711–735.
7. O. Palermos. The Dynamics of Group Cognition // *Minds and Machines*. 2016. 26(4). P. 409–440.
8. Carter A. Collective (Telic) Virtue Epistemology // *Social Virtue Epistemology* / eds.: M. Alfano, J. De Ridder, C. Klein. – Routledge, 2020.
9. Williamson T. Knowledge and its limits / T. Williamson. – Oxford, 2000.
10. Прись И.Е. Знание в контексте / И.Е. Прись. – СПб., 2022.
11. Hutchins E. *Cognition in the Wild*. MIT Press, 1995.
12. A. Carter, B. Czarnecki. Extended knowledge how // *Erkenntnis*. 2016. Vol. 8(2). P. 259–273.

СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ И ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ МЕДИАПРОСТРАНСТВА

**Александр
Посталовский,**
заместитель директора
по научной работе
Института социологии
НАН Беларуси, кандидат
социологических наук,
доцент



В современных условиях происходит перманентная трансформация практик общественного поведения и содержания повседневности. Традиционные способы функционирования социальных систем постоянно видоизменяются и принимают принципиально новые формы. Одним из важнейших институтов, оказывающих воздействие на сознание и поведенческие установки личности, является медиапространство, включающее традиционные (телевидение, радио, печатные СМИ) и сетевые источники (интернет-сайты, новостные порталы, социальные медиа (сети), мессенджеры) воспроизводства массовой информации, которые посредством трансляции и публикации контента на своих платформах формируют событийную повестку происходящего. Как и общество в целом, данный сегмент постоянно трансформируется, меняются практики медиапотребления, тематические предпочтения и сама аудитория. Немаловажным аспектом при этом выступает феномен эмерджентности, представляющий собой наличие у структурных частей условного целого специфических свойств, которые изначально не были присущи системному объекту. В отношении медиа данный феномен предполагает появление новых принципов потребления и технологий распространения массовой информации. Один из результатов такого влияния – возникновение социальных сетей – принципиально новых субъектов воспроизводства информационного контента в онлайн-пространстве. Их основные задачи – визуализация социальных отношений, межличност-



ное общение между интернет-пользователями, формирование интерактивных форм самопрезентации, индивидуальное создание и последующее распространение контента. Социальные сети – это прежде всего комплексное собирательное понятие форм коммуникации и технологий воспроизводства массовой информации. На первоначальном этапе они возникли как коммуникативные формы установления межличностных контактов в сети Интернет. Технические возможности социальных сетей (Twitter, Facebook, Вконтакте, Одноклассники и др.) позволяют в режиме реального времени организовать общение между индивидами, а также способствуют их групповой коммуникации и консолидации (объединению в сообщества и социальные группы). Немаловажным аспектом также представляются разнообразные возможности мгновенной передачи (обмена) аудиовизуальной информации и видеоматериалов (видеохостинг), что делает соцсети весьма популярными среди представителей молодежи и среднего поколения. Вместе с тем это пространство перестало играть роль площадки для установления коммуникативных связей. Онлайн-сервисы в контексте процессов эмерджентности трансформировались в полноценные ресурсы с возможностью воспроизводства, трансляции и распространения социально значимой для конкретного автора информации. Наличие технических возможностей фактически приравнивало пользователей соцсетей к формату редакции СМИ, которая сама определяет время, очередность и содержание транслируемого материала.

Эмерджентность современных медиа привела к тому, что соцсети стали не только инструментами коммуникации, но и полноценными источниками воспроизводства массовой информации. Данная тенденция подчеркивается в научной среде в контексте интерпретации роли и назначения социальных сетей в современном информационном пространстве. Так, белорусский исследователь А.А. Градюшко определяет их «как новую платформу для СМИ, где любой пользователь может участвовать в создании и распространении социально значимой информации» [1]. В данном случае подчеркивается возможность потребителя контента также выступать источником ее воспроизводства и дальнейшего распространения. Кроме того, в научной среде встречаются такие формулировки, как «новые медиа» или «новые СМИ». Так, российский политолог Д.И. Каминченко предлагает называть таким образом электронные СМИ, «позволяющие аудитории взаимодействовать с производителями информации» [2]. По его мнению, в указанных контекстах социальные медиа есть «средства массовой информации, позволяющие устанавливать связь между людьми, группами, организациями и формировать свои собственные сети» [2].

Знаковым отличием социальных сетей от традиционных СМИ выступает коммуникативно-сетевой способ распространения информационных потоков и индивидуальное формирование потребителем значимого для него материала. В классических СМИ новости передаются вертикально по принципу «сверху-вниз» – от производителя контента к потребителям.

Источники получения информации	Количество респондентов, %
Интернет (сайты, новостные порталы)	51,8
Телевидение	49,8
Социальные сети	19,7
Мессенджеры	17,1
Газеты	13,8
Радио	7,5
Нет ответа	2,0

Таблица 1. Показатели ответов на вопрос «К каким источникам информации Вы обращаетесь, если хотите получить информацию по проблемам политики?»

Социальные сети	Популярность среди пользователей, %
Instagram	33,7
ВКонтакте	31,2
Одноклассники	25,3
YouTube	23,3
TikTok	15,7
Facebook	4,9
Twitter	1,4
Мой мир / Mail.ru	1,0
Социальными сетями не пользуюсь	19,7
Затрудняюсь ответить	6,5

Таблица 2. Показатели востребованности социальных сетей в оценках пользователей социальных медиа

Характеристики социальных медиа	Количество пользователей
Достоверность	67,5
Содержательность	38,2
Актуальность	27,0
Оперативность	24,9
Затрудняюсь ответить	4,5
Другое	1,4

Таблица 3. Предпочитаемые характеристики социальных медиа в представлении населения

Последние при этом не могут влиять на содержание и объемы предоставляемой информации. К примеру, телезритель может переключить канал или выключить телевизор, но не может контролировать исходящие объемы и содержание транслируемого материала.

В соцсетях любой включенный в их деятельность может быть источником, потребителем и распространителем массовой информации в одном лице. Причем степень и содержание входящих потоков определяется самим пользователем соцмедийного пространства путем подписок, репостинга в своем профиле значимых для него сообщений, высказываний публичных оценок или участием в обсуждении того или иного явления. В отличие от традиционных СМИ, среда сетевой виртуальной медиакommunikации имеют не только вертикальный (исходящий поток информации от источника воспроизводства событийно-новостного контента), но и горизонтально-сетевой канал. Это стало возможным вследствие феномена эмерджентности медиа, который трансформировал первоначальные основные назначения сетевых сервисов.

Некогда социальные сети выступали средством межличностного общения преимущественно молодых людей, их коммуникации и объединения групп по интересам. Заложенный в специфику функционирования соцсетей принцип таргетинга позволяет максимально быстро сформировать «клуб интересов» и донести информацию до целевой аудитории. Кроме того, таким образом создается почва для межличностного общения и установления прочных связей между индивидами, которые в реальной жизни могут быть незнакомы и находиться в географическом плане на колоссальном расстоянии друг от друга [3]. Соцсети выступают полноценным сегментом национального медиaproстранства и площадкой для размещения и распространения контента. Соответственно, они перестают быть исключительно коммуникативными, превратившись в информационные ресурсы.

Представленная тенденция трансформации в зеркале процессов эмерджентности изучалась с применением инструментария социологической науки. Институтом социологии НАН Беларуси в мае – июне 2023 г. был проведен опрос респондентов по месту жительства по принципу «лицом к лицу» (объем выборки – 1848 человек). Согласно представленным в табл. 1 данным, социальные сети и мессенджеры в качестве потенциального источника получения информации по проблемам политики склонны рассматривать 36,8% респондентов (17,1% – мессенджеры, 19,7% – социальные сети).

И хотя полученные показатели востребованности соцсетей и мессенджеров в значи-

тельной степени уступают Интернету в целом и телевидению, тем не менее можно с уверенностью говорить об их использовании (практики медиапотребления) именно в качестве информационного ресурса. Наиболее популярными являются Инстаграм (33,7%), ВКонтакте (31,2%), Одноклассники (25,3%) (табл. 2).

В данном случае обращает на себя внимание популярность площадок, ориентированных на аудиовизуализацию контента и личностную самопрезентацию (Instagram, TikTok, YouTube). Это позволяет говорить о еще одной тенденции эмерджентности – концептуальном оформлении такого медийного направления, как субъектная визуализация, посредством сервисов сторителлинга и Reels. Изначальная нацеленность на коммуникативные практики в последующем преобразовалась в полноценный информационный ресурс, канал индивидуальной презентации самого себя в Сети (коммуникация – информация – презентация).

Согласно данным, представленным в табл. 3, наиболее предпочитаемыми характеристиками, за которые пользователи социальных медиа ценят онлайн-ресурсы, являются достоверность (67,5%), содержательность (38,2%) и актуальность (27,0%).

Это категории, в наибольшей степени характерные (свойственные) для средств массовой информации, хотя социальные сети по своей сути такими не являются. Главное их отличие от традиционных медиа – установление коммуникативных связей между источниками информации и ее потребителями. Кроме того, соцсети выступают в качестве коммуникативного поля, основная задача которого – интеграция, межличностное общение аудитории и визуальная самопрезентация субъекта.

Установление связей и последующее объединение пользователей в группах (чаты в мессенджерах) по интересам может играть, с одной стороны, положительную роль, так как выполняется функция межличностной коммуникации и поиска единомышленников, что является изначальным назначением и свойством соцсетей как системы. С другой стороны, это может играть и отрицательную роль. К сожалению, имели место случаи, когда экстремистские политические организации, используя инструментарий социальных сетей (мессенджеров) и информационно-коммуникативные технологии манипуляции сознанием, способствовали консолидации радикально настроенных индивидов (в большин-

стве своем молодежи как устойчивой социально-демографической группы с не до конца сформировавшимся мировоззрением и ценностными ориентациями) для их дальнейшего участия в несанкционированных антиправительственных мероприятиях. Как видим, эмерджентность медиа может принимать как позитивные содержательные очертания (коммуникация), так и негативные (потенциальный фактор сетевой дестабилизации), видоизменяя первоначальное назначение и идею функционирования соцсетей.

Исходящая модель воспроизводства и трансляции контента не предполагает коммуникативных практик, в то время как социальные медиа изначально выступают пространством сетевого общения. В случае с газетами, радио и телевидением аудитория лишь потребляет исходящую информацию. Тенденции перманентного коммуникативного взаимодействия и мгновенного ее распространения привели к тому, что медиасредства стали эффективным инструментом мобилизации и аккумуляции единомышленников в условиях социально-политических конфликтов в связи с ориентацией соцсетей на инстинкты, действия и объединения. И хотя в плане наличия качественных содержательных аналитических материалов социальные сети еще не в полной мере способны конкурировать с традиционными СМИ, однако в отечественном медиапространстве о них можно говорить как об обособленном структурном сегменте.

Эмерджентность медиа привела к разнонаправленности содержания и назначения соцсетей, значительно переформатировав технический функционал и каналы воздействия на целевую аудиторию. Указанный процесс не может рассматриваться как однозначно позитивное или негативное явление, поскольку эмерджентность медиапотребления в значительной степени видоизменяет каналы воспроизводства и распространения информации, что представляется объективной тенденцией развития медиасферы. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.А. Градюшко. Стратегии новостных интернет-изданий Беларуси в социальных сетях // Весн. Магілёўс. дзярж. ун-та. Сер. А, Гуманітар. навукі. 2014. №2. С. 67–73.
2. Каминченко Д.И. «Новые» средства массовой информации и социальных медиа как субъект политического процесса: автореф. дис. ... канд. полит. наук: 23.00.02 / Д.И. Каминченко; Нижегород. гос. ун-т. – Н. Новгород, 2015.
3. Посталовский А.В. Национальное информационное поле в контексте вызовов и угроз современного мира: социологическое измерение: монография / А.В. Посталовский. – Минск, 2019.



Екатерина Рожковская,
доцент кафедры национальной
экономики и государственного
управления Белорусского
государственного
экономического университета,
кандидат экономических наук



Виолетта Триллер,
аспирант кафедры
национальной экономики и
государственного управления
Белорусского государственного
экономического университета,
магистр экономических наук

Проблемы и приоритеты научно-технологической политики в условиях структурной трансформации экономики

Мировая экономика вступила в период деглобализации и кардинальной переконфигурации ее устройства, который сопровождается усилением неустойчивости и фрагментарности глобальных цепочек создания стоимости, формированием новых региональных торгово-экономических блоков, определяющих тенденции и перспективы будущего развития. В этих условиях многие государства сталкиваются с необходимостью изменения основополагающих принципов своей промышленной и научно-технической политики, корректировки инно-

вационно-технологических приоритетов с тем, чтобы противостоять нарастающим вызовам и угрозам.

Республика Беларусь в этом плане не исключение. Усиливающееся внешнее давление на страну инициирует ускоренную экономическую трансформацию, что влечет за собой кардинальное изменение структуры внешних поставок, производства, доходов, занятости и цен, преобразование модели воспроизводства экономики и механизмов ее функционирования [1]. Это актуализирует потребность в выработке

экономической политики, оперативно реагирующей на текущие вызовы и способствующей адаптации, прежде всего, производственной и технологической подсистем к новым условиям.

В отношении нашей страны западными государствами введено более 1,4 тыс. секторальных и индивидуальных ограничений, объем которых с учетом масштаба белорусской экономики в 1,26 раза превышает количество санкций, наложенных на Российскую Федерацию (рис. 1). Действие санкций одновременно распространяется по нескольким каналам. Во-первых, через валютно-финансовые механизмы, в том числе путем закрытия доступа к международным рынкам капитала; во-вторых, посредством запретов в транспортно-логистической сфере, внешней торговле, а также введением эмбарго на поставки в страны Европы и США продукции флагманов отечественного производства (нефтеперерабатывающей, химической и металлургической промышленности, машиностроения и деревообработки, производства удобрений и табачных изделий и др.), импортных рестрикций со стороны «недружественных» государств и уходом с внутреннего рынка ряда иностранных производителей.

Влияние перечисленных санкционных ограничений имеет преимущественно краткосрочный характер и в целом не оказывает существенного воздействия на отечественную экономику. Благодаря оперативному перенаправлению торговых потоков с западного на восточный вектор, перестройке производственно-логистических связей удалось минимизировать негативное влияние внешних рестрикций. По итогам 2022 г. снижение ВВП

в реальном выражении составило $-4,7\%$ к уровню предыдущего года, а по итогам 2023 г. ожидается прирост на уровне $3,8\%$ [2].

Однако влияние санкций на экономику не исчерпывается лишь краткосрочными эффектами. Введение запретов на поставки в страну машин и технологического оборудования, компонентов и товаров двойного назначения имеет отложенный накопительный характер и является наиболее значимым фактором, сдерживающим потенциал развития белорусской экономики в долгосрочной перспективе.

По оценкам Евразийского банка развития, вероятные темпы ее роста в кратко- и среднесрочном периоде оцениваются на уровне 101% [4]. Ожидаемое замедление макроэкономической динамики в Беларуси во многом вызвано действием структурных причин и деформаций, сдерживающих быструю перегруппировку ресурсов и переключение экономики на альтернативные источники роста, грузом накопленных проблем в научно-технической и инновационной сфере, высокой степенью зависимости от иностранных технологий и мирового рынка исследований и разработок. Развитие последнего характеризуется рядом тенденций, определяющих будущее глобальной эконо-

мики, которые необходимо учитывать при корректировке национальной научно-технической политики. Их игнорирование угрожает долгосрочным технологическим отставанием и нарастанием экономической дивергенции не только от стран-лидеров, но и государств с сопоставимым уровнем развития.

Среди ключевых трендов научного и инновационно-технологического развития необходимо выделить, во-первых, увеличение численности научных работников, стремительно опережающее рост населения. Так, за 2011–2020 гг. их количество в расчете на миллион жителей возросло во всем мире с 1055 до 1342 чел., при этом в Китае – с 958 до 1585, Корею – с 5802 до 8714, в странах Европы – с 3023 до 3704 чел. В Беларуси, напротив, наметилось снижение: с 2076 в 2011 г. до 1754 человек в 2021 г. В целом, в анализируемом периоде темпы прироста общемировой численности исследователей ($27,2\%$) в 2,5 раза обогнали темпы прироста населения Земли ($10,9\%$) (рис. 2).

Во-вторых, опережающий рост внутренних расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) по сравнению с динамикой ВВП. Расчеты

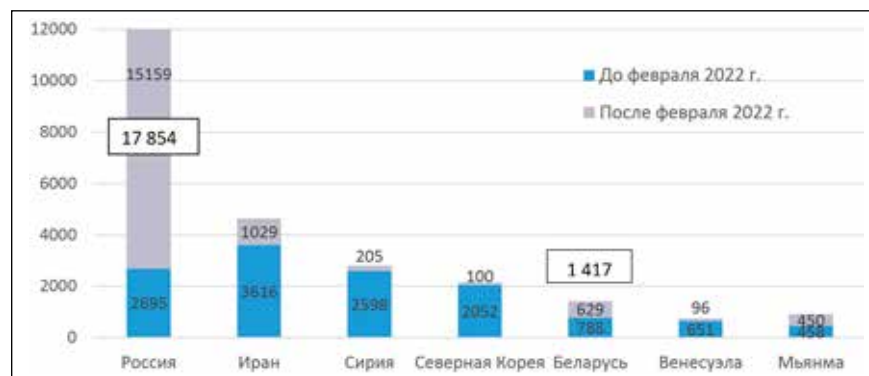


Рис. 1. Количество введенных санкций по странам по состоянию на сентябрь 2023 г., ед. Источник: [3]

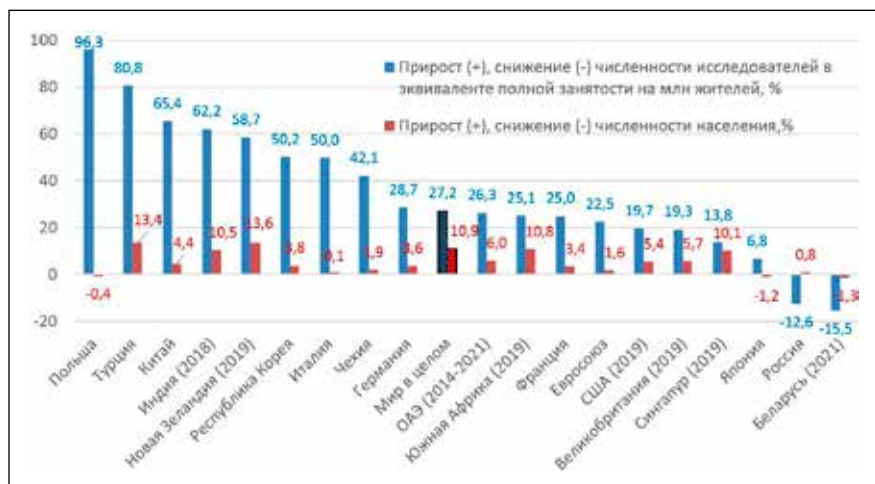


Рис. 2. Изменение численности исследователей и населения в отдельных регионах и странах в 2011–2020 гг., %. Источник: [5–6]

показывают, что в 2011–2018 гг. их прирост в мире составил 31,9%, в то время как глобальный ВВП вырос лишь на 26,4%. Наиболее заметна эта тенденция в Польше, Турции и Китае, где рост расходов на исследования и разработки в реальном выражении за 2011–2021 гг. составил 2,7, 2,36 и 2,43 раз соответственно (рис. 3), что позволило этим странам повысить наукоёмкость ВВП в среднем в 1,5 раза (в 2021 г. – 1,4, 1,1 и 2,44% соответственно).

В-третьих, отмечаются значительные изменения в секторальной направленности научных исследований, которые определяют тенденции структурной экономической трансформации, перспективы развития рынков и появление новых быстрорастущих сегментов экономики. Сегодня более половины проводимых научных изысканий в мире носят межотраслевой характер, концентрируются в области медицины, сквозных технологий, обе-

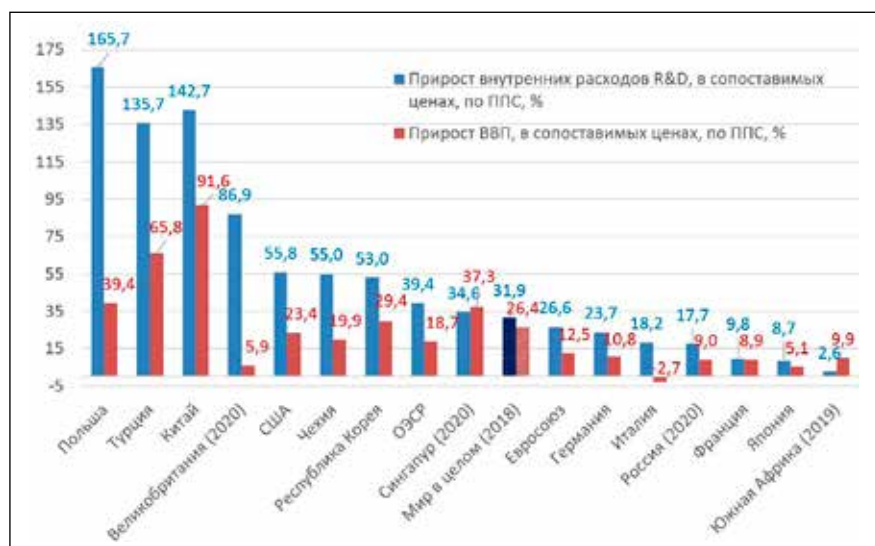


Рис. 3. Изменение ВВП и внутренних расходов на исследования и разработки в отдельных регионах и странах в 2011–2021 гг., %. Источник: [6–7]

спечивающих двойной переход к «зеленым» и цифровым технологиям. Кроме того, в последние годы отмечается стремительный рост числа научных публикаций в сфере искусственного интеллекта и робототехники, энергетики и материаловедения, нанотехнологий, экономической стратегии, обороны и безопасности [8], составляющих основу четвертой промышленной революции.

По имеющимся оценкам, в настоящее время на долю государств «большой двадцатки» приходится свыше 90% глобальных расходов на исследования и разработки [8]. С учетом возрастающей роли Китая, которому принадлежит четверть мировых расходов на НИОКР и треть выданных патентов, выходит, что порядка 60–70% затрат на исследования и разработки в мире контролируется «недружественными» государствами (рис. 4). Эти обстоятельства обуславливают высокую степень технологической и экономической зависимости «периферийных» государств от стран «центра», и в условиях нарастающих противоречий в системе мирохозяйственных связей становятся ключевым рычагом санкционного давления на Беларусь, который способен повлиять на темпы роста ее экономики в средне- и долгосрочной перспективе.

В основе вызовов и угроз санкционной политики, связанной с ограничением доступа нашей страны к глобальному рынку новаций, находится далеко не новая для национальной экономики проблема – критическая зависимость от импорта технологий, машин и оборудования. По оценкам, в 2021 г. коэффициент технологической зависимости в Китае составил 23%, США – 51,9%, Швейцарии – 89,5%.

В России в 2022 г. этот показатель находился на уровне 68,7% [9]. Недавние опросы российских предприятий показали, что и спустя год около 65% производств по-прежнему демонстрируют высокую степень зависимости от импорта оборудования, 87% – нуждаются в новом оборудовании, сопоставимом по качеству с зарубежными аналогами, и только 9% готовы полностью отказаться от импортных компонентов [10].

Учитывая высокую степень импортозависимости белорусской экономики, которая значительно превышает уровень российской [11], эта проблема в нашей стране, пожалуй, стоит еще более остро. Расчеты на основе системы таблиц «Затраты–Выпуск» показывают, что в Республике Беларусь в составе валового накопления основного капитала доля импорта достигает около 35%, в то время как в России – 19, Польше – 24, Латвии – 28% [12]. При этом в Беларуси в отдельных отраслях, определяющих ее производственный потенциал, доля импорта в накоплении основного капитала составляет 80–90% (табл. 1).

В сложившихся условиях, с учетом возможного упрощения структуры и снижения сложности экономики, падения ее конкурентоспособности на мировом рынке, а также миграции высококвалифицированных кадров за рубеж, угроза деградации научно-технологического потенциала страны и долговременной экономической стагнации достаточно высока. Вместе с тем перечисленные риски во многом являются результатом недостаточно эффективной научно-инновационной и технологической политики, проводимой в стране, которая последние годы сопровождалась снижением



Рис. 4. Доля отдельных стран и регионов в показателях функционирования глобальной сферы исследований и разработок в 2018 г., %.

* IP5 – пять крупнейших в мире ведомств в области интеллектуальной собственности. Источник: [8]

Показатель	2016 г.	2019 г.	2020 г.
Готовые металлические изделия, кроме машин и оборудования	61,3	78,0	62,1
Компьютеры, оборудование электронное и оптическое	66,4	83,4	84,7
Оборудование электрическое	64,2	74,9	85,5
Машины и оборудование	82,0	88,6	90,6
Автомобили, прицепы, полуприцепы	92,7	66,2	70,4
Всего	34,8	36,0	32,5

Таблица 1. Динамика доли импорта в валовом накоплении основного капитала по отдельным товарным позициям в Республике Беларусь в 2016–2020 гг., % [12]

расходов на НИОКР – с 0,68% ВВП в 2011 г. до 0,48% в 2022 г. (рис. 5) и, как следствие, сокращением численности исследователей и разработчиков почти на 20%. При этом около половины отмеченного

сокращения пришлось на 2020–2022 г. (–2,5 тыс. чел., или 91% к уровню 2019 г.).

К числу ключевых проблем отечественной сферы НИОКР следует отнести также невысокий

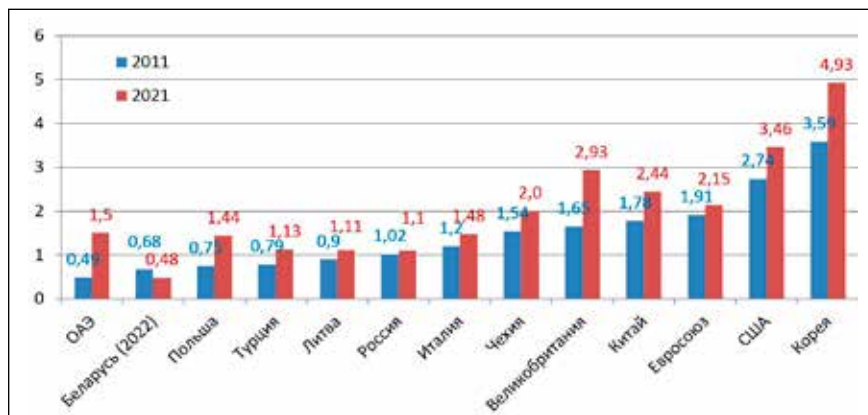


Рис. 5. Динамика внутренних расходов на исследования и разработки в отдельных странах и регионах в 2011–2021 гг., % ВВП. Источник: [5, 7]

уровень инновационной активности отечественных предприятий, который не превышает 20%, в то время как в развитых странах он составляет свыше 50%. Кроме того – это ощутимо низкая степень участия в процессе создания инноваций малого и среднего бизнеса (менее 4%), тогда как, например, в государствах Восточной Европы на их долю приходится более 20%.

Невысокий уровень инновационности предприятий вызывает снижение изобретательской активности, которая является фундаментом создания новых технологий. Расчеты показывают, что количество поданных патентных заявок в Республике Беларусь за период 2011–2021 гг. сократилось в 4,8 раза, а в пересчете на миллион жителей – уменьшилось с 198 до 42, при том, что в 2021 г. их уровень в России составлял 212, Польше – 91, Чехии – 56. В результате показатели оценки уровня технологического развития белорусской экономики в 2021 г. свидетельствуют о сохранении ряда неблагоприятных тенденций – низкого удельного веса высокотехнологичных товаров в экспорте товаров и услуг (2,3%), малой доли высокотехнологичных производств в валовой добавленной стоимости обрабатывающей промышленности (5,5%).

Комплекс обозначенных проблем наряду с негативным влиянием санкционных ограничений требует оперативного решения ряда сложных и в некотором роде взаимоисключающих задач, связанных с необходимостью догоняющего развития в технической сфере, стимулирования научных разработок по наиболее прорывным направлениям при одновременном снижении зависимости от импорта техноло-

гий из «недружественных» государств и обеспечении технологического суверенитета. В современных условиях неопределенности, усиления геополитической напряженности и нарастания противоречий в мировой экономической системе последнее является задачей номер один не только для стран, оказавшихся под действием санкций, но остается чрезвычайно актуальным и для государств, занимающих лидирующие позиции в области технологического развития.

Именно поэтому, например, в США разработан план новой промышленной политики как ответ на вызовы, связанные с ужесточением конкуренции со стороны Китая и снижением стратегического контроля за критически значимыми для американской экономики секторами, прежде всего в сфере полупроводников и фармацевтики. В качестве ключевой цели обозначено обеспечение технологического лидерства страны и решение проблем безопасности и устойчивости экономики на основе проведения активной промышленной политики с применением инструментов государственного заказа и госинвестиций в инфраструктуру. Среди основных мер значатся: рещоринг, то есть возврат в национальную экономику стратегических производств, ранее переведенных в страны с дешевой рабочей силой; стимулирование сферы исследований и разработок за счет направления 180 млрд долл. инвестиций в гражданский сектор НИОКР [13]. Ядром концепции промышленной политики США стал принятый в 2022 г. Закон «Об исследованиях и разработках, конкуренции и инновациях» [14], который предусматривает государственную поддержку ряда стратегических программ

в области развития фундаментальной науки и сквозных технологий по широкому спектру направлений – квантовые сети и коммуникации, инженерная биология, физика высоких энергий, цифровая и кибербезопасность, искусственный интеллект и устойчивая химия, микроэлектроника, аэро- и космические исследования и т.д. Для достижения обозначенных задач предполагается задействовать не только инструменты финансового стимулирования сферы НИОКР, поддержки STEM-образования и молодых исследователей, привлечение зарубежных талантов, но и меры организационного характера, предписывающие необходимость усиления сетевого взаимодействия науки, бизнеса и университетов, поддержки коллаборации между средней школой, вузовской и академической наукой, программ международного обмена и межвузовской мобильности ученых и студентов, участие исследователей в сквозных и междисциплинарных проектах и пр.

В Китае для решения проблем в сфере обеспечения технологического суверенитета и стимулирования научно-технического развития страны в 2021–2023 гг. реализуется программа технологической трансформации производства, которая предусматривает государственную финансовую поддержку в размере 62 млрд долл. стратегических развивающихся отраслей (информационные технологии, биотехнологии, новые материалы и энергия, аэрокосмическое и морское оборудование) и отраслей передового производства [13], при этом на перспективу до 2035 г. запланировано увеличение доли расходов на финансирование фундаментальной науки до 8% от сово-

купных расходов на исследования и разработки. Более того, в прошлом году в Китае был принят десятилетний план развития фундаментальной науки, предусматривающий трехлетнюю программу реформирования национальной научно-технической системы; концентрацию усилий в критических сферах, определяющих будущее; создание международных и региональных инновационно-технологических центров и платформ, в которых будет локализован имеющийся научно-технический потенциал [15]. Особое внимание уделено вопросам повышения устойчивости производственно-технологических цепочек и подготовки научных кадров, роста качества образования и развития талантов, финансового стимулирования инновационной деятельности малого и среднего бизнеса, который зачастую выступает важнейшим источником создания и практического использования новых технологий.

В рамках обновленной стратегии промышленной политики Европейского союза и Новой инновационной повестки Европы [16] в качестве основополагающих стратегических целей до 2030 г. обозначена необходимость достижения технологической автономии по критически значимым для экономики направлениям для обеспечения национальной безопасности. В частности, программные документы предусматривают стимулирование развития «глубоких» технологий (новые материалы, микроэлектроника, зеленая энергетика, передовые производственные технологии, робототехника и др.) и снижение сырьевой и технологической импортозависимости, предполагают выделение около

160 млрд евро на развитие и внедрение цифровых инноваций, в том числе собственного производства чипов и батарей [17]. В качестве приоритетов определено снижение регуляторной нагрузки и совершенствование финансирования инновационных проектов, особенно для стартапов, малого и среднего бизнеса; повышение открытости рынка интеллектуальной собственности Евросоюза для предприятий, использующих ее при создании сложной инновационной продукции; развитие инновационных экосистем на региональном уровне; масштабная поддержка и удержание талантов.

Наряду с общеевропейскими контурами промышленной и технологической политики, большинство стран Европы реализует собственные стратегии научно-технической политики, учитывающие национальные особенности и имеющийся потенциал. Так, в 2023 г. Германия приняла «Будущую стратегию исследований и инноваций» [18] на период до 2025 г., целями которой стали сохранение технологического лидерства, усиление связи между фундаментальными и прикладными исследованиями, поддержание восприимчивости экономики к новым технологиям. В качестве критерия достижения поставленных целей рассматривается рост внутренних расходов на исследования и разработки до 3,5% ВВП. Стратегией предусматривается также усиление международного сотрудничества в сфере науки, что предполагает к 2025 г. рост доли зарубежных исследователей в сфере высшего образования до 15% их общей численности.

В марте текущего года британское правительство приняло «Рамочные основы раз-

вития науки и технологий» [19] до 2030 г., содержащие 10 шагов для сохранения за Британией статуса сверхдержавы и наращивания мощи в области научно-технологического развития. Разработанный документ фиксирует 5 приоритетов в области критических технологий (искусственный интеллект, инженерная биология, телекоммуникации, полупроводники и квантовые технологии) и предусматривает финансовое стимулирование сферы НИОКР, в том числе 20 млрд фунтов стерлингов инвестиций в 2024–2025 гг., применение госзакупок для приобретения инновационных технологий; облегчение доступа к физической и цифровой инфраструктуре; масштабную поддержку кадров, занятых в науке и образовании, и привлечение лучших талантов со всего мира; расширение международного сотрудничества и др.

В 2023 г. в Российской Федерации также принята Концепция технологического развития до 2030 г. [9], которая направлена на обеспечение технологического суверенитета страны, то есть обеспеченности критическими и сквозными технологиями в рамках полного цикла их национальной разработки, а также преодоления рисков и угроз, сформировавшихся в инновационно-технологической сфере: слабой способности национальной экономики адаптироваться к глобальным изменениям, разрывов производственных цепочек и нарушения функционирования производственных систем, оттока высококвалифицированных кадров за рубеж и др. Основные цели Концепции и критерии ее достижения представлены в *табл. 2*.

Цель	Критерии
Обеспечение национального контроля над воспроизводством критических и сквозных технологий	<ul style="list-style-type: none"> – снижение коэффициента технологической зависимости с 68,7 в 2022 г. до 27,3% в 2030 г.; – рост внутренних затрат на исследования и разработки в реальном выражении на 46,3%; – увеличение удельного веса отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции с 5,2 до 8% к 2030 г.
Переход к инновационно ориентированному экономическому росту, усиление роли технологий как фактора развития экономики и социальной сферы	<ul style="list-style-type: none"> – рост уровня инновационной активности организаций с 11,9% в 2022 г. до 27% в 2030 г.; – увеличение в 2,4 раза числа патентных заявок на изобретения, поданные российскими заявителями в Российской Федерации.
Технологическое обеспечение устойчивого функционирования и развития производственных систем	<ul style="list-style-type: none"> – рост несырьевого неэнергетического экспорта в сопоставимых ценах в 1,5 раза; – увеличение доли организаций обрабатывающей промышленности, осуществляющих технологические инновации с 29% до 45% в 2030 г.

Таблица 2. Цели Концепции технологического развития Российской Федерации до 2030 г. и количественные критерии ее достижения [9]

Таким образом, во всем мире наблюдается «гонка технологий», которые выступают центральным элементом стратегии завоевания и сохранения технологического и экономического лидерства государства на международной арене. В ней выигрывает тот, кто сумеет сконцентрировать ресурсы (материальные, финансовые, трудовые) на приоритетных направлениях, определяющих будущее, сможет удерживать и привлечь лучшие умы для обеспечения полного цикла научной и инновационно-технологической деятельности – от среднего образования и университетов до академической науки, исследований и разработок в реальном секторе.

Несмотря на то, что в Республике Беларусь разработан и действует документ в области технологического развития «Наука и технологии: 2018–2040» [20], его содержание слабо отвечает сложившимся вызовам и угрозам

и не ориентировано на обеспечение в кратчайшие сроки технологического суверенитета по стратегически важным направлениям. Поэтому в настоящее время необходима оперативная разработка программного документа, нацеленного на быстрое купирование имеющихся проблем в научной и инновационно-технологической сфере и формирование стратегии технологического развития, увязанной с аналогичной концепцией Российской Федерации. Эта связка обусловлена тем, что эффективное противостояние нарастающим внешним вызовам предполагает проведение согласованной промышленной, а также научно-технической и инновационно-технологической политики.

По нашему мнению, обновленная стратегия должна предусматривать решение наиболее острых проблем текущего момента и содержать меры, направленные на создание задела на будущее, среди них:

- сокращение зависимости от импорта критически важных технологий, в том числе на основе реализации интеграционных кооперационных проектов;
- формирование международных научных связей и исследовательской кооперации с дружественными странами;
- быстрое увеличение объема финансирования НИОКР до уровня не ниже критического (1% ВВП);
- создание условий, направленных на сокращение оттока наиболее квалифицированных кадров, удержание и привлечение в науку и образование перспективной молодежи;
- совершенствование национальной системы образования и внедрение подходов STEM-образования;
- развитие широкомасштабного и эффективного взаимодействия между бизнесом, наукой и университетами;
- стимулирование инновационной активности предприятий, в том числе за счет финансовых инструментов (снижение регуляторной и налоговой нагрузки), вовлечение в процесс создания инноваций малого и среднего бизнеса, поддержание в экономике конкурентных условий, направленных на выживание неэффективных предприятий и рост организаций с высокой рентабельностью.

Ожидается, что реализация предложенных мер облегчит процесс адаптации белорусской экономики к новым условиям, будет способствовать ее прогрессивной структурной трансформации, позволит нарастить конкурентные преимущества и увеличить потенциал устойчивого экономического роста в долгосрочной перспективе. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е.А. Рожковская. Структурная политика в условиях санкций // Финансы. Учет. Аудит. 2022. №12. С. 41–44.
2. Указ Президента Республики Беларусь «О важнейших параметрах прогноза социально-экономического развития Республики Беларусь на 2023 год», 28.11.2022, №411 // <https://president.gov.by/bucket/assets/uploads/documents/2022/411uk.pdf>.
3. Russia Sanctions Dashboard / Castellum. AI // <https://www.castellum.ai/russia-sanctions-dashboard>.
4. Макроэкономический прогноз 2023–2025. Июнь 2023. Алматы: Евразийский банк развития // https://eabr.org/upload/iblock/bd6/EDB-Макroeconomic-Outlook-2023_2025_rus.pdf.
5. UNESCO Institute for Statistics // <http://data.uis.unesco.org/index.aspx?queryid=3685>.
6. World Development Indicator of The World Bank // <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.
7. OECD Main Science and Technology Indicators // <https://www.oecd.org/sti/msti.htm>.
8. The race against time for smarter development. Executive summary / UNESCO Science Report. – Paris: UNESCO. 2021 // <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250>.
9. Концепция технологического развития на период до 2030 года // <http://static.government.ru/media/files/KI J6A00A1K5t8Aw93NFRG6P80lBp18F.pdf>.
10. Тенденции импортозамещения в промышленности в 2022–2023 гг. // https://www.hse.ru/data/2023/06/06/2020599676/Digital_industry_06_06_2023.pdf.
11. А.А. Быков, Е.А. Рожковская. Прогнозирование и оценка влияния экспорта на макроэкономическую динамику: структурный аспект // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. 2021. №6. С. 4–17.
12. Е.А. Рожковская. Импортопотребление и импортозависимость белорусской экономики: состояние, проблемы, решения // Научные труды БГЭУ. 2022. Выпуск 15. С. 400–408.
13. The Biden White House plan for a new US industrial policy // <https://www.atlanticcouncil.org/commentary/transcript/the-biden-white-house-plan-for-a-new-us-industrial-policy>.
14. Public Law 117–167 – AUG.9, 2022 / 117th Congress // <https://www.congress.gov/117/plaws/publ167/PLAW-117publ167.pdf>.
15. Проект XIV пятилетнего плана национального экономического и социального развития Китайской Народной Республики и долгосрочных целей на период до 2035 г. // https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
16. A new European Innovation Agenda / European Commission // https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13437-A-New-European-Innovation-Agenda_en.
17. Agarwal R. Industrial policy and the growth strategy trilemma / IMF Finance and development, 2023 // <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/SeriesAnalytical-Series/industrial-policy-and-the-growth-strategy-trilemma-ruchir-agarwal>.
18. Zukunftsstrategie Forschung und Innovation / Deutscher Bundestag // <https://dserver.bundestag.de/btd/20/057/2005710.pdf>.
19. The UK Science and Technology Framework/Policy Paper // <https://www.gov.uk/government/publications/uk-science-and-technology-framework/the-uk-science-and-technology-framework>.
20. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» / Постановление Президиума НАН Беларуси, 26.02.2018, №17 // https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf.

Технологический аспект импортозамещения в Республике Беларусь



Татьяна Гораева,
завкафедрой экономической безопасности БГУ, кандидат экономических наук, доцент;
tatsiwork@mail.ru

Аннотация. В статье анализируются проблемы реализации в Республике Беларусь политики импортозамещения, разработаны предложения по ее увязке с проблематикой обеспечения технологической безопасности государства. Предложены новые показатели и авторская методика определения уровня локализации продукции, которые, в отличие от типовой методики, учитывают происхождение не только сырья, материалов, комплектующих, но и используемого в производственном процессе технологического оборудования. Практическое применение сделанных в статье выводов и рекомендации позволят рационализировать импорт и провести технико-технологическую модернизацию белорусской экономики.

Ключевые слова: импортозамещение, импортоемкость, технологическая безопасность, технологический суверенитет, уровень локализации продукции, уровень локализации технологического оборудования, стратегия технологического намерстывания.

Для цитирования: Гораева Т. Технологический аспект импортозамещения в Республике Беларусь // Наука и инновации. 2023. №11. С. 47–51. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-47-51>

Особую актуальность на фоне применяемых Западом санкций против Беларуси приобрели вопросы импортозамещения. Следует отметить, что в их отношении проводится последовательная политика, с одной стороны, нацеленная на рационализацию товарной структуры ввозимой продукции, с другой – призванная стимулировать отечественные предприятия в направлении освоения производства товаров и услуг, аналогичных импортируемым, в том числе путем создания новых предприятий.

Столь пристальное внимание к данной проблеме обусловлено весьма высокой импортоемкостью (долей импорта в полных затратах) белорусской экономики и ее основных отраслей. Так, по оценкам специалистов, в ряде случаев этот показатель в отечественной энергетике достигает 80%, нефтехимии – 75%, машиностроении – 60%, металлургии – 50% [1]. С учетом нынешнего осложнения геополитической обстановки это представляет собой реальную угрозу экономической и национальной безопасности нашего государства.

В рамках решения анализируемой проблемы в отраслях и регионах страны сформированы ежегодно обновляемые перечни импортируемых товаров и их потребителей, а также товаров, предлагаемых для их производства в рамках импортозамещения. Весьма активно и системно такая деятельность проводится в ключевой сфере национальной экономики – промышленности, которая, как было отмечено, отличается высокой импортоемкостью. Здесь также составлены базы данных закупаемой конкретными организациями Министерства промышленности Республики Беларусь и рекомендуемой к выпуску продукции [2]. Кроме того, многими крупными отечественными предприятиями, например ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» [3], составлены специальные реестры товаров, рекомендованных для освоения малым и средним бизнесом.

В последние годы работа в сфере рационализации импорта вышла на более высокий системный уровень. Согласно постановлению Министерства экономики Республики Беларусь от 10.05.2022 г. №9 «О перечне продукции, относимой к импортозамещающей», сформирован соответствующий перечень, содержащий более 2800 наименований, начиная с банальных швейных нитей и заканчивая сложнейшей аппаратурой для изготовления электронных интегральных схем [4].

Такая системная политика дает свои позитивные результаты. С 2016 по 2022 г. объем продукции, относимой к импортозамещающей, вырос в 2 раза [5], достигнув 20 млрд долл. в год, причем более половины ее регулярно идет на экспорт [6]. Дальнейшие перспективы этого направления, думается, будут во многом связаны с планируемым к принятию Законом «О содействии и стимулировании реализации инвестиционных проектов в Республике Беларусь», где предусмотрены существенные льготы и преференции инициативам, связанным с производством импортозамещающей продукции. С учетом позитивного опыта функционирования

индустриального парка «Великий камень», а также соответствующих научных наработок китайских исследователей [7], представляется целесообразным создание аналогичных структур в регионах нашей страны.

Вместе с тем, на наш взгляд, имеется ряд аспектов, которые зачастую упускаются из виду при формировании и реализации политики импортозамещения и связанной с ней инвестиционной политики. Суть проблемы, выявленной нами при выполнении на кафедре экономической безопасности БГУ научно-исследовательского проекта «Развитие высокотехнологического сектора экономики как фактор обеспечения научно-технологической безопасности Республики Беларусь» (№20211622; задание ГПНИ «Экономика и безопасность белорусского государства»), заключается в следующем. Часто в стремлении наращивать те или иные количественные показатели мы не учитываем значимые качественные характеристики анализируемых процессов.

Так, известно, что технологическая прогрессивность (технологичность) белорусской экономики, характеризующая ее средний технологический уклад и количественно определяемая в виде средневзвешенного значения удельных весов в ВВП продукции производств, относящихся к I–VI техноукладам, недопустимо низка [8, 9]. Оценки уровня технологической безопасности Беларуси относительно стратегических конкурентов, полученные на основе авторской методологии, позволили диагностировать его как критический [8, 9]. По этой причине импортозамещение, реализуемое без учета необходимости активного наращивания уровня технологичности экономики, увы, может стать стратегией «замораживания» ее технологической отсталости.

Во избежание этого необходимо сделать статистически учитываемым показатель уровня технологической прогрессивности, а его планомерное увеличение – одним из целевых критериев эффективности не только научно-технической, но и инвестиционной политики, а также политики импортозамещения. Итоговой же целью указанной стратегии должно стать планомерное доведение уровня технологической безопасности до приемлемых показателей (положим, до значений «удовлетворительный» к 2030 г., «средний» – к 2040-му и «высокий» – к 2050-му).

Технологический аспект, на наш взгляд, непременно должен учитываться и при снижении зависимости белорусской экономики от промежуточного импорта путем его замены отечественными аналогами. В рамках достижения данной цели одним из ключевых индикаторов успешности выступает

целенаправленное наращивание показателя уровня локализации продукции, который, согласно действующей типовой методике, исчисляется в виде удельного веса отечественных сырья, материалов и комплектующих в себестоимости выпускаемых товаров [10]. При этом локализация и импортозамещение являются сейчас важнейшими критериями оценки эффективности работы менеджмента предприятий [11].

Этому вопросу руководителями белорусских компаний уделяется большое внимание, и потому отдельными организациями продемонстрирован уровень локализации, приближающийся к 100% в 2022 г., в промышленности выпуск продукции, относимой к импортозамещающей, превысил 4,6 млрд долл. Благодаря этому уровень ее локализации в данной сфере только за один этот год возрос более чем на 5%, вплотную приблизившись к отметке 70% [11].

К сожалению, типовая методика определения данного показателя не учитывает два существенных обстоятельства, заметно влияющих на технологическую и экономическую безопасность нашего государства. Первое из них связано с игнорированием происхождения импорта. При осуществлении политики импортозамещения следует учитывать, что в нынешних условиях государства де-факто оказались дифференцированными по уровню своей дружественности к Беларуси. В апреле прошлого года Правительством даже был утвержден список недружественных стран, применивших к нам политические, экономические, технологические санкции. В то же время имеется множество государств, продолжающих поддерживать с нашей республикой партнерские и даже союзнические отношения. Очевидно, что поставки из этих разных групп будут иметь различающуюся стабильность, что необходимо непосредственно учитывать при определении того же уровня локализации продукции.

Для решения данной задачи нами предложен уточненный показатель его оценки, который отличается от рассчитываемого по типовой методике использованием специальных поправочных коэффициентов, учитывающих степень дружественности стран происхождения импорта:

$$L'_{лр} = \left(1 - \frac{k_1 \cdot \sum C_{имп}^{нс} + k_2 \cdot \sum C_{имп}^{шос.брикс} + k_3 \cdot \sum C_{имп}^{тс}}{ОП_{лр}} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $C_{имп}^{нс}$, $C_{имп}^{шос.брикс}$, $C_{имп}^{тс}$ – стоимость всех комплектующих и их частей, ввезенных в страну для производства продукции в отчетном периоде соответственно из недружественных стран (НС), государств – участников стран Таможенного союза (ТС) и стран – чле-

нов ШОС и БРИКС, руб.; k_1 , k_2 , k_3 – поправочные коэффициенты, учитывающие степень дружественности стран (1 – для недружественных; 0,8 – для членов ШОС и БРИКС; 0,7 – для участников ТС, исключая Республику Беларусь; при выборе поправочных коэффициентов мы использовали внутренний документ, регламентирующий закупки, осуществляемые для нужд компаний группы ПАО «ИнтерРАО», расположенных на территории Российской Федерации [12]); $ОП_{лр}$ – объем производства (себестоимость) продукции, руб.

Второе обстоятельство, влияющее на технологическую безопасность нашего государства, связано с необходимостью учета отложенного эффекта западных технологических санкций. Дело в том, что определяемый по типовой методике коэффициент уровня локализации продукции оставляет вне поля зрения происхождение технологического оборудования для ее производства, которое зачастую также бывает импортным, причем в случае более высоких технологий поставленным именно из недружественных стран. И если в настоящий момент белорусские предприятия, приложив усилия к замене импортных сырья, материалов и комплектующих отечественными аналогами, демонстрируют высокие показатели уровня локализации продукции, то по мере нарастающего физического и морального износа и выхода из строя зарубежного оборудования в условиях невозможности его реновации некоторые производства уже в среднесрочной перспективе будут вынуждены вообще остановиться. В любом случае уровень их технологической прогрессивности будет неумолимо отставать от аналогичного показателя конкурентов. К сожалению, данная скрытая, и что самое неприятное – отложенная на годы угроза технологической безопасности сегодня в Беларуси никак не учитывается. В этой связи на основе предложенной методологии учета степени дружественности стран происхождения импорта предложено принимать во внимание показатель уровня локализации технологического оборудования:

$$L_{ТО} = \left(1 - \frac{k_1 \cdot \sum S_{имп}^{нс} + k_2 \cdot \sum S_{имп}^{шос.брикс} + k_3 \cdot \sum S_{имп}^{тс}}{S} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $S_{имп}^{нс}$, $S_{имп}^{шос.брикс}$, $S_{имп}^{тс}$ – стоимость (остаточная, переоцененная) технологического оборудования и расходных материалов к нему, ввезенных в страну для производства продукции в отчетном периоде соответственно из НС, ТС, ШОС и БРИКС, руб.; S – стоимость (остаточная, переоцененная) технологического оборудования и расходных материалов к нему, руб.

К сожалению, данный индикатор – одно из наиболее слабых мест большинства отечественных предприятий, преимущественно оснащенных импортным оборудованием. Для учета этого фактора мы рекомендуем рассчитывать комплексный показатель уровня локализации продукции L_k , который сочетает в себе преимущества обоих охарактеризованных выше показателей (1) и (2):

$$L_k = L'_{np} \cdot L_{ТО} \quad (3)$$

По нашему убеждению, L_k наиболее полно – как со стороны используемых материальных ресурсов, так и с позиций применяемого оборудования – характеризует степень технологического суверенитета (технологической безопасности) той или иной экономической системы, начиная с конкретного предприятия и заканчивая национальной экономикой в целом. Очевидно, что целенаправленное его повышение возможно на основе одновременного снижения зависимости от импорта как сырья, материалов и комплектующих, так и технологических устройств и приборов для производственных процессов.

Предложенная методология и методика опробована на ряде отечественных предприятий, связанных с выпуском импортозамещающей продукции (таблица).

Анализ представленной в таблице информации свидетельствует, что первое из охарактеризованных в ней предприятий демонстрирует в целом неплохой уровень локализации продукции на уровне 80%, исчисленный на основе типовой методики. За счет того, что часть промежуточных продуктов поставляется из дружественных стран, уточненный показатель локализации несколько увеличивается, достиг-

нув 86%. Однако из-за того, что товары выпускаются преимущественно на импортном технологическом оборудовании, комплексный показатель снижается в несколько раз – до 13%. Это значит, что в краткосрочной перспективе организация находится в относительно безопасной позиции, однако в последующие 3–5 лет из-за невозможности реновации активной части основных средств в условиях технологического эмбарго будет быстро терять позиции. Следовательно, руководству компании для обеспечения безопасного функционирования в средне- и долгосрочной перспективе целесообразно предпринять меры по укомплектованию производственного процесса отечественным или выпущенным в дружественных странах технологическим оборудованием. При этом следует учитывать, что заместить его гораздо сложнее, чем потребляемые материальные ресурсы, которые, как правило, относятся к менее технологичной продукции.

Второй проанализированный субъект, наоборот, обнаруживает весьма низкий уровень локализации продукции – 20%, который из-за поставок промежуточных продуктов из дружественных стран повышается до 33% в рамках уточненного показателя. Таким образом, данное предприятие в текущий момент времени находится в зоне повышенной технологической безопасности. Однако, поскольку на нем преимущественно используется местный станочный парк или изготовленный в дружественных государствах, уровень локализации технологического оборудования достаточно высок – почти 80%, благодаря чему L_k повышается до 26%. Это значит, что фирма имеет преимущества в средне- и долгосрочной перспективе, и ей следует заботиться о поставках промежуточных продуктов, которые в силу более низкого уровня их технологичности (по сравнению с оборудованием) заменить отечественными аналогами проще.

В заключение необходимо отметить, что формирование и реализация политики импортозамещения без учета фактора прогрессивности технологий может завести нашу страну в тупик самовоспроизводящейся технологической отсталости. Некоторые отечественные исследователи (например, доктор экономических наук, профессор БГЭУ Л.Н. Нехорошева), рассуждая по данному поводу, вообще ведут речь о «технологической пропасти» [13], в которую может попасть белорусская экономика в случае неприятия соответствующих мер.

По нашему мнению, текущая ситуация требует, чтобы целенаправленное наращивание показателя уровня технологической прогрессивности, характеризующего средневзвешенный технологический

Предприятие	Показатель уровня локализации производства продукции L'_{np} (рассчитан по типовой методике)	Уточненный показатель уровня локализации производства продукции L_{np}	Показатель уровня локализации технологического оборудования $L_{ТО}$	Комплексный показатель уровня локализации производства продукции L_k
ООО «Квантрейд»	80	86	15	13
ООО «ПолиРунстрой»	20	33	79	26

Таблица. Показатели уровня локализации некоторых отечественных предприятий, производящих импортозамещающую продукцию, %. Примечание: собственная разработка автора

уклад представленных производств [8], был введен в ранг одного из ключевых стратегических приоритетов социально-экономического развития страны. Также следует планировать и контролировать увеличение уровня технологической безопасности национальной экономики, который предлагается определять по авторской методологии и соответствующей ей методике и доводить до сопоставимых с конкурентами показателей [9].

Кроме того, если предложенный нами комплексный показатель уровня локализации продукции сделать, как это было отмечено выше, одним из важнейших критериев оценки эффективности работы менеджмента предприятий, то осуществляемая в стране политика импортозамещения приобретет ярко выраженные черты политики технологической модернизации производства. Это непосредственно следует из того, что руководство крупных белорусских субъектов хозяйствования будет заинтересовано не только в замене импортируемых промежуточных продуктов, но и в наращивании удельного веса технологического оборудования собственного производства. Инвестиционные проекты должны оцениваться не только с точки зрения их доходности, но и с позиций воздействия на уровень технологической прогрессивности и технологическую безопасность страны.

Разумеется, отдельные предприятия при всем их желании не в состоянии решить проблему насыщения рынков современной машинной и аппаратной техникой. Очевидно, что это общенациональная межгосударственная (имеются в виду Союзное государство Беларуси и России и ЕАЭС) проблема, связанная с осуществлением скоординированной промышленной политики, подразумевающей опережающее развитие станко-, машино-, приборостроения, микроэлектроники и т.д. в рамках стратегии новой (цифровой) индустриализации и оснащение инновационными продуктами всех сфер жизнедеятельности человека [14, 15].

По нашему мнению, представленные в статье предложения и рекомендации должны быть учтены при выработке нормативных правовых актов, нацеленных на обеспечение технологической, экономической безопасности и стимулирование инвестиционного процесса в Беларуси. Кроме того, соответствующие коррективы могут и должны быть внесены в Концепцию национальной безопасности Республики Беларусь, нацеленную на приоритет именно технологического суверенитета, без чего в наш технологический век немислимо экономическое, а значит, и национальное развитие. ■

■ **Summary.** The article analyzes the features and problems of implementing the import substitution policy in the Republic of Belarus. It is shown that these problems are due to insufficient attention to the need to improve the technological level of the national economy. Author's proposals have been developed to link the import substitution policy with the problem of ensuring the technological security of the Belarusian state. New indicators and the author's methodology for determining the level of product localization are proposed for use, which, unlike the standard methodology, take into account the origin of not only raw materials, materials, components, but also the technological equipment used in the production process. The practical application of the conclusions and recommendations made in the article will, on the one hand, rationalize imports, and, on the other hand, will become a factor in the technical and technological modernization of the Belarusian economy.

■ **Keywords:** import substitution, import intensity, technological security, technological sovereignty, level of product localization, level of technological equipment localization, technological catch-up strategy.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-47-51>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Какие угрозы несет импортоемкость белорусской экономики // <https://ilex.by/kakie-ugrozy-neset-importoemkost-beloruskoj-ekonomiki/#>.
2. Министерство промышленности Республики Беларусь: Перечень продукции, востребованной организациями Министерства промышленности и рекомендуемой для освоения на территории Республики Беларусь // <https://minprom.gov.by/importozameshhenie/>.
3. Могилевский областной исполнительный комитет: Перечень продукции, рекомендуемой к освоению малому и среднему бизнесу ОАО «БМЗ – Управляющая компания холдинга «БМК» // <https://mogilev-region.gov.by/page/101439-perechen-produkcii-rekomenduemoj-k-osvoeniyu-malomu-i-srednemu-biznesu-oao-bmz>.
4. Перечень продукции, относимой к импортозамещающей // <https://economy.gov.by/uploads/files/importozames4enie/Perechen-produktsii-otnosimoj-k-importozameschajuschej.pdf>.
5. Заяц Д. Импортозамещение активно вводится в Беларуси // <https://neg.by/novosti/otkrytj/importozameshchenie-v-belarusi/>.
6. Ю. Чеботарь. Для Беларуси импортозамещение – это одновременно масштабный национальный проект на миллиарды долларов и комплексная стратегия развития экономики // <https://economy.gov.by/ru/news-ru/view/jurij-chebotar-dlja-belarusi-importozameshchenie-eto-odnovremenko-masshtabnyj-natsionalnyj-proekt-na-46107-2022/>.
7. Чжан Б. Промышленный и технико-технологический прогресс Китая: китайская цивилизация на пути к экономике знаний / Б. Чжан, В. Ф. Байнев. – Минск, 2021.
8. В. Ф. Байнев, Т. Ю. Гораева. Проблемы обеспечения технологической безопасности Республики Беларусь // Наука и инновации. 2022. №8. С. 12–17.
9. В. Ф. Байнев, Т. Ю. Гораева. В поисках модели безопасного развития: ресурсно-полезный подход к управлению научно-техническим прогрессом // Экономист. 2023. №4. С. 22–29.
10. Методика оценки среднегодового уровня локализации производства в целом или отдельного вновь осваиваемого изделия / постановление Мин-ва эк-ки Респ. Беларусь и Мин-ва промышл. Респ. Беларусь от 23.03.2012 №20/2 // https://belzakon.net/Законодательство/Совместные_постановления/2012/57003.
11. Локализация производства в Беларуси составляет около 69 % // Директор // <https://director.by/home/ekonomika/8697-lokalizatsiya-proizvodstva-v-belarusi-sostavlyayet-okolo-69#>.
12. Методика «Расчет уровня локализации товаров, работ, услуг» МТ – 156–2 (Приказ ПАО «Интер ПАО», 11.03.2019 г., №ИРАО/139) // ПАО «Интер ПАО» // <https://cdn.interra-zakupki.ru/iblock/8ec/8ec8ae3c25c12f1e4140b4b70c7648/68c6dcb28bbac4526d077008f3e6adcd.pdf>.
13. Экономика организации (предприятия): учеб. пособие / Л. Н. Нехорошева [и др.]; под ред. Л. Н. Нехорошевой. – Минск, 2020.
14. Гурский В. Л. Модернизация белорусской промышленности в новых технологических и геоэкономических условиях / В. Л. Гурский, С. Ю. Солодовников, Т. В. Сергиевич, Ю. В. Мелешко. – Минск, 2021.
15. Байнев В. Ф. История экономики знаний: технико-технологический и политико-экономический анализ / В. Ф. Байнев. – Минск, 2020.

Статья поступила в редакцию 03.06.2023 г.

Интеграция науки, образования и производства как фактор развития системы высшего образования

Аннотация. В статье рассмотрены организационные и правовые условия, направленные на создание в Республике Беларусь интегрированной образовательной, научной и производственной среды для системного решения вопросов развития высшего образования и инновационной экономики. Показаны возможность участия организаций в разработке профессиональных и образовательных стандартов; расширение сетевой формы взаимодействия субъектов, осуществляющих образовательную деятельность, заказчиков с иными организациями-исполнителями; усовершенствование механизма государственного заказа на подготовку кадров; формирование условий для комплексного развития научно-исследовательской, инновационной и предпринимательской инфраструктуры вузов в целях разработки инновационной продукции и коммерциализации инноваций; реализация экспериментального проекта «Совершенствование деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0». Авторами представлен опыт создания такой среды в Брестском государственном техническом университете.

Ключевые слова: инновационная экономика, высшее образование, инновационная инфраструктура, модель «Университет 3.0».

Для цитирования: Касперович С., Шарапа Е. Интеграция науки, образования и производства как фактор развития системы высшего образования // Наука и инновации. 2023. №11. С. 52–56. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-52-56>



Сергей Касперович,
ректор Брестского государственного технического университета, кандидат экономических наук, доцент



Екатерина Шарапа,
старший преподаватель кафедры управления и экономики высшей школы Республиканского института высшей школы, магистр управления
ekaterinasharapa@gmail.com

Повышение интенсивности разработки и внедрения новых технологий в экономику страны предъявляет особые требования к подготовке инженерных кадров. Современные учреждения высшего образования (УВО) должны не только создавать и распространять новые знания, но и преобразовывать их в инновации и активно искать способы выхода на рынок. Как свидетельствует мировой опыт, освоение новых технологий возможно только при условии их практического применения. В этой связи в стране необходимо создание интегрированной образовательной, научной и производственной среды.

По мнению авторов, в последние годы в Беларуси активно изменяются правовые условия, направленные на формирование такой среды, среди которых:

УДК 334.7

♦ **возможность участия организаций в разработке профессиональных и образовательных стандартов, в том числе определении компетенций.** Постановлением Совета Министров от 24.10.2018 г. №764 утверждена Стратегия совершенствования Национальной системы квалификаций Республики Беларусь (НСК), согласно которой в действующую НСК вносятся новые элементы. Среди них важная роль отводится секторальным советам квалификаций, в состав которых наряду с государственными органами, учреждениями образования и научными учреждениями входят организации различных форм собственности. В задачи таких советов входит определение перспективных направлений развития видов трудовой деятельности, выявление потребности в квалификациях на основе содержания профессиональных стандартов, обеспечение взаимодействия между рынком труда, системой образования и другими заинтересованными сторонами по вопросам разработки секторальных рамок квалификаций и профессиональных стандартов. В соответствии с содержанием последних обновляются образовательные программы. В целях внесения необходимых изменений в их содержание по требованию организаций – заказчиков кадров и при их непосредственном участии проводится активная разработка образовательных стандартов и учебно-программной документации [1];

♦ **законодательное регламентирование постановлением Совета Министров Республики Беларусь «О вопросах реализации образовательных программ» от 31.08.2022 г. №572 сетевой формы взаимодействия субъектов, осуществляющих образовательную деятельность, заказчиков с иными организациями-исполнителями.** Такое партнерство позволяет использовать сторонние ресурсы, необходимые для обеспечения образовательного процесса в соответствии с образовательной программой в целях усвоения ее содержания обучающимися. Документом установлены порядок взаимодействия заказчика и исполнителя, правила оформления между ними договорных отношений, нормы финансирования расходов на программы в сетевой форме. Развитие в стране такого взаимодействия направлено на повышение качества подготовки выпускников за счет объединения кадровых, материальных, финансовых ресурсов УВО и других организаций, развитие в вузах новых моделей и навыков управления образовательными проектами, повышение качества подготовки профессорско-преподавательского состава за счет использования новых методик и технологий обучения;

♦ **усовершенствование механизма государственного заказа на подготовку кадров, обеспечивающего взаимосвязь запросов организаций – заказчиков кадров и объема подготовки специалистов на различных уровнях профессионального образования.** Указанный механизм регламентирован Кодексом Республики Беларусь об образовании и Положением о порядке прогнозирования дополнительных потребностей в молодых специалистах, рабочих, служащих, формирования заказа на их обучение и установления контрольных цифр приема для получения профессионально-технического, среднего специального, высшего образования за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, утвержденным постановлением №572, и основан на оценке предприятий по согласованию с курирующими их государственными органами своих потребностей в выпускниках и установлении договорных отношений между вузами, с одной стороны, и компаниями – заказчиками кадров – с другой.

Организации, заключившие с УВО договор о взаимодействии, признаются базовыми организациями соответствующего учреждения образования, что законодательно регламентировано упомянутым Положением. В соответствии с указанным документом, важнейшими формами партнерства между субъектами, создающими интегрированную образовательную, научную и производственную среду, являются: обеспечение проведения практики, лабораторных, практических занятий в базовой организации; предоставление ею условий для выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, апробации и внедрения результатов научной деятельности студентов; участие в совершенствовании учебных программ по дисциплинам УВО и формировании тематики курсовых и дипломных проектов, магистерских диссертаций.

Особо стоит отметить развитие в Республике Беларусь важнейшего элемента государственного заказа на кадровое обеспечение – целевой подготовки специалистов, осуществляемой за счет бюджетных средств на дневной форме обучения. Новой редакцией Кодекса об образовании расширена сфера применения такой подготовки. Так, с 1 марта 2022 г. заказчиками кадров для нее могут быть любые организации вне зависимости от их расположения (ранее целевая подготовка распространялась только на определенные населенные пункты – черныбыльские, сельские регионы, города с населением до 20 тыс. человек). Также увеличилось соотношение целевого набора и контрольных цифр

приема. Произошли изменения и во вступительной кампании для абитуриентов-целевиков. Предпринятые меры способствуют обеспечению приоритетных отраслей экономики страны высококвалифицированными кадрами, а также их гарантированному закреплению в организациях-заказчиках;

♦ **совершенствование условий для комплексного развития научно-исследовательской, инновационной и предпринимательской инфраструктуры УВО в целях разработки инновационной продукции и коммерциализации инноваций.** Для этого в Беларуси законодательно регламентированы порядок создания и условия деятельности технопарков, центров трансфера технологий [2, 3].

В настоящее время в стране насчитывается 16 технопарков. В большинстве из них осуществляется взаимодействие УВО и малых наукоемких предприятий при реализации полного инновационного цикла, особенно фазы внедрения научных исследований в коммерческий продукт. При этом учреждения образования выполняют функцию генератора знаний, предприятия – проводников инновационной продукции на рынок, а технопарки – связующего звена между наукой и рынком. В результате вуз получает заказы на научные исследования, а технопарк – результаты интеллектуальной собственности, подготовленные кадры для сопровождения разработок и введения их в оборот. Также в республике функционирует 6 центров трансфера технологий, 4 из которых являются обособленными структурными подразделениями УВО. Их основная цель – обеспечение передачи инноваций в сферу практического применения.

Концептуальные подходы к развитию системы образования Республики Беларусь до 2030 г. подчеркивают необходимость того, что образовательные и научные организации должны стать неотъемлемым элементом инновационно-промышленного кластера, так как выполняют в нем ряд уникальных функций: разработку и внедрение новых технологий, обучение и повышение квалификации работников, консалтинг предприятий в различных областях деятельности, совместное использование субъектов инновационной инфраструктуры (технопарков, бизнес-инкубаторов, центров коллективного пользования и т.п.), аккумуляция знаний и их трансляция между участниками кластера. В свою очередь УВО, являясь его членами, получают доступ к финансированию исследований со стороны предприятий, совершенствуют образовательные программы в целях их соответствия современным потребностям экономики, организуют практику и стажировки сту-

дентов, а также повышают квалификацию своих сотрудников в подразделениях кластера, привлекают к образовательному процессу специалистов-практиков, работающих там. В этой связи в Республике Беларусь происходит последовательное формирование нормативной правовой базы в области кластерного развития экономики страны [4, 5];

♦ **реализация с 2018 г. инициированного Министерством образования Республики Беларусь экспериментального проекта «Совершенствование деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0».** В рамках этой концепции изменяется содержание образования с акцентом на формирование у обучающихся предпринимательских компетенций, которые можно применить в дальнейшей работе. В этих целях предусматривается внесение в учебно-программную документацию изменений и дополнений, направленных на системное взаимосвязанное изучение вопросов инновационной, изобретательской и предпринимательской деятельности (создание бизнес-среды), а также на реализацию стартапов в бизнес-инкубаторах, командное выполнение высокотехнологичных проектов в рамках практико-ориентированного обучения, выполнение комплекса мер по учреждению субъектов инновационной инфраструктуры, отраслевых лабораторий, бизнес-инкубаторов и т.п., которые будут обеспечивать на завершающем этапе коммерциализацию инновационной продукции и результатов интеллектуальной деятельности [6].

В процесс построения интегрированной образовательной, научной и производственной среды активно включился Брестский государственный технический университет (БрГТУ). Он аттестован в качестве научной организации и имеет право на осуществление инженерных изысканий, функций генерального проектировщика, на обследование зданий и сооружений. Это позволяет университету выполнять значительную долю исследований для предприятий страны (в 2022 г. из 212 научно-исследовательских работ с общим объемом финансирования 1865 тыс. руб. 173 проекта реализовывалось по хозяйственным договорам на сумму 1676 тыс. руб., или 89,9%). Так, например, в БрГТУ внедрены уникальные технологии обучения проектированию в строительстве, которые базируются на комплексном подходе, объединяющем вопросы расчета, конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа унифицированных элементов и формирования из них любой объемно-пространственной большепролетной обо-

лочки, служащей покрытием здания или сооружения и отвечающей самым высоким требованиям функциональности, безопасности, эксплуатационной пригодности, архитектурной выразительности, технологичности и экологичности. Это позволило в период с 2004 по 2022 г. принять участие в покрытии в Беларуси и за рубежом более двух десятков уникальных объектов: универсального спортивного комплекса «Виктория» в г. Бресте, летнего амфитеатра г. Витебске, спортивного зала и центрального входа многопрофильного культурно-спортивного комплекса «Минск-Арена» в г. Минске, дворца водных видов спорта в г. Бресте, купола здания Национального олимпийского комитета в г. Минске, ледовых дворцов в Пружанах, Кобрине, Ивацевичах, Лунинце, Сморгони, Новолукомле и т.д., в реконструкции выставочного зала Третьяковской галереи в г. Москве и др.

В БрГТУ активно развиваются совместные исследования с государственными и коммерческими организациями. Как ответ на растущие потребности крупнейших предприятий Брестской области в 2019 г. в университете создана отраслевая лаборатория «Системы идентификации и промышленная робототехника» с ОАО «Савушкин продукт» и ООО «Системы промышленной автоматизации». За счет партнерства достигается максимально эффективная интеграция производства и научно-образовательного процесса. Так, разработка проектов технических решений по автоматизации осуществляется при участии представителей площадки внедрения (ОАО «Савушкин продукт»), студентов и сотрудников вуза, а также работников подрядных организаций. ООО «Системы промышленной автоматизации» обеспечивает доступ представителей БрГТУ к самым современным технологиям, предоставляя оборудование для решения конкретных прикладных задач, а затем заменяет его на более современное. Стоит отметить, что данный подход не требует значительных инвестиций со стороны УВО в научно-учебное оборудование, которое в современных условиях быстро устаревает.

В лаборатории ведутся научно-исследовательские и внедренческие работы по автоматизации процессов с учетом обеспечения промышленной маркировки продуктов питания в соответствии с системами «Честный знак» и «Электронный знак» с такими белорусскими предприятиями, как ОАО «Савушкин продукт», СП «Санта Бремор» ООО, УП «Минский хладокомбинат №2», ОАО «Молочный Мир», ОАО «Беллакт» и др.

Для успешного внедрения инноваций в БрГТУ развивается соответствующая инфраструктура. Так, в университете функционируют 4 учебно-научно-производственных объединения совместно с ОАО «Строительный трест №8», ГППСУП «Брестоблсельстрой», УП «Брестское отделение торгово-промышленной палаты», ООО «Эполь Софт», 9 научно-исследовательских лабораторий («Самонапряженные конструкции», «Современные строительные конструкции», «Новые нетрадиционные энергетические устройства», «Искусственные нейронные сети», «Технический анализ функционирования инженерных систем», «Интеллектуальные транспортные системы», «Центр устойчивого развития предприятий», «Социокультурные проблемы приграничья», «Цифровой инжиниринг АПК»), 2 отраслевые лаборатории («Системы идентификации и промышленная робототехника», «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве»). В 2023 г. планируется открытие научно-исследовательской лаборатории «Материаловедение и плазменные технологии» и учебно-научно-исследовательского полигона «Индустриальные технологии строительного производства».

Одной из точек роста в условиях Четвертой промышленной революции и важнейшим инновационным направлением для развития БрГТУ становится разработка компьютерных моделей производственных процессов на базе цифрового инжиниринга. С этой целью в университете создается и развивается Мультидисциплинарный образовательный кластер машиностроения, искусственного интеллекта и робототехники, строительства. Структура кластера сформирована таким образом, чтобы максимально эффективно обеспечить рост образовательных компетенций наиболее одаренной и заинтересованной молодежи. Так, на первом уровне происходит вовлечение школьников и студентов младших курсов в вопросы цифрового инжиниринга, на втором обучающиеся получают возможность работать в учебных и учебно-практических лабораториях над своими проектами, тематика которых увязана с учебными планами соответствующих специальностей, и совершенствовать свои профессиональные навыки. Старшекурсники, зарекомендовавшие себя в ходе выполнения исследовательских проектов, привлекаются к реализации практических задач для реального сектора экономики (уровень 3.0). Студенты, пройдя все три этапа, становятся наиболее конкурентоспособными на рынке труда. Таким образом, цель кластерной инициативы в БрГТУ – внедрение на предприятиях перерабатывающей

промышленности, сельского хозяйства и других субъектах технологий умного производства (информационное моделирование зданий и сооружений (BIM-проектирование) и их конвергенции с нанотехнологиями, биотехнологиями, а также когнитивными, социальными и гуманитарными науками – конвергентные технологии (NBICS), искусственный интеллект (AI), Интернет вещей (IoT), робототехника, 3D-печать, облачные решения).

Отдельно стоит отметить активизацию в БрГТУ сетевой формы взаимодействия при реализации образовательных программ и работу по созданию Научно-образовательного центра в сфере цифрового инжиниринга для подготовки специалистов в области строительства, машиностроения, информационных технологий. Здесь будут созданы условия для приобретения, закрепления и развития профессиональных компетенций, получения высокой квалификации и практических умений по использованию наукоемкого оборудования в образовательном процессе, а также адаптации выпускников к реальным условиям производства. Планируется также организовать обучение по указанным направлениям студентов из других УВО.

Открытие центра компетенций, а также тесное взаимодействие БрГТУ с отдельными резидентами ЗАО «Брестский научно-технологический парк», работа которых увязана с инновационной деятельностью отраслевых и научно-исследовательских лабораторий университета, обеспечивают условия и формируют кадровый потенциал для интенсивного внедрения инструментов цифрового инжиниринга для решения различных производственных задач и создания на базе университета мелкосерийного выпуска робототехнических комплексов. Активно развивается в БрГТУ целевая подготовка специалистов. Так, заявки на нее по итогу приемной кампании 2023 г. подали 19 организаций, договоры о такой подготовке заключены с 29 абитуриентами, которые стали студентами университета.

Подтверждает интеграцию образования, науки и производства в университете функционирование 21 филиала кафедр, созданных на предприятиях республики, которые, в свою очередь, принимают активное участие в разработке и рецензировании учебных программ вуза.

Таким образом, в Республике Беларусь поступательно формируются необходимые условия для интегрированной образовательной, научной и производственной среды. Создается она и в БрГТУ, который динамично встраивается в национальную инновационную систему, обеспечивающую координацию

деятельности производителей научно-технических разработок в УВО и их потребителей. Проведенные мероприятия способствуют увеличению прибыли субъектов хозяйствования, государственного бюджета за счет налоговых поступлений, созданию новых рабочих мест, повышению инвестиционной привлекательности страны и возможностей для подготовки квалифицированных специалистов. ■

■ **Summary.** The article considers the organizational and legal conditions aimed at creating an integrated educational, scientific and industrial environment in the Republic of Belarus for the systematic solution of issues of the development of higher education and innovative development of the economy: the opportunity for organizations to participate in the development of professional and educational standards; development of a network form of interaction between subjects carrying out educational activities, customers and other implementing organizations; improvement of the mechanism of state orders for personnel training; improving conditions for the integrated development of research, innovation and business infrastructure of higher education institutions in order to develop innovative products and commercialize innovations; implementation on the basis of institutions of higher education of the Republic of Belarus of the pilot project «Improving the activities of institutions of higher education based on the model “University 3.0”». The authors present the experience of creating such an environment in the educational institution «Brest State Technical University».

■ **Keywords:** innovative economy, higher education, innovation infrastructure, «University 3.0» model.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-52-56>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. С.А. Касперович, Е.В. Шарапа. Развитие взаимодействия учреждений профессионального образования и бизнеса // Вестник Белорусского экономического университета. 2022. №1. С. 12–21.
2. О государственной инновационной политике и инновационной деятельности: Закон Респ. Беларусь от 10.07.2012 г. №425-З: с изм. и доп. от 06.01.2022 г. №152-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
3. Об утверждении Положения о порядке создания субъектов инновационной инфраструктуры: Указ Президента Респ. Беларусь от 03.01.2007 г. №1: в ред. от 01.08.2022 г. №265 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
4. Об утверждении Концепции формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь и мероприятий по ее реализации: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 16.01.2014 г. №27 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
5. Об утверждении Методических рекомендаций по организации и осуществлению мониторинга кластерного развития экономики: постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 01.12.2014 г. №90 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
6. О совершенствовании деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0»: приказ Министерства образования Респ. Беларусь от 01.12.2017 г. №757 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

Статья поступила в редакцию 12.07.2023 г.

СОВРЕМЕННЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРО- ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Валерий Гременок,
заведующий
лабораторией физики
полупроводников
НПЦ НАН Беларуси
по материаловедению,
доктор физико-
математических наук,
профессор



Михаил Тиванов,
декан физического
факультета БГУ,
кандидат физико-
математических наук,
доцент

Солнечная энергия – источник энергии ветра, воды, тепла морей, роста биомассы, а также причина образования на протяжении тысячелетий торфа, бурого и каменного угля, нефти и природного газа. Ее можно использовать и непосредственно для получения электричества и тепла.

Суммарное конечное (полезное) потребление электроэнергии 179 стран за 2020 г. составило $22,4 \times 10^{12}$ кВт•ч [1]. Общее же количество солнечной энергии, которую поглощает атмосфера, поверхность суши и океана – примерно $38,5 \times 10^{23}$ Дж ($10,7 \times 10^{18}$ кВт•ч) в год [2] – за один час в 100 раз больше, чем весь мир использовал в 2020 г. За год поверхности Земли достигает так много энергии Солнца, что она

вдвое превосходит ту, которую потенциально можно выработать из всех невозобновляемых источников: угля, нефти, урановых руд [2].

Фотоэлектрическое преобразование – один из лучших способов прямого получения из солнечного света полезной энергии без вредных побочных продуктов. Хотя кремниевые (Si) солнечные элементы (СЭ) первого поколения по-прежнему доминируют и охватывают около 95% доли мирового рынка [3, 4], из-за различных ограничений (масса и стоимость кремниевой пластины, способы получения) альтернативные недорогие материалы и технологии изготовления фотоэлектротрансформаторов (ФЭП) вызывают растущий интерес в последние три десятилетия.

Среди всех типов СЭ тонкопленочные солнечные элементы (ТСЭ) наиболее предпочтительны из-за их низкой стоимости и многообещающей тенденции в повышении эффективности [5]. Это привело к разработке легковесных недорогих ТСЭ второго поколения, например элементов из аморфного кремния (a-Si), которые привлекательны благодаря доступности материала, нетоксичности и низкой температуре формирования [6, 7].

Между тем $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ (CIGS) СЭ показывают эффективность, сравнимую с ФЭП на основе поликристаллического кремния, но стоимость их производства ниже [8, 9]. Один из основных недостатков этих ФЭП – дефицит индия (In) и галлия (Ga). С другой стороны, полупроводниковое соединение $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) сходно с CIGS, но содержит элементы, широко распространенные в земной

коре [10–13]. Запас меди (Cu), олова (Sn), серы (S) и селена (Se) в ней составляет 60 ч/млн, 2,3 ч/млн, 350 ч/млн и 0,05 ч/млн соответственно, по сравнению с 0,25 ч/млн (In), 19 ч/млн (Ga) и 0,001 ч/млн (Te) [14].

ФЭП на основе CdTe (теллурида кадмия) показали многообещающие результаты благодаря более высокой эффективности, сравнимой с Si-поликристаллическим элементом [15, 16], несмотря на то, что его физические характеристики заметно отличаются от других ТСЭ. В результате CdTe стал наиболее распространенным материалом, применяемым в качестве поглощающего слоя для создания высокоэффективных и недорогих СЭ.

Из-за вышеупомянутых стратегических ключевых особенностей при выборе материалов для СЭ различные исследовательские группы занимаются интенсивной разработкой и отслеживанием последних достижений в области получения ТСЭ с формированием обзоров соответствующей литературы. В последние годы опубликованы такие работы отдельно по CIGS [8, 9], CZTS [10–13] и CdTe [15, 16] СЭ. В настоящей статье кратко описывается эволюция ТСЭ на основе халькогенидных материалов, представлен сценарий развития трех типов тонкопленочных ФЭП.

Солнечные элементы на базе $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$

Многокомпонентные полупроводниковые соединения со структурой халькопирита $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ для использования в качестве поглощающего слоя СЭ вызывают особый инте-

рес исследователей [8–10]. Первые пленки CuInSe_2 (CIS) были синтезированы в 1953 г., а лаборатория Bell предложила этот материал в качестве фотоэлектрического в 1974 г. Пионерские устройства на основе гетеропереходов $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ были разработаны путем нанесения пленки CdS *n*-типа поверх монокристалла *p*- CuInSe_2 . СЭ с применением CIS привлекли к себе большое внимание, когда появились высокоэффективные (9,4%) тонкопленочные ФЭП, полученные компанией Boeing в 1981 г. На сегодняшний день the National Renewable Energy Laboratory (USA) – ведущая исследовательская организация в области разработки $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ СЭ. Рекордная эффективность этого СЭ составляла 17,1% в 1995 г., 19,9% в 2008 г. и 23,4% в 2019 г.

Формирование ФЭП чаще всего производится на стеклянных подложках, металлической фольге или полиамидных пленках. В качестве нижнего (заднего) контакта, как правило, используют молибденовые слои. Далее осаждается слой CIGS толщиной от 2 до 4 мкм – полупроводниковое соединение с прямой запрещенной зоной, имеющее кристаллическую структуру халькопирита, образованное смешиванием CuInSe_2 и CuGaSe_2 в любой пропорции. В высокоэффективных элементах соотношение Ga/(In+Ga) поддерживают в диапазоне 0,25–0,35. Следующий слой, называемый буферным *n*-типа, имеет типичную толщину 50–100 нм. Обычно в его качестве применяется CdS, осажденный в химической ванне, но с учетом его воздействия на окружающую среду и опасности предпочтение отдается пленкам ZnS, ZnSe, ZnO,

(Zn, Mg)O, In(OH)₃, In₂S₃, In₂Se₃, InZnSe_x, SnO₂ и SnS₂. Буферные слои могут наноситься различными методами: металлоорганическим химическим осаждением из паровой фазы (MOCVD), химическим осаждением в ванне (CBD), электроосаждением, распылением, термическим испарением, осаждением атомного слоя (ALD), газовой реакцией в ионном слое (ILGAR). Во избежание повреждения поверхности слоя CdS добавляется тонкая (50–100 нм) пленка ZnO (i-ZnO) и более толстый оптически прозрачный электропроводящий слой Al: ZnO (300–600 нм). На нем формируется металлическая контактная сетка.

Синтез пленок тройных и четверных соединений, таких как CIS и CIGS с заданными свойствами, – достаточно сложный процесс. Независимо от метода осаждения поглощающая пленка высокоэффективных приборов должна иметь гладкую поверхность и состоять из больших плотноупакованных зерен, имеющих структуру халькопирита и несколько обедненных медью, с тем, чтобы на поверхности образовалось соединение с упорядоченными вакансиями. Фазы диселенида меди особенно нежелательны для СЭ, поскольку Cu_{2-x}Se имеет очень высокую проводимость, что приводит к большим значениям темновых токов. Основная проблема такого синтеза пленок – контроль их стехиометрического состава. Наиболее перспективные халькопиритные образцы создают двумя основными методами:

- *одновременным соиспарением составных элементов соединения (с последующим отжигом или без него);*

- *нанесением Cu-In(Ga) металлических предшественников с последующей селенизацией в селеносодержащих парах (H₂Se или элементарный Se).* Еще одна значимая проблема – получение высококачественной пленки поглощающего слоя с помощью достаточно простого и воспроизводимого метода. В случае с вариантами Cu(In, Ga)Se₂ использовались различные технологии: вакуумного осаждения, высокочастотного распыления, методы химического осаждения, пульверизации с последующим пиролизом, электроосаждения, а также метод двухступенчатой селенизации металлических слоев Cu-In-Ga в атмосфере H₂Se. Способ, пригодный для широкомасштабного применения, должен удовлетворять экономическим, экологическим критериям и обеспечивать высокое качество материала (стехиометрический состав, структуру халькопирита, размер зерна, необходимый тип проводимости, удельное сопротивление и т.д.).

Следует отметить ряд критических моментов при создании CIGS ТСЭ:

- *необходима разработка процесса осаждения на гибкую подложку при низких температурах;*
- *буферный слой CdS представляет собой наибольшую угрозу здоровью, обусловленную использованием канцерогенного Cd. Селен не обладает высокой токсичностью, но его соединения, такие как H₂Se, чрезвычайно опасны;*
- *ограниченность ресурсов, а также проблемы экологии негативно сказываются на практическом потенциале CIGS СЭ в случае развертывания крупномасштаб-*

ного производства. Поиск альтернативных, менее токсичных материалов по сравнению с Cu(In, Ga)Se₂ дал начало исследованию ТСЭ на основе Cu₂ZnSnS₄, состоящих из широко распространенных в природе элементов.

Солнечные элементы на базе Cu₂ZnSnS₄

Кристаллы Cu₂ZnSnS₄ были получены в 1967 г., а первые фоточувствительные гетероструктуры на основе тонких пленок CZTS – в 1988 г. Показано, что коэффициент их оптического поглощения вблизи края поглощения – порядка 10⁴ см⁻¹, ширина запрещенной зоны – 1,45 эВ, обнаружен также фотовольтаический эффект в диодных гетероструктурах SnO₂: Cd/ CZTS с напряжением холостого хода, составляющим 165 мВ.

CZTS – четверное полупроводниковое соединение с прямой запрещенной зоной. Наиболее распространена для тонких пленок CZTS кристаллическая структура кестерита [10–13]. Оптическая запрещенная зона пленок кестерита стехиометрического состава, оцененная теоретически, составляет 1,50 эВ, а экспериментально обнаруженная варьируется в диапазоне 1,4–1,5 эВ. Удельное электрическое сопротивление тонких пленок CZTS колеблется в пределах 10⁻³–10⁻¹ Ом•см. Первые СЭ на их основе были созданы в 1996 г. [10]. Пленки были получены путем сульфидизации в атмосфере N₂+H₂S (5%) металлических слоев (прекурсоров) Cu/Sn/Zn, осажденных методом распыления электронным лучом. Далее были сформированы солнечные

элементы: стекло/Mo/CZTS/CdS/ZnO/Al с эффективностью фотоэлектропреобразования 0,66%. Пионерские работы ученых из Нагаокского национального колледжа технологий показали большой потенциал пленок CZTS [10]. К разработке этой темы подключилось большое число исследовательских групп со всего мира. С начала 2000-х гг. число опубликованных работ по получению и исследованию данного материала ежегодно растет.

Конструкция CZTS СЭ состоит из натриево-кальциевого стекла, покрытого молибденом (Mo), слоя поглотителя CZTS *p*-типа, контактирующего с осажденным буферным слоем CdS *n*-типа для формирования *p-n*-перехода (помимо буферного слоя CdS применяют и другие материалы с высокой запрещенной зоной, такие как In_2S_3 , CdZnS, ZnS, ZnSe, $In_x(OH, S)_y$. Далее осаждаются тонкие слои *i*-ZnO, ZnO: Al, используемые в качестве оконного слоя для предотвращения токов утечки, и пленка отражающего покрытия (TCO). На ее слой наносятся металлические контакты из сетки Ni/Al.

Методы получения пленок Cu_2ZnSnS_4 можно условно разделить на две категории.

Одностадийные процессы.

Компоненты CZTS (Cu, Zn, Sn, S) осаждаются на подложку одновременно. Аналогичный подход успешно применялся для получения СЭ на основе CIGS с рекордной эффективностью, однако в случае с CZTS он оказался не столь удачен по причине летучести Sn и Zn, затрудняющей осаждение материала на подложки с высокой температурой. В резуль-

тате максимальная эффективность СЭ составляет 9,15%.

Двухстадийные процессы.

В данном случае на первом этапе производится формирование на подложке прекурсоров. На втором происходит сульфидризация, то есть отжиг прекурсоров в атмосфере серы. Этот способ получения пленок наиболее распространен и приводит к рекордной на сегодняшний день эффективности (12,7%) фотоэлектропреобразования ТСЭ на основе Cu_2ZnSnS_4 .

Следует отметить, что в большинстве работ по CZTS применяются двухстадийные процессы. Методы получения прекурсоров при этом делятся на две группы: вакуумные и невакуумные. Первые обладают рядом преимуществ, в том числе высокой однородностью получаемых материалов по поверхности, прецизионным контролем элементного состава, высокой воспроизводимостью характеристик, минимизацией побочных включений в структуру материала. Главный недостаток вакуумных методов – дороговизна оборудования и его обслуживания. Основное же преимущество невакуумных подходов состоит в простоте и низкой стоимости установок и используемых реагентов. На ранних стадиях разработки технологии получения тонких пленок Cu_2ZnSnS_4 вакуумные методы доминировали и удерживали мировые рекорды эффективности ФЭП. Однако, начиная с 2010 г., наибольшую эффективность показывают пленки, созданные невакуумными методами.

Основное преимущество CZTS фотоэлектропреобразователей заключается в том, что его компоненты дешевы,

широко распространены в природе и нетоксичны. CZTS-фотоэлементы примерно в пять раз дешевле, чем CIGS. Однако есть и ряд недостатков: токсичность буферного слоя CdS, контроль дефектов в пленках Cu_2ZnSnS_4 , формирование однофазной пленки CZTS и обнаружение вторичных фаз. Селен и кадмий часто используются для выращивания высококачественных тонких пленок CZTS. При этом ТСЭ на их основе нетоксичен.

Солнечные элементы на базе CdTe

Кристаллы CdTe были химически синтезированы в 1879 г. В 1954 г. было сообщено об электропроводности *p*-типа и *n*-типа при легировании посторонними примесями, и в 1956 г. сульфид кадмия предложен как фотоэлектрический материал. CdTe принадлежит к двум основным структурным типам: кубической структуре цинковой обманки (сфалерит) и гексагональной (вюрцит), для которых характерно тетраэдрическое расположение атомов, аналогично наблюдаемому у полупроводников IV группы. Сообщаемое значение оптической ширины запрещенной зоны CdTe составляет 1,44–1,56 эВ при 300 К [15].

Первый монокристаллический гомопереходный СЭ CdTe с эффективностью около 2%, изготовленный путем диффузии индия в кристаллы CdTe *p*-типа, был продемонстрирован в 1959 г. [16]. Пленочные СЭ на базе CdS/CdTe представляют собой хорошую замену элементам на основе моно-Si и GaAs при использовании на Земле и в космосе. Масса стеклянной подложки в их составе равна 98% от всей рабочей струк-

туры. Но пленочные СЭ на базе CdS/CdTe, формируемые на тонких металлических фольгах для снижения массы, обладают недостаточной эффективностью. Ряд западных фирм изготавливает прозрачные полиимидные пленки толщиной 7–10 мкм, термостабильные до 450 °С. Замена тяжелой стеклянной подложки на тонкую полиимидную пленку с существенным отличием теплофизических и механических характеристик неизбежно приводит к оптимизации фотоэлектрического преобразования гибких СЭ на базе CdS/CdTe тыльной конфигурации. Эффективность элементов ниже, чем для моно-Si, но в сравнении с ним ватт мощности CdTe-преобразователей обходится на несколько десятков процентов дешевле.

Химические элементы Cd и Te обладают различными физическими и химическими свойствами. Первый получают как побочный продукт процесса рафинирования цинка из руды, и он весьма распространен. Те – побочный продукт процесса рафинирования меди из руды – напротив, редкоземельный материал. Медико-химические исследования выявили, что в отличие от Cd теллурид кадмия нетоксичен. При этом CdTe имеет высокую устойчивость к разложению, поэтому готовые СЭ на его базе не оказывают пагубного воздействия на здоровье людей. Таким образом, токсичность Cd и дефицит Te – основные критические проблемы, ограничивающие потенциал широкой коммерциализации такого типа солнечных батарей.

ФЭП на основе $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ -пленок обладают сравнимой эффективностью с кремние-

выми поликристаллическим СЭ. Пленки для создания ФЭП могут быть нанесены как на стеклянную, так и на гибкую подложку, и показано, что эффективность выше, когда используется жесткая подложка, содержащая натрий [8, 9].

Хронологически прогресс повышения эффективности различных типов ТСЭ наряду с эволюцией технологий их изготовления отражен на *рисунке*. Две отдельные кривые приведены для эффективности CIGS СЭ, одна из которых относится к элементам на жесткой подложке (R), а другая – на гибкой (F). Зависимости эффективности тонкопленочных элементов на основе аморфного кремния (a-Si) представлены для одного p-n перехода (S) и тандемного (M), состоящего из поликристаллического и аморфного кремния. На *рисунке* показана также зависимость для сенсibilизированного краси-

телем СЭ (DSSC). Он в основном состоит из слоев полупроводникового оксида TiO_2 , красителя, электролита и катализатора, которые расположены между двумя прозрачными проводящими электродами.

Следует отметить, что стоимость изготовления CIGS-элемента ниже, чем Si-кристаллического СЭ, но нехватка In и Ga по-прежнему остается существенной проблемой. Кроме того, буферный слой фотоэлемента содержит токсичный кадмий, что ограничивает потенциал этого ТСЭ. Подобно CIGS, CdTe – один из наиболее исследованных материалов, тем не менее есть некоторые проблемы, касающиеся стоимости его сырья и токсичности. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ – еще один перспективный тонкопленочный СЭ, схожий по структуре с CIGS. Процедура изготовления различных слоев для CZTS-элементов аналогична

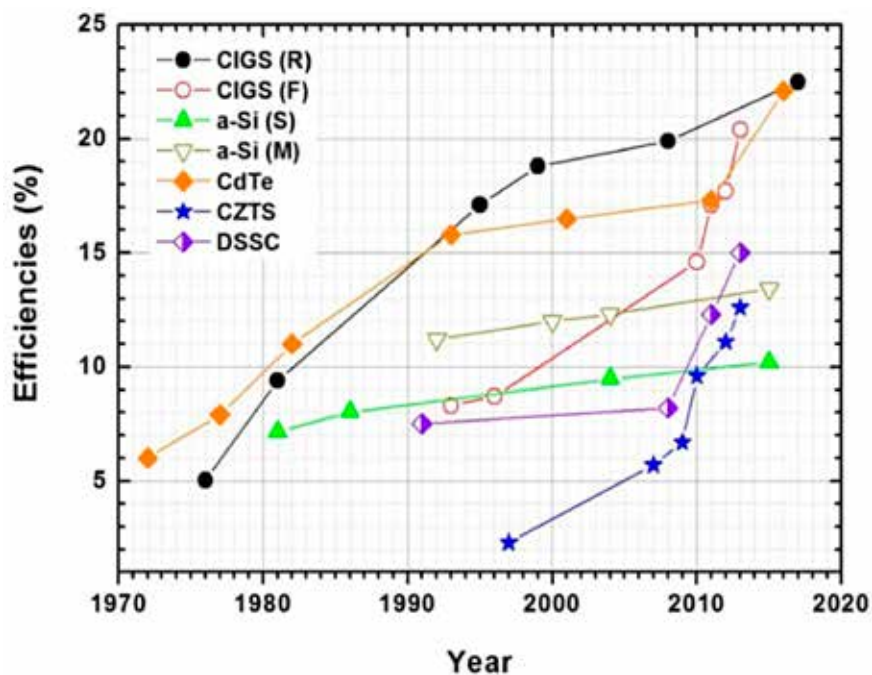


Рисунок. Исторические рекорды эффективности основных типов тонкопленочных солнечных элементов (лабораторный масштаб) [3]

Свойства	CIGSe	CZTS	CdTe
Кристаллическая структура	Халькопирит	Кестерит	Сфалерит, вюрцит
Ширина запрещенной зоны	1,04 эВ (CuInSe ₂) 1,68 эВ (CuGaSe ₂)	1,4–1,5 эВ	1,44–1,56 эВ
Коэффициент поглощения	>10 ⁵ см ⁻¹	10 ⁴ см ⁻¹	>5×10 ⁵ см ⁻¹
Токсичность	Слабо токсичен	Не токсичен	Токсичен
Доступность материала	In и Ga ограничены	Доступен	Cd доступен Te ограничен
Стабильность	Высокая	Высокая	Средняя
Эффективность фотоэлектро-преобразования	23,4%	12,6%	22,1%
Доля рынка	1,5%	Лабораторный уровень	6,1%

Таблица. Сравнение различных характеристик трех типов тонкопленочных солнечных элементов [4, 17]

ей же для CIGS ФЭП. Этот тип СЭ многообещающий из-за обилия и экологичности химических элементов, входящих в его состав. Данное соединение – одно из наиболее привлекательных среди фотоэлектрических материалов, несмотря на то, что достигнутая эффективность СЭ на его основе ниже по сравнению с ФЭП на базе CIGS и CdTe.

В таблице приведены данные по структурным и оптическим свойствам, доступности материала, токсичности, стабильности и максимальной эффективности для трех типов тонкопленочных солнечных элементов. Технология их изготовления с участием как CIGS, так и CdTe обладает рядом преимуществ. Их эффективность сопоставима с СЭ на основе поликристаллического кремния, но стоимость сравнительно ниже. Однако оба типа используют дефицитные и токсичные материалы, что является основным ограничением в этих приборах. Данные СЭ все еще нахо-

дятся в стадии исследования и разработки, поэтому их доля на рынке пока незначительна.

В обзоре рассмотрены методы получения и характеристики трех типов тонкопленочных солнечных элементов на основе халькогенидных полупроводниковых материалов, а также ограничения, из-за которых их эффективность все еще ниже, чем у доминирующих на рынке кремниевых солнечных фотоэлектропреобразователей. На сегодняшний день рекордная эффективность для CIGS, CZTS и CdTe составляет 23,35%, 12,6%, 22,1% соответственно. Среди них CZTS находится в стадии исследований и разработок, а СЭ на основе CIGS и CdTe сопоставимы с СЭ на основе поликристаллического кремния. Таким образом, тонкопленочные технологии наиболее перспективны для внедрения в фотоэлектрических системах и решения энергетических и экологических проблем. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Потребление электроэнергии в регионах и странах мира // <https://www.eeseaec.org/potreblenie-elektroenergii-v-regionah-i-stranah-mira>.
2. V. Smil. Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems. – The MIT Press, 2008.
3. M. A. Green [et al]. Solar cell efficiency tables (Version 61) // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2023. Vol 31, №1. P. 3–16.
4. W.Z. Shen, Y.X. Zhao, F. Liu. Highlights of mainstream solar cell efficiencies in 2021 // Frontiers in Energy. 2022. Vol. 16, №1. P. 1–8.
5. T.D. Lee, A.U. Ebong. A review of thin film solar cell technologies and challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 70. P. 1286–1297.
6. T. Matsui [et al]. High-efficiency amorphous siliconsolar cells: impact of deposition rate on metastability // Appl Phys Lett. 2015. Vol. 106, №5. P. 053901(5).
7. M. Stuckelberger [et al]. Review: Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicon // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 76. P. 1497–1523.
8. Гременок В.Ф. [и др.]. Тонкопленочные солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов Cu(In, Ga)(Se, S)₂ со структурой халькопирита. – Баку, 2013.
9. J. Ramanujam, U.P. Singh. Copper indium gallium selenide based solar cells – a review // Energy & Environmental Science. 2017. Vol. 10. P. 1306–1319.
10. X. Liu [et al]. The current status and future prospects of kesterite solar cells: a brief review // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2016. Vol. 24. P. 879–898.
11. S. Zhuk [et al]. Critical review on sputter-deposited Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) based thin film photovoltaic technology focusing on device architecture and absorber quality on the solar cells performance // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2017. Vol. 171. P. 239–252.
12. K.V. Gunavathy [et al]. A review on growth optimization of spray pyrolyzed Cu₂ZnSnS₄ chalcogenide absorber thin film // Int J Energ Res. 2019. Vol. 43. P. 1–39.
13. С. А. Башкиров [и др.]. Тонкие пленки Cu₂ZnSn(S, Se)₄ для использования в солнечных элементах третьего поколения // Альтернативная энергетика и экология. 2016. Т. 203–204. С. 31–53.
14. Содержание элементов в земной коре // <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
15. T. Sinha [et al]. A review on the improvement in performance of CdTe/CdS thin-film solar cells through optimization of structural parameters // J Mater Sci. 2019. Vol. 54. P. 12189–12205.
16. A. Romeo, E. Argegnani. CdTe-Based Thin Film Solar Cells: Past, Present and Future // Energies. 2021. Vol. 14. P. 1684 (24).
17. M.G. Buonomenna. Inorganic Thin-Film Solar Cells: Challenges at the Terawatt-Scale // Symmetry. 2023. Vol. 15. P. 1718 (31).

АЛЬТРУИЗМ В ОБЛАСТИ ДАННЫХ



<https://builtin.com/big-data>

Благодаря стремительному прогрессу в области цифровых технологий, разработке различного рода датчиков и Интернета вещей в мире собирается все больше сведений из широкого диапазона областей, включающих жизнедеятельность человека, производственную сферу, природные явления, и формируется большой массив данных. В 2020 г. их объем достиг 44 зеттабайта. Бесспорно, такое обилие информации, и особенно при условии всеобщего доступа к ней, может стать основой для преодоления глобальных проблем и принятия обоснованных планов, решений и конкретных действий. Этой теме посвящена публикация руководящих принципов ЮНЕСКО «Открытые данные для искусственного интеллекта», лейтмотивом которых является утверждение о том, что государства – члены организации должны обмениваться контентом, обеспечивать его прозрачность и подотчетность, а также возможность использования для всех. Настоящие рекомендации направлены на то, чтобы способствовать общему пониманию важности открытых данных (ОД) для развития технологий искусственного интеллекта и проблем при работе с ними, а также для содействия цифровой трансформации и создания инклюзивных обществ знаний.

Экосистема управления открытыми данными

Конгломерат накопленных данных имеет огромный потенциал, но для его реализации они должны быть пригодными для обработки и внедрения результатов: обладать функцией быстрого поиска, открытого доступа, совместимости, модифицируемости и возможностью повторного использования.

Поэтому к заинтересованным сторонам, особенно правительствам, а также научному сообществу и частному сектору, был обращен призыв предоставлять открытые данные. Первым, по утверждению авторов публикации, эту идею озвучил изобретатель всемирной паутины Т. Бернерс-Ли, обозначивший возможности использования ОД: «инновации, прозрачность, подотчетность, более эффективная управляемость и экономический рост». Актуальность этой тематики подчеркивалась в отчете ООН «Мир, который имеет значение» (2014 г.), в Рекомендациях ЮНЕСКО по открытой науке (2021 г.), в Законе ЕС об управлении данными, Альянсе больших данных для миграции (2021 г.), Директиве ЕС INSPIRE и в других документах.

Аналитики рекомендаций отмечают, что за последние годы инициативы в этой области значительно активизировались. Основан Институт открытых данных для формирования прозрачной и надежной экосистемы в 2012 г.; опубликовано Руководство по открытым правительственным данным и принята Хартия открытых данных G8 в 2013 г.; в 2015 г. подготовлена более инклюзивная версия Международной хартии открытых данных. Помимо этого в 2013 г. был создан Альянс по исследовательским данным, в 2014 г. – глобальная сеть «Открытые данные для развития», целью которой стало продвижение ОД для поддержки социальных изменений. В 2015 г. Рабочая группа по борьбе с коррупцией G20 опубликовала антикоррупционные принципы открытых данных, которые показывают их роль как инструмента обеспечения прозрачности, подотчетности и доступа к информации.

В 2018 г. Статистическая комиссия Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам учредила Рабочую группу по открытым данным, занимающуюся выработкой принципов,

рекомендаций и поддержкой их внедрения в государствах – членах Организации Объединенных Наций. В 2020 г. Генеральный секретарь ООН представил Дорожную карту цифрового сотрудничества, а Координационный совет – Общесистемную дорожную карту по обновлению данных и статистики ООН, цель которой – способствовать улучшению мира посредством актуальной, достоверной информации, доступной для всех. В 2021 г. 193 государства – члена ЮНЕСКО приняли Рекомендацию по этике искусственного интеллекта – первый глобальный нормативный документ в этой сфере.

Исходя из утверждений авторов руководящих принципов, основным поставщиком больших объемов данных выступают государственные структуры, которые в прошлом ими практически не делились, к тому же ранее было невозможно получить их в функционально совместимом формате и использовать. В настоящее время картина кардинально изменилась: существует множество межправительственных инициатив и организаций, региональных структур и муниципалитетов в области ОД. Наиболее известно из них партнерство «Открытое правительство» – международная организация, учрежденная в 2011 г. с целью популяризации транспарентности государственного управления, подотчетного гражданскому контролю. Существуют также региональные платформы открытых данных, такие как openAFRICA, Азиатское партнерство, Латиноамериканская инициатива, инициативы G20 и Европейский портал открытых данных.

Огромное количество контента производится также в результате научной деятельности. И вот он, говорят эксперты, в первую очередь должен быть доступен для совместного использования, особенно если получен за счет государственного финансирования. Понимание важности открытой исследовательской информации было достигнуто давно – Комитет по данным Международного совета по науке был создан еще в 1966 г. Однако, несмотря на подписание Соглашения об обмене научными данными и работу различных платформ, получить доступ к ним трудно из-за большого объема, а также из-за некорректного управления ресурсами. Эту проблему пытаются решить с помощью Руководящих принципов FAIR, в которых делается упор на автоматический поиск данных, и Рекомендаций ЮНЕСКО об открытой науке.

Авторы публикации указывают на то, что производственная сфера и сектор услуг также накапливают масштабные сведения. Как правило, они связаны с профессиональной деятельностью, однако

их значительная часть имеет отношение к устойчивому развитию. Раньше компании отказывались предоставлять свои данные, однако теперь появилась возможность делать это без риска для бизнеса. Несколько крупнейших мировых корпораций присоединились к инициативе UN Global Pulse под названием «Благотворительность в области данных» и делятся ими на благо общества, многие сотрудничают с Учебным и научно-исследовательским институтом Организации Объединенных Наций в рамках Программы оперативных спутниковых приложений ООН, чтобы обмениваться снимками, сделанными космическими аппаратами, в гуманитарных целях. У фирм есть множество стимулов для того, чтобы открыть свои данные, таких как возможность проведения анализа, доступ к новым идеям, улучшение репутации и связей с общественностью, увеличение дохода, соответствие нормативным требованиям, корпоративная благотворительность. В Законе ЕС «Об управлении данными» вводится механизм, называемый альтруизмом в области данных, который предоставляет возможности отдельным лицам и компаниям делиться имеющейся информацией для общественного блага и поощряет такие инициативы.

Совместимость и стандарты качества ОД

Наиболее точная формулировка этого феномена приведена Фондом открытых знаний: «Открытые данные и контент могут свободно использоваться, изменяться и распространяться кем угодно для любых целей». Поскольку основное внимание в настоящем руководстве уделяется открытым государственным данным, представляющим собой «философию – и все чаще набор политик, которые способствуют прозрачности, подотчетности и созданию стоимости путем обеспечения их доступности для всех», имеет смысл утверждать, что директивные органы не только собирают информацию и разрабатывают нормы для ее обмена, но также выступают в качестве ее поставщиков.

Важным дополнением к этому утверждению, отмечают аналитики руководящих принципов ЮНЕСКО, являются 6 основных принципов Международной хартии открытых данных по публикации ОД, разработанных в 2015 г. правительствами, гражданским обществом и экспертами по всему миру:

- *открытость по умолчанию;*
- *своевременность и полнота;*
- *доступность и удобство использования;*

- сопоставимость и совместимость;
- улучшение управления и вовлечение в него граждан;
- инклюзивное развитие и инновации.

Еще один важный набор характеристик, которым должны соответствовать ОД, называется FAIR. Эта аббревиатура означает находимые (Findable), доступные (Accessible), функционально совместимые (Interoperable) и повторно используемые (Reusable) данные, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- для обеспечения возможности как ручного так и машинного поиска необходимо присвоить им глобальные уникальные и постоянные идентификаторы, разработать для них подробные метаданные и обеспечить их наличие в наиболее удобном для поиска ресурсе;
- для доступности крайне важно получать информацию по идентификатору через стандартизированный протокол связи – открытый, бесплатный, универсальный с процедурой аутентификации и авторизации;
- для функциональной совместимости следует представить данные в формате, пригодном для хранения, передачи и обработки;
- для повторного оборота данные должны быть хорошо описаны метаданными и соответствовать стандартам, а также иметь простую и доступную лицензию на их использование, информацию о происхождении, методе сбора и обслуживании.

Принципы FAIR были дополнены принципами CARE. Эта аббревиатура расшифровывается, как C – коллективная выгода, A – полномочия по контролю, R – ответственность и E – этика. Совокупность этих характеристик является краеугольным камнем всех действий по управлению данными, нацеленных на установление стандартов их обмена и этического использования.

Что касается технической стороны оборота ОД, то Т. Бернерс-Ли предложена пятизвездочная схема развертывания данных, для чего необходимо:

- * сделать их доступными онлайн в любом формате;
- ** предоставлять их в структурированном виде (например, MS Excel вместо отсканированной таблицы);
- *** выставлять в непатентованном открытом формате (например, CSV вместо MS Excel);
- **** применять URI для обозначения объектов, чтобы другие пользователи могли указывать на них;
- ***** связать данные с другими для обеспечения контекста.

Чем больше звездочек, тем более открытыми являются данные.

С юридической стороны необходимо указать, как ОД могут повторно вовлекаться в оборот и требуется ли при этом указание авторства. Если данные не могут быть доступны по причине вопросов, связанных с неприкосновенностью частной жизни, например персональные или охраняемые, это следует четко оговаривать. Аккумулировать ОД необходимо в одном хранилище, например, собирая их из различных государственных ведомств, и заполнять пробелы в случае необходимости за счет сбора новых источников – точных, актуальных и полных. Данные о людях должны агрегироваться по доходу, полу, возрасту, расе, этнической принадлежности, миграционному статусу, географическому положению и т.д.

Настолько открыто, насколько возможно, настолько закрыто, насколько необходимо

Такого принципа рекомендуют придерживаться эксперты публикации в отношении открытых данных. В пользу первого утверждения приводится аргумент о том, что авторского права на фактологическую информацию в любом случае не существует, а доступ к ней должен иметь каждый. Кроме того, деятельность правительственных органов благодаря ОД становится прозрачной, что способствует укреплению доверия к государству. Возможность повторно использовать, перекомпоновывать и комбинировать их, а также потенциально получать из них новые идеи позволяет вовлекать граждан в процесс управления, а также создавать новые инновационные услуги и продукты, тем самым способствуя социальным, экономическим и экологическим реформам.

Противники открытого доступа утверждают, что сведения, доступные всем, могут нарушать конфиденциальность заинтересованного лица, которое вправе самостоятельно распоряжаться ими, а также авторские права или права на интеллектуальную собственность. К тому же во многих случаях сбор и трафик контента являются трудоемкими и дорогостоящими процессами, которые необходимо оплачивать, и если он будет распространяться без ограничений, от этих услуг будут отказываться. По мнению оппонентов, наборы данных могут содержать систематическую ошибку, возникающую на различных этапах, в том числе во время составления отчетов

человеком, отбора, маркировки и классификации, вплоть до интерпретации результатов моделирования. Существует также опасение, что открытая информация может быть использована не по назначению, со злым умыслом, особенно с учетом того, что многие новые технологии, включая ИИ, могут иметь двойное назначение.

Хотя ОД нужны для многих областей деятельности, эксперты подчеркивают их особую важность для генеративного искусственного интеллекта, представляющего собой успешные алгоритмы машинного обучения, в котором используются нейронные сети для понимания закономерностей и формирования новых данных, в том числе искусственных цифровых. Вместо простой обработки имеющихся сведений генеративный ИИ разрабатывает программы, которые могут производить новый контент, реалистичные изображения или видео, генерировать ответы на обычном разговорном языке, придумывать дизайн новых товаров и сочинять музыку. Существуют опасения по поводу возможного неправомерного использования генеративного ИИ, например для создания ложных новостей или дипфейков, вследствие чего необходимо разработать нормы ответственности за такие деяния и тщательно рассмотреть этические последствия его применения. Ведь качество продукта становится настолько высоким, что люди не могут различить, был ли он создан машиной или человеком, что вызывает опасения и споры. Поэтому авторы публикации обращают внимание на некоторые проблемы, существующие в отношении ИИ:

- *поток информации настолько велик, что огромную ее часть пока невозможно проанализировать;*
- *для работы отдельных инструментов ИИ не хватает данных или же они существуют в отрыве от остальных, являются устаревшими, ненадежными, неточными, имеют нерабочий формат или не размечены;*
- *в некоторых сферах имеются ограниченные, но критически важные сведения, однако пока нет алгоритмов ИИ, способных их адекватно проанализировать.*

Чем оперативнее обрабатываются данные, тем быстрее работают организации. Однако если скорость этого процесса снижается из-за проблем с доступностью контента, отсутствия необходимых инструментов и задержек, вызванных устаревшими версиями программ, компании могут не достичь желаемых результатов и утратить конкурентное преимущество. Известно, что необработанные дан-

ные бесполезны, пока не преобразованы из различных форматов в наиболее эффективный и пригодный для принятия наилучших решений.

Искусственный интеллект способен анализировать большие (или, если нет другого варианта, небольшие) объемы информации, выявлять ее ранее неизвестные или скрытые закономерности и предоставлять в режиме реального времени. Этот мощный ресурс должен использоваться, в частности, для реализации Целей устойчивого развития на период до 2030 г., а также для поиска решений глобальных проблем. Об этом говорится в Дорожной карте по цифровому сотрудничеству Генерального секретаря ООН. В ней содержится призыв укреплять потенциал для расширения цифрового взаимодействия и интеграции в это партнерство новых стран (цель 4), а также поддерживать глобальные проекты в области ИИ (цель 6).

Как избежать яда в колодце

Аналитики руководящих принципов обращают внимание на то, что искусственный интеллект – это технология двойного назначения, поэтому она связана не только с большими возможностями, но и с серьезными рисками. Наборы данных, которые загружаются в системы ИИ, могут привести к нежелательным результатам или реакциям. К тому же в отношении нейронных сетей могут совершаться и злоумышленные деяния, которые становятся результатом неправомерного использования ОД. Такие воздействия получили названия «яд в колодце» или «атаки уклонением» и включают в себя различные ухищрения. Одним из них может выступать, например, простая замена меток в наборах данных, тогда как другой, более изощренный способ связан с вредоносными образцами, которые тщательно продуманы, трудно распознаваемы и приводят к изменению исходного контента с целью получения неверного результата. Непреднамеренно повышает риск таких атак появление общедоступных наборов данных и рост их объема, потенциально доступного для опасных манипуляций, поэтому шансы выявить их снижаются.

Для использования ОД в системах ИИ они должны пройти соответствующую обработку, заявляют авторы публикации. В первую очередь форматирование – перечень процедур, которые помогут сделать данные более подходящими для машинного обучения. Их агрегация из разных источников или обновление вручную разными людьми может привести к нарушению последова-

тельности контента, поэтому он должен быть очищен и промаркирован, что зачастую требует много времени, а следовательно, и средств. Успех системы ИИ зависит от функциональности подготовленной информации, в том числе от ее согласованности и актуальности. Что касается необходимого объема обучающих данных, то, по мнению экспертов, его трудно предугадать заранее, но следует контролировать с помощью проверок производительности. И основное требование: ОД должны охватывать все сценарии, для которых была выстроена система искусственного интеллекта.

Первым шагом в открытии данных для ИИ аналитики руководящих принципов называют принятие решения о том, какие наборы следует сделать доступными. Критерии «за» следующие: существовали ли ранее запросы на них, была ли такая информация открыта и принесло ли это пользу, «против» – вопросы конфиденциальности, национальной безопасности, прав на интеллектуальную собственность и защиты персональных сведений.

Перед раскрытием наборов данных государство должно точно указать, на каких условиях их можно вводить в оборот. Из существующих вариантов, по мнению авторов публикации, оптимальным в этом случае является наиболее распространенный сегодня механизм лицензирования Creative Commons, предоставляющий возможность бесплатного, простого и стандартизованного способа получения разрешений на использование авторских прав на творческие и научные произведения, гарантирующих указание авторства и позволяющих другим копировать и распространять эти произведения. Для всех данных, регулирующихся лицензией Creative Commons, помимо отказа от всех прав, могут быть установлены следующие ограничения:

- атрибуция: указание источника;
- некоммерческий характер использования;
- запрет передачи данных для применения при их изменении;
- совместное использование обработанного контента на условиях той же лицензии.

Другой вариант, считают аналитики руководящих принципов, заключается в том, чтобы государства разрабатывали свои собственные лицензии, как это сделало, например, правительство Великобритании.

Наиболее распространенным способом открытия данных является их публикация в электронном формате для загрузки на веб-сайте, в архиве или репозитории, который должен, согласно Рекомендации ЮНЕСКО об открытой науке, «поддер-

живаться и обслуживаться академическим учреждением, научным обществом, государственным учреждением или другой хорошо зарекомендовавшей себя некоммерческой организацией, работающей на общее благо, что обеспечивает открытый доступ, неограниченное распространение, функциональную совместимость и долгосрочное цифровое хранение и архивирование».

Для этого существуют различные системы управления информационными потоками с открытым исходным кодом, позволяющие сделать портал ОД в виде одного окна. Наборы данных должны сопровождаться метаданными с универсальными стандартами Dublin Core, Data Catalog Vocabulary, DataCite100 и Schema.org, а форматы – поддерживать совместимость с интерфейсами прикладного программирования (API) и иметь возможность повторного использования.

ОД должны легко находиться по запросу. Для этого необходимо разработать коммуникативную стратегию, которая может включать анонсирование этого события в сообществах открытых данных и соответствующих каналах социальных сетей, например с помощью определенного хэштега. Помимо информирования следует стимулировать заинтересованных лиц к применению данных для решения конкретных задач и проблем, а также развивать международные партнерства для разработки систем ИИ. В то же время необходимо предотвращать злоупотребление ОД со стороны ненадежных и вредоносных приложений с использованием ИИ. Также рекомендуется вести публичный учет того, какие данные обрабатывались системами ИИ и каким образом.

Настоящие руководящие принципы – своеобразный призыв к действию в соответствии с Рекомендацией ЮНЕСКО об этике искусственного интеллекта. Если государства – члены организации будут следовать изложенной концепции, раскрывать информацию на постоянной основе и создавать для этого соответствующие возможности и культурную среду, то основные постулаты публикации могут стать реальностью.

Авторы призывают сделать данные доступными для поиска, совместимыми и многообразными, а также готовыми к взаимодействию с ИИ, словом, честными, чтобы их мог обрабатывать и анализировать кто угодно на благо общества. ■

Ирина ЕМЕЛЬЯНОВИЧ

По материалам публикации ЮНЕСКО
«Открытые данные для искусственного интеллекта (ИИ)»
https://ipquorum.ru/upload/----4_korr_uid_64c8e0fa411cd-hpqhldfK.pdf.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА БАЗЕ АГРОДРОНА А60-Х

Юрий Леоновец, генеральный директор ЗАО «Авиационные технологии и комплексы» (Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий камень»), кандидат технических наук

Александр Кувшинов, начальник отдела научно-технических проектов ЗАО «Авиационные технологии и комплексы» (Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий камень»)

Александр Жуковский, заместитель директора по научной работе Института защиты растений НАН Беларуси, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Руслан Корпанов, ведущий научный сотрудник Института защиты растений НАН Беларуси, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Ольга Лобач, старший научный сотрудник Института защиты растений НАН Беларуси

Людмила Сорока, ведущий научный сотрудник Института защиты растений НАН Беларуси, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Агропромышленный комплекс и его базовая отрасль – сельское хозяйство являются для нашей страны ведущими системообразующими сферами экономики, формирующими рынок продуктов питания и другой продукции, продовольственную и экономическую безопасность, трудовой и социальный потенциал сельской местности. Ежегодно аграрным сектором создается более 7% валового внутреннего продукта республики и 15,5% общего объема экспорта товаров. Как отмечается в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2030 г. [1], а также в материалах II Съезда ученых Беларуси [2], основной

акцент в сельскохозяйственном производстве на ближайшую пятилетку будет сделан на технологиях точного земледелия.

Их внедрение, по оценкам международных экспертов, обеспечит рост объемов производства сельскохозяйственной продукции при одновременном снижении издержек [3]. В целом система точного земледелия позволит более надежно прогнозировать урожайность с учетом расхода удобрений, средств защиты растений, посевного материала, топлива, затрат труда, а также оптимизировать структуры пахотных и посевных площадей, севооборота. Один из элементов этой концепции – технология применения беспилотных лета-

тельных аппаратов (БЛА), возможности которых включают:

- создание электронных карт полей (аэрофото-съемка) и инвентаризацию сельхозугодий;
- оценку объемов работ и контроль их выполнения;
- ведение оперативного мониторинга состояния посевов, определение нормализованного вегетативного индекса (NDVI);
- внесение средств защиты растений (СЗР) методом ультрамалообъемного опрыскивания (УМО) и др.

В течение 2019–2022 гг. Китайско-белорусским ЗАО «Авиационные технологии и комплексы» (ЗАО «АТК») в хозяйствах Минской, Витеб-

ской и Гродненской областей были проведены работы по апробации применения беспилотных технологий, связанных как с оцифровкой полей и получением трехмерных моделей местности, так и обработкой посевов защитными веществами методом УМО на площади около 10 тыс. га. Начиная с 2021 г. в рамках государственной научно-технической программы «Цифровые технологии и роботизированные комплексы», научно-исследовательского и опытно-конструкторского задания «Разработать и внедрить комплекс на базе беспилотного летательного аппарата для применения средств защиты растений в сельском хозяйстве» создан агродрон А60-Х (рис. 1). Он представляет собой беспилотный летательный аппарат сельскохозяйственного назначения, основные технические характеристики которого представлены в табл. 1.

К особенностям применения А60-Х для внесения СЗР можно отнести следующие: исключение механических повреждений почвы и растений, низкая стоимость гектарной обработки, минимальный контакт оператора с химическими препаратами, возможность работы по сильно увлажненным почвам и в ночное время, обеспечение равномерного нанесения препарата на всю поверхность листьев и стеблей за счет нисходящих потоков от лопастей, возможность обработки культур различной высоты.

В состав комплекта входит БЛА мультироторного типа, аккумуляторная батарея, интеллектуальная зарядная станция с функцией быстрой зарядки, пластиковый бак на 20 л, пульта



Рис. 1. Опытный образец агродрона А60-Х

управления (НСУ), система RTK (борт, НСУ, база) и эксплуатационная документация.

От ближайших конкурентов А60-Х отличается быстрой зарядкой батарей, что позволяет вести работы в непрерывном режиме при наличии всего 2 элементов питания; возможно-

стью комплектации баками объемом 20 или 30 л; складной конструкцией с быстросъемными блокираторами, благодаря чему БЛА компактен при транспортировке и быстро переводится в рабочий режим; наличием форсунок роторного типа, которые обладают более стабильным

Параметр	Значение
Габаритные размеры, мм	
в развернутом виде	2600 x 2600 x 930
в свернутом виде	1300 x 800 x 930
Вес, кг	
максимальный взлетный вес	60
вес пустого	30
Время полета, мин.	
с полным баком	15
с пустым баком	20
Скорость полета, м/с	
рабочая	4–7
максимальная	10
Обрабатываемая площадь, га	
за 1 полет	2–3
за 1 час	6–9
Емкость АКБ, мАч	28 000
Размер капли, мкм	50–250
Объем бака, л	20/30

Таблица 1. Технические характеристики А60-Х

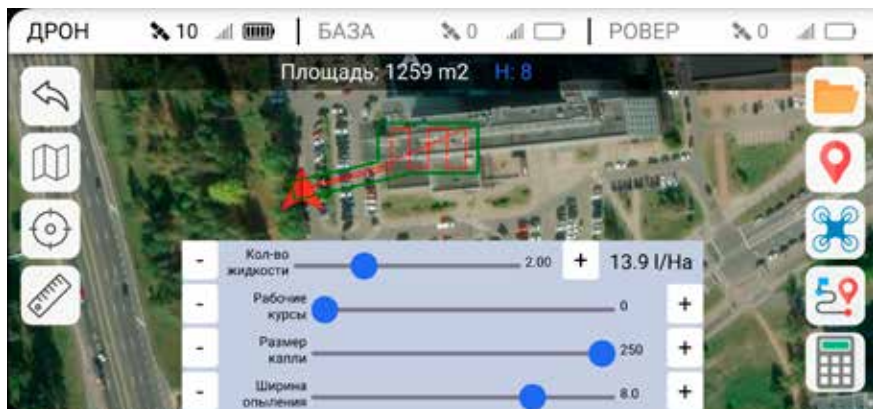


Рис. 2. Программное обеспечение агродрона А60-Х

распылением с близким к оптимальному диапазону размеров капель 50–250 мкм; наличием радиовысотомера, благодаря которому БЛА адаптируется под рельеф местности и в автоматическом режиме выдерживает установленную высоту.

Программное обеспечение собственной разработки (рис. 2) с интуитивно понятным и удобным русскоязычным интерфейсом предусматривает возможность загрузки готовых границ полей в универсальном формате KML и создания полетных заданий прямо на экране пульта управления без использования персонального компьютера; расширенный перечень миссий – изменение работы самого дрона



Рис. 3. Пульт управления агродроном А60-Х

и целевой нагрузки в зависимости от видов растений и формы полей; разделение по культурам: наличие и возможность пополнения базы данных по ним, адаптация параметров полета к результатам обработки информации, автоматическую выдачу рекомендаций. Все параметры работоспособности комплекса, вплоть до проверки каждого его элемента – БЛА, базовой станции RTK и ровера, – отображаются на встроенном экране пульта управления (рис. 3), что позволяет полностью управлять дроном и получать исчерпывающую информацию без необходимости покупки дополнительного смартфона. Наличие джойстиков дает возможность ручного управления, поскольку в программном обеспечении реализованы не только автоматический, но и полуавтоматический, а также ручной режимы полетов. Комплекс способен стабильно работать без наличия сети RTK и Интернета, однако имеется возможность подключения приемника RTK к пульта управления для получения высокоточных границ поля.

Все это позволяет проводить химическую обработку средствами защиты растений с помощью А60-Х с наивысшими

показателями качества и в кратчайшие сроки. Уход за посевами с применением агродронов имеет много преимуществ: высокую скорость обработки, исключение технологической колеи и потерь от повреждения посевов механическими средствами, возможность внесения препаратов в оптимальные сроки и фазы развития растений, работы в условиях переувлажнения почвы ранней весной или поздней осенью и независимо от времени суток. Кроме того, обработка на малых высотах (2–3 м) по сравнению с авиационным внесением обеспечивает более точное попадание раствора на целевые объекты.

В результате проведенных исследований ЗАО «АТК» совместно с Институтом защиты растений НАН Беларуси зафиксированы технологические параметры распределения основных размеров капель, характерных для установленного типа распылителей и технологии УМО с помощью БЛА, по ярусам вегетативной массы подсолнечника при десикации посевов (рис. 4). Отмечается достижение шлейфа распыляемых капель и распределенных турбулентным потоком с помощью винтов БЛА до нижнего яруса листового аппарата подсолнечника.

Существенной разницы между эффективностью внесения глифосатсодержащего гербицида «Торнадо 540», применяемого технологиями малообъемного опрыскивания (МОО), такими как внесение навесным штанговым опрыскивателем «Зубр 600», и УМО (внесение БЛА), Институтом защиты растений не зафиксировано (табл. 2). Вместе с тем показатели вре-



Рис. 4. Распределение средств защиты растений по растительности

мени, затрачиваемого на обработку 1 га, и, соответственно, трудозатрат при использовании БЛА в 3 раза меньше, чем у навесного штангового опрыскивателя «Зубр 600».

Расчет экономической эффективности проведен в соответствии с ТКП 151 [4] для наиболее распространенной структуры посевов, подлежащих химической обработке (для предприятия с площадью пашни 3500 га): озимые зерновые (пшеница, тритикале) – 25% (875 га); яровые зерновые (ячмень, тритикале) – 25% (875 га); кукуруза на зеленую массу – 15% (525 га); озимый рапс – 7% (245 га) [5].

Потенциальный период работы за сезон составляет 45 дней, а годовая загрузка за это время может составить 267 часов. Однако с учетом вынужденных простоев летательного аппарата из-за метеоусловий, поломок и неисправностей загрузка принята на уровне 75% от потенциальной, или 200 часов.

Стоимостная оценка эффективности проведения химических обработок с применением беспилотных технологий выполнена на основании расчета затрат на эксплуатацию полевых опрыскивателей типа «Мекосан-2000-18», «ОП 2000» и самоходного опрыскива-

Вариант	Тип опрыскивателя	Норма расхода рабочего раствора, л/га	Исходная засоренность, шт/м ²	Снижение общей засоренности по отношению к контролю без обработки, %	
				численности	массы
Контроль без обработки, шт/м ² (г/м ²)	–	–	33,0	–	–
«Торнадо 540», ВР –1,8 л/га	Навесной штанговый опрыскиватель «Зубр 600»	100	32,0	74,0	73,2
«Торнадо 540», ВР –5,3 л/га			36,0	96,0	98,4
«Торнадо 540», ВР –1,8 л/га	БЛА (дрон-опрыскиватель)	7,0	28,7	72,0	70,4
«Торнадо 540», ВР –5,3 л/га			29,3	90,0	94,2

Таблица 2. Эффективность гербицида Торнадо 540 ВР, применяемого по стерне озимого тритикале (ОАО «Гастелловское» Минского района)

теля «Туман-1М» на предприятии с 3500 га пашни с аналогичной структурой посевных площадей и представлена в табл. 3.

Однако, если учитывать реальную возможность получения дополнительного дохода от прибавки урожая за счет исключения потерь, связанных с проходом МТА по технологической колее, то общий эффект может быть иным.

Так, согласно информации Национального статисти-

ческого комитета Республики Беларусь, в 2022 г. в средней урожайность зерновых культур составила 34,5 ц/га, рапса – 21,3 ц/га, кукурузы на силос – 246 ц/га; средние закупочные цены на продукцию – 440 руб./т (по пшенице), 1350 руб./т и 150 руб./т соответственно (по данным сельскохозяйственных предприятий). При минимальном увеличении урожайности для предприятия с площадью пашни 3500 га

	Агродрон А60-Х	«Беларус 820» + «Мекосан-2000» (18 м)	«Беларус 820» + «ОП-2000» (12 м)	«Туман-1» (20 м)
Технические характеристики				
Персонал, чел.	1	1	1	1
Производительность, га/ч	8	7,3	5,7	15
Расход топлива, л/га	0,25	0,89	1,14	0,63
Себестоимость работ, руб./га:				
заработная плата	0,95	1,04	1,33	0,50
амортизация	7,31	4,51	4,19	7,26
ТО и ремонты	1,46	2,26	2,09	3,63
Топливо	0,66	2,36	3,02	1,68
Прочие	1,04	1,02	1,06	1,31
Всего затрат	11,42	12,77	13,73	14,38

Таблица 3. Расчет затрат на проведение работ в пересчете на 1 га

Культура	Площадь, га ¹	Урожайность, ц/га ²	Прибавка урожая, ц/га ³	Дополнительный доход, тыс. руб. ⁴
Зерновые	1750	34,5	1,9	146
Кукуруза	525	246	13,6	107
Рапс	245	21,3	1,2	40
Всего				293

¹ Для модельного предприятия с площадью пашни 3500 га

² По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь

³ 5–6% к уровню 2021 г.

⁴ Исходя из закупочных цен на продукцию урожая 2022 г.

Таблица 4. Расчет экономического эффекта от прибавки урожая

на 5% дополнительный доход в расчете на среднестатистическое хозяйство может составить 293 тыс. руб. за сезон (табл. 4).

С целью расширения спектра оказываемых услуг начата реализация совместного проекта с РО «Белагросервис». Заключен договор о выполнении совместных исследовательских и опытно-технологических работ между ЗАО «АТК» и РО «Белагросервис» по практическому внедрению БЛА из состава комплекса защиты растений в интересах сель-



Рис. 5. Мобильный комплекс защиты растений

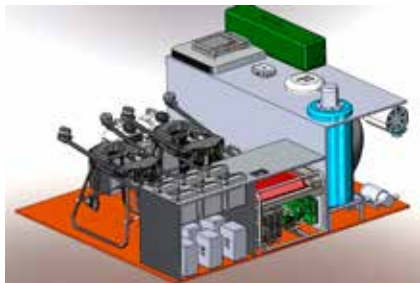


Рис. 6. Компонировка оборудования мобильного комплекса защиты растений

хозпредприятий Республики Беларусь. В рамках этого соглашения создан мобильный комплекс защиты растений на базе автомобильного шасси, оснащенного техническими средствами для приготовления рабочего раствора СЗР, применения и обслуживания дронов (рис. 5). Его внутренняя компоновка представлена на рис. 6.

Комплекс продемонстрирован потенциальным заказчикам во время Международной выставки «БЕЛАГРО-2022» и уже хорошо зарекомендовал себя на практике. Так, с июня по август 2022 г. с помощью данного устройства были выполнены работы по внесению средств защиты растений на полях площадью более 300 га в ОАО «Агрокомбинат Дзержинский». Было установлено, что использование нового оборудования на основе БЛА в сельском хозяйстве позволяет увеличить производительность работ в 1,5–2 раза.

Востребованность агродронов не ограничивается защитой посевов. Они могут быть успешно задействованы и в мероприятиях по обработке природных объектов – водоемов, лесных массивов и т.д.

Таким образом, применение беспилотных технологий при внесении по технологии УМО СЗР, включенных (или находящихся в процессе регистра-

ции) в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, обеспечивает:

- *эффективность, сопоставимую с результатами традиционных технологий (наземным способом);*
- *существенное расширение временного диапазона работ (включая раннюю весну, позднюю осень, ночное время), а также точность попадания на растения за счет автопилотирования;*
- *экономический эффект из-за снижения издержек (затрат) и исключения потерь урожая от механического повреждения (вытаптывания);*
- *минимизацию рисков воздействия средств защиты растений на человека (нет необходимости в его присутствии в зоне возможного распыления химических веществ).*

Новые технологии не обходят стороной и самую консервативную отрасль – сельское хозяйство. В скором времени оно станет крупнейшим потребителем БЛА, значительно увеличивая производительность труда на фоне снижения издержек производства. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // https://www.economy.gov.by/ru/dejst_prognoz_dok-ru/.
2. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» // https://www.gknt.gov.by/news/aktualno/strategiya_nauka_i_tekhnologii_2018_2040/.
3. Зальцман В.А. Влияние цифровых технологий на развитие АПК России // <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/vlijanie-cifrovyh-tehnologii-na-razvitie.html>.
4. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей: ТКП 151–2008. – Введ. 01.02.09. – Минск, 2009.
5. А. Полухин. Малая авиация в сельском хозяйстве: дорого, но выгодно // Аграрное обозрение. 2011. №1. С. 20–23.



ПО ДОРОГАМ КЛИО И АСКЛЕПИЯ

КАК МОЛОДОЙ УЧЕНЫЙ
АЛЕКСЕЙ КАПЛИЕВ
НАШЕЛ СВОЙ ГЛАВНЫЙ
НАУЧНЫЙ ПЕРЕКРЕСТОК
– ИСТОРИИ И МЕДИЦИНЫ

«Для того, кто не умеет сберечь прошлое, настоящее длится недолго», – говорит народная мудрость Средиземноморья. И действительно, без «дел давно минувших дней» бывает трудно объяснить текущие события и уж совсем невозможно попытаться предугадать будущее: многие ответы на сегодняшние вопросы таятся в глубине времен, мы все живем словно в отголосках их эха.

Это хорошо знают удивительные люди, которые по роду своей деятельности общаются с историей без посредников.

С аккуратностью хирурга они перебирают редкие архивные документы, со скрупулезностью терапевта извлекают из них по крупицам

Алексей Каплиев – ведущий научный сотрудник отдела новейшей истории Беларуси Института истории НАН Беларуси, кандидат исторических наук, доцент. Родился в 1991 г. в Минске. С отличием окончил исторический факультет Гомельского государственного университета им. Франциска Скорины (2014 г.) и его магистратуру (2015 г.), аспирантуру Института истории НАН Беларуси по специальности «отечественная история» (2018). Опыт работы помимо Национальной академии наук (с ноября 2018 г.) связан с музеем Гомельского дворцово-паркового ансамбля и Государственным архивом Минской области. Сфера научных интересов затрагивает различные аспекты развития здравоохранения на территории Беларуси с конца XIX в. в контексте становления белорусской государственности.

Трижды был отмечен дипломами за лучшие научные достижения среди молодых ученых Института истории НАН Беларуси (2018–2020 гг.). По результатам конкурсного отбора 2019 г. включен в банк данных «100 талантов Национальной академии наук Беларуси». Лауреат премии НАН Беларуси для молодых ученых им. академика В.М. Игнатовского за 2022 г.

истину, позволяя нам убедиться в том, что прошлое не исчезает бесследно – словно закон сохранения энергии распространяется на неизмеримое.

К нашему сегодняшнему герою все это относится «в квадрате». Объект его изучения – аспект прошлого, о котором и в настоящем-то мы не часто задумываемся.

На медицину и все связанное с ней каждый смотрит по-своему: глазами пациента или врача, медсестры, создателя медтехнологий, чиновника, перерезающего ленточку на открытии больницы, а может быть, водителя, пропускающего вперед машину «скорой». И вряд ли в этот момент мы вспоминаем ее историю.

Но встречаются люди, способные увидеть этот мир целостно, рассмотреть одну область науки через призму другой и связать воедино два образа, потому что к этому их привела сама судьба.

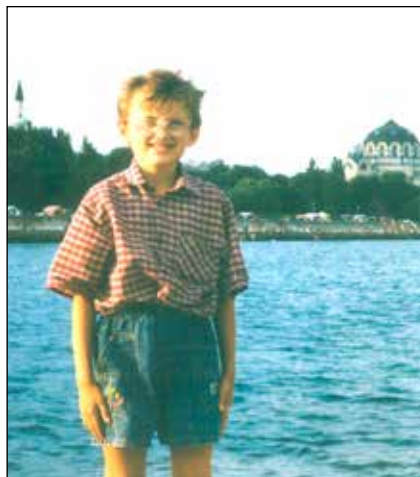
Прикоснувшись к мудрости столетий

Атмосфера уважения к знаниям сопровождала нашего героя с самого прихода в этот мир. Так и хочется сказать, что интерес к истории, как и науке в целом, родился вместе с ним самим – но не будем предвосхищать события.

И тем не менее: когда Алексей Каплиев родился в Минске в семье врачей, исследовательская атмосфера уже царил в ней. «Мое детство пришлось на начало 1990-х годов, когда мои родители учились в аспирантуре и занимались научной деятельностью», – вспоминает он.

И тут вмешались... сама судьба и древнегреческая история. Хотя, конечно, это заслуга бабушки и дедушки, давно мечтавших заниматься воспитанием долгожданного внука (прежде в семье рождались только девочки). Жило старшее поколение семьи в уютном курортном городе, куда многие родители привозят малышей набраться сил. «Уже спустя полгода после рождения мама перевезла меня в Евпаторию на берегу Черного моря, где я прожил до 6 лет», – рассказывает о детстве Алексей.

Ранние годы в Крыму оказали огромное влияние на его становление как личности и мировосприятие. Взрослея, все отчетливее чувствовал и понимал: каждый камень на этих извилистых тротуарах, каждый изгиб на причудливых узорах фасадов хранит в себе дух тысячелетий, дышит античностью.



Древняя Евпатория – город детства будущего историка. Лето 1997 г.

– Евпатория стоит на месте греческой колонии Керкинитиды; таким образом, история города насчитывает более 2,5 тысяч лет, – отмечает Алексей. – Вероятно, именно детские прогулки по старым узким улочкам древних кварталов пробудили во мне любовь к старине, легендам и историям. Уже в детстве я познакомился с разными культурами и верованиями: напротив православного собора святого Николая, где меня крестили, стояла мечеть Хан Джамии XVI века, где венчали на царство крымских ханов, а невдалеке располагались Текие дервишей (мусульманский монастырь) и молитвенный дом караимов – кенасы.

Наблюдая за мирным соседством разных культур, Алексей восхищался мудростью и деликатностью их представителей:

– Колокольный звон христианской церкви никогда не прерывал пение муэдзина на вершине минарета – и наоборот, поэтому традиция взаимоуважения народов и конфессий стала значимой частью моего мировоззрения.

Через несколько лет появится возможность постепенно оценить, что именно эта черта особенно близка ему и в белорусском менталитете. Минчанин по рождению и крымчанин по раннему детству, порог школы Алексей переступил в Гомеле – городе, где после защиты диссертации преподавала в медицинском университете его мама.

Очарование историей продолжилось в школьные годы: она стала для Алексея любимой учебной дисциплиной.

– Моя учительница истории, Людмила Ивановна Гасакова, влюбила в свой предмет. Она и сегодня остается для меня образцом верности профессии и учительского мастерства, – делится воспоминаниями молодой ученый. – История давалась легко и очень нравилась, и с 5 класса я стал участвовать в школьных олимпиадах по этому предмету. Благодаря маме у меня было много книг по истории разных стран и народов.

К 10 классу стало понятно, что следующий этап – участие в областном и республиканском этапах олимпиады. Испытание было нелегким, и для подготовки к нему даже организовывались курсы с участием преподавателей Гомельского государственного университета. И это оказалось судьбоносным.

– Два года я посещал их лекции в рамках подготовки к олимпиадам и понял, что мне нравятся в преподавателях гомельского истфака: не только глубокие знания и по-настоящему оте-

ческое отношение, но и грамотный подход к нам, еще детям, которым нужно было в доступной форме дать сведения, намного превышающие обычную школьную и даже порой университетскую программу. Во многом именно их подготовка в 11 классе помогла стать победителем Республиканской олимпиады по истории, что давало право поступления без экзаменов в любой вуз страны, но впечатление от «олимпиадных курсов» предопределило мой выбор поступать на истфак именно в ГГУ им. Франциска Скорины.

После успешного окончания университета и магистратуры начался аспирантский путь Алексея Каплиева, а затем работа в академическом институте.

«Белые пятна» истории белых халатов

В аспирантуре будущий ученый активно занялся подготовкой кандидатской диссертации на тему «Служба скорой медицинской помощи на территории Беларуси (1919–1939 гг.)», которую в 2018 г. успешно защитил. История медицины и здравоохранения заинтересовала его в студенческие годы. Интересно, что произошло это не под влиянием родителей, хотя, безусловно, косвенно, как общий фон, оно и присутствовало. Но наш герой – из тех, кто стремится к самостоятельности и поиску себя. Посещая в дневное время лекции на истфаке, по ночам и выходным он трудился санитаром выездной бригады скорой медицинской помощи.

Именно тогда будущий ученый приобрел бесценный опыт, взглянув на мир с другого ракурса. Но все-таки взгляд и чутье настоящего историка оставались при нем: начав с подработки и втянувшись в процесс, он *«понял, какая сложная и важная работа выполняется скорой помощью и насколько много нюансов ее деятельности обыватели просто не замечают»*.

– *Через некоторое время, усвоив основные моменты работы современной скорой помощи, я начал интересоваться у коллег, как функционировала служба раньше, сколько вызовов принималось, однако даже «ветераны» моей подстанции, отдавшие «скорой» 3–4 десятка лет жизни, не могли поведать мне о нюансах работы в довоенный период и ранее, что подвигло меня начать изучение литературы по данной теме. Оказалось, что исследований по истории зарождения скорой медицинской помощи в Беларуси не было.*



Зима 2012 г. Работа на подстанции «скорой» в Гомеле вдохновила Алексея на создание диссертации по истории становления этой службы в Беларуси

Научный интерес привел Алексея к изучению архивных документов. Постепенно это превращалось в значимую часть научной работы на старших курсах университета.

– *В результате перед распределением и увольнением со ставшей мне почти родной подстанции скорой помощи коллеги на прощание взяли с меня обязательство написать научную работу по истории этой службы, что впоследствии и стало темой моей кандидатской диссертации,* – отмечает ученый.

После ее защиты Алексей решил продолжить «медицинскую» тематику в расширенном варианте. Сейчас его работа касается сравнения систем здравоохранения и организации медпомощи в БССР и Западной Беларуси в межвоенный период.

При этом ответ на вопрос, который рано или поздно задает себе каждый исследователь, – «Какую пользу принесет моя работа людям?» – не всегда лежит на поверхности.

– *Здесь определенно и точно ответить сложно,* – подтверждает Алексей. – *Мне всегда нравилась цитата историка и эссеиста Фридриха фон Шлегеля: «Историк – это пророк, обращенный в прошлое». То есть в нашей профессии человек посвящает жизнь проблемам реконструкции прошедшего, неизвестного ему времени, которое, как и будущее, в равной степени от него отдалено. В наследство от этого прошлого остался лишь комплекс источников, и по этим крупным фрагментам необходимо восстанавливать утерянное.*

Однако эта кропотливая работа в итоге способна привести к эффекту двойного действия, один из которых обусловлен человеческой любознательностью, а другой – способностью людей учиться на ошибках в широком философском смысле:

– Верю, что кроме очевидной задачи открытия ранее не известных или плохо изученных деталей прошлого обобщение исторического опыта развития здравоохранения принесет и пользу современникам, поможет избежать ошибок, почерпнуть идеи из ответов на вызовы прежних периодов: ведь «история повторяется, потому что мы не способны усвоить ее уроков».

Тем не менее уже можно говорить и о конкретном практическом использовании результатов исследований Алексея Александровича. Они внедрены в работу учреждений культуры, здравоохранения, высшего образования, задействованы при подготовке научно-просветительных передач на национальном телевидении.

Ощущение сопричастности

На выбор сыном профессии вольно или невольно повлияла мама Алексея – ученый и преподаватель медицинского университета. Это произошло совершенно естественно: ребенок рос и воспитывался в научной атмосфере.

– Из детства я вспоминаю, как тяжело, но интересно проходили мамини научные исследования, как готовились доклады для конференций и лекции для студентов, – Алексей погружается в атмосферу школьных лет. – Частично в этом процессе участвовал и я: в детстве, еще до «эпохи компьютеров», мне особенно нравилась старая советская печатная машинка на работе у мамы, на которой она мне иногда позволяла печатать, чтобы «не путался под ногами». Позднее я уже помогал набирать презентации к маминим лекциям для студентов и докладам на конференциях в ранних версиях PowerPoint. Постепенно из разряда «повинности» это переросло в привычку и даже начало приносить некое удовлетворение от полученного результата. Вероятно, эти юношеские впечатления от сопричастности к научному процессу и положили начало стремлению заниматься наукой на профессиональной основе.

Свой первый шаг в профессию ученого как конкретный момент ему сегодня вспомнить сложно. Возможно, это были первые, весьма «робкие» научные работы в школьные годы,

когда способный ученик участвовал в районных конкурсах научно-исследовательских проектов учащихся. *«Опыт был очень познавательный: я увидел, как ведется дискуссия, как необходимо формулировать вопросы, очень важно в эти годы было усвоить культуру поведения на конференциях, соблюдать регламент, как с уважением, но вместе с тем квалифицированно вести спор с оппонентом».* Во время учебы в вузе о том, что неплохо бы вернуться к научной работе, напоминала мама. На первых курсах университета даже заставить могла, говорит Алексей: не хотела, чтобы сын ленился, слишком поддаваясь «романтике студенческой жизни». Она же стала и первым редактором и критиком его статей и тезисов.

– Я очень благодарен ей за помощь, терпение и выдержку на этом этапе зарождения моей научной деятельности, – признается Алексей, добавляя, что *«уже на старших курсах пришло понимание, насколько научная работа важна для саморазвития, получения дополнительных знаний сверх программы, становления как специалиста».* Именно в это время он осознал, что хотел бы попробовать себя в науке.

Удивительно, но со своими будущими преподавателями и научными руководителями Алексей познакомился еще до университета – в старших классах школы, на курсах подготовки к этапам республиканской олимпиады.

– В студенческие годы моим первым научным руководителем стал Валентин Алексеевич Михедейко – прекрасный специалист и талантливый преподаватель. Вспоминается, как он «передавал» мне, мало понимающему его слова первокурснику, премудрости применения «гегелевской триады» в научных исследованиях, – вспоминает Алексей. – Валентин Алексеевич настаивал на тщательной проверке фактов, аккуратности и осторожности при формулировании выводов и обобщений, в шутку сравнивая в этом отношении работу историка с профессией сапера.

Как один из поворотных моментов вспоминается Алексею и учеба на младших курсах у завкафедрой Оксаны Григорьевны Яценко – «грамотного организатора и опытного педагога, авторитетного специалиста по этнологии и этнографии Беларуси»:

– Именно Оксана Григорьевна, поставив мне на своем экзамене на первом курсе балл немного ниже, чем я рассчитывал, откровенно рассказала, почему я получил такую оценку и обрисовала направления, в которых мне следует развиваться.

Тогда, юным студентом, я не вполне оценил эти слова, но впоследствии с глубокой благодарностью не раз вспоминал ее напутствия, и спустя 3 года, когда получил высший балл на ее экзамене по истории культуры Беларуси, было особенно отрадно услышать похвалу за прогресс. Также Оксана Григорьевна научила вниманию к деталям оформления библиографии и научно-справочного аппарата, без выверения которых лично ею ни одна курсовая не допускалась до защиты.

На старших курсах научным руководителем Алексея стал Станислав Александрович Черепко, «умевший легко и непринужденно объяснить даже очень тяжелые для усвоения вопросы, в чем ему помогало отличное чувство юмора». Большое влияние на него оказал и авторитет декана факультета – Николая Николаевича Мезги: признается, что его лекции по истории английской и французской революций на олимпиадных курсах больше всего полюбили.

– Вспоминаю, как Николай Николаевич перед одним из экзаменов в шутку сказал мне «рецепт» успешной сдачи экзамена: «Алексей, главное в процессе ответов на вопросы билета не убедить экзаменатора, что вы знаете больше него». Кроме ценных советов и уроков в науке их личный пример показал мне одну из главных, на первый взгляд простых, но на практике труднодостижимых истин – важно в любой ситуации оставаться порядочным человеком.

По словам Алексея Каплиева, после окончания магистратуры ему «посчастливилось поступить в аспирантуру Института истории НАН Беларуси, где под научным руководством Вячеслава Викторовича Даниловича подготовил и защитил кандидатскую диссертацию». Обучение было особенно интересно тем, что «некоторые вещи приходилось узнавать буквально заново, многое из профессионального инструментария – улучшать и шлифовать, чтобы соответствовать академическому уровню».

– Я с большой благодарностью вспоминаю его наставления, советы, не только в науке, но и по жизни в целом, и самое главное, ту открытость, внимание и безотказность, с которой мой наставник всегда принимал меня, несмотря на большую занятость на руководящей работе, – делится Алексей, добавляя, что «многие свои позитивные качества Вячеслав Викторович приобрел в процессе обучения у своего научного руководителя – академика Александра Александровича Ковалени», в чем он лично

убеждается сейчас, работая над докторской диссертацией под его научным руководством:

– Александр Александрович отличается прямой и открытостью, а также редким для высоких руководителей отсутствием «отрыва от земли», никогда не отказывая в совете или приеме, даже в самые непростые дни работы в Президиуме НАН.

Тернии, звезды и пыль времен

Быть ученым нелегко, но всегда найдутся те, кто вдохновит на новые поиски. Это не только напутствия старшего поколения. Есть еще примеры титанов. Опять же из прошлого, о котором мы сегодня так много говорим.

– Меня всегда восхищали и вдохновляли истории преодоления препятствий и сложностей, несмотря на все обстоятельства, примеры волевого разрешения с первого взгляда нерешаемых проблем и задач, стойкости перед лицом опасности. Таких примеров в науке множество. Скажем, позднеантичный философ Боэций, написавший свой наиболее известный труд «Утешение философией» в тюремной камере, ожидая смертной казни. Образцом верности и самоотверженного служения науке для меня является выдающийся физик и пионер радиологии Мария Склодовская-Кюри. Всегда сложно быть первым в любой области науки, а Марии Кюри было сложно вдвойне, ибо на рубеже XIX–XX вв. женщина в науке не являлась таким же, в хорошем смысле, привычным явлением, как сегодня. Она много лет с большим риском для здоровья проводила свои революционные опыты в области изучения радиоактивности, без ее открытий невозможно представить современную физику, химию, энергетику.

Алексея восхищает и гражданское мужество выдающейся исследовательницы: в годы Первой мировой войны Мария Кюри, «также рискуя жизнью, работала в передвижной рентгеновской лаборатории, помогая раненым и травмированным людям».

На фоне таких тяжелых испытаний трудности в работе сегодня выглядят мелкими. И тем не менее это «тема обширная, и, наверное, не самая популярная». Ему сразу приходят на ум недавние сложности периода пандемии коронавируса: большинство архивов если не закрылись, то перешли на серьезные ограничения в работе. «Вспоминается, как работал в то время в Государственном архиве Российской Федерации: из-за мер дистанцирования в читальный зал запускали лишь



На церемонии вручения премии НАН Беларуси им. В.М. Игнатовского. Декабрь 2022 г.

по 24 человека в порядке живой очереди, никакой записи заранее и преимуществ для иногородних и иностранцев. Из-за большого числа желающих нужно было прийти и стать в очередь в читальный зал за 1,5–2 часа до его открытия, и даже это не было гарантией доступа. Особенно обидно было оказаться 25-м и ждать несколько часов, пока кто-то закончит работу и освободит место».

Когда на пожелтевших страницах старинных документов выцветают очертания букв, когда твои логика, воображение и интуиция часами работают над тем, чтобы догадаться о содержании текста неразборчивой рукописи («особенно на резолюциях», уточняет Алексей), когда буквально дышишь вековой пылью, увлекаясь, можно даже порезаться листом или уколоться поржавевшей от времени иглой, которые в 1920–1930-х гг. использовали для соединения документов вместо скрепок, однако не всегда это воспринимается как трудности – просто особенности профессии.

При этом, по словам Алексея, в работе есть и множество позитивных моментов:

– *Это поддержка нашего Института и Академии наук в целом, которая периодически помогает в командировании для работы в зарубежных архивах, и то, что многие белорусские региональные архивы идут навстречу в связи с моей «академической» аффилиацией. За это, пользуясь слу-*

чаем, хочу выразить искреннюю благодарность. Национальная академия наук Беларуси также участвует во многих совместных проектах с зарубежными коллегами, организует международные летние школы историков, участие в которых способствует научному общению и обмену опытом.

Творческая свобода, возможность прикоснуться к истории в буквальном смысле, волнение и радость от новых открытий – то, что особенно нравится Алексею в его работе. Думается, что качества, которые он считает главными для исследователя, – креативность, честность, трудолюбие и терпение – ему и самому не занимать. Иначе как доводить до конца столь кропотливый труд? Не каждый сможет.

История будущего уже началась

Заглянуть за горизонт науки – крайне сложно. Ведь многие области знаний за десятки лет могут измениться до невообразимости. И все-таки всегда интересно узнать, как это видят умнейшие люди нашего времени – ученые. Наш герой, например, уверен: помочь исследователям будущего можно уже сегодня. И в этом он встречает понимание:

– *Одним из значимых достижений стала бы оцифровка национального архивного фонда, полного комплекса музейных предметов и фондов старопечатных и редких книг, массива периодической печати с обеспечением открытого доступа к ним. В этой работе подвижки уже сделаны усилиями Национальной библиотеки Беларуси и Президентской библиотеки Республики Беларусь.*

Что касается отдаленной перспективы, Алексей обращает внимание на развитие искусственного интеллекта, нейросетей:

– *Вероятно, историков заменит искусственный интеллект, и останутся лишь немногочисленные контролеры из числа людей, задающие базовые параметры исследований. Хотя, – тут же добавляет ученый, – не хотелось бы, чтобы до этого дошло.*

И с этим мы солидарны.

Даже зная в деталях историю человечества – и особенно то, как мир менялся тысячи раз, – всем нам хочется верить в Человека и лучшее в нем. ■

Татьяна ЖДАНОВИЧ

Оценка транскрипционной активности генов-циклинов в тканях желудка у пациентов, инфицированных *Helicobacter pylori*

УДК 577.214/.215:616.33.018.1:[616.98:579.835.12]-052

Евгений Воропаев,
проректор по научной работе Гомельского государственного медицинского университета (ГОМГМУ), кандидат медицинских наук, доцент;
voropaev.evgenii@gmail.com

Ольга Осипкина,
заведующий научно-исследовательской лабораторией ГОМГМУ;
olga.osipkina@mail.ru

Алла Воропаева,
врач клинической лабораторной диагностики РНПЦ радиационной медицины и экологии человека, кандидат биологических наук, доцент;
allo4ka3665@mail.ru

Сергей Ачинович,
заведующий патологоанатомическим отделением Гомельского областного клинического онкологического диспансера, кандидат медицинских наук, доцент;
ser.achinowitch2017@yandex.ru

Helicobacter pylori – модельный организм для понимания взаимодействия в патосистеме «человек – бактерия» и инфекционно-опосредованного канцерогенеза. База данных по онкозаболеваниям GLOBOCAN Международного агентства по изучению рака и ВОЗ показывает, что рак желудка занимает 5-ю позицию среди наиболее распространенных новообразований и 3-ю среди причин смерти от онкопатологии в мире [1]. Заболевания этого органа и смертность от рака различаются по регионам и в значительной степени зависят от диеты и инфекции, вызываемой *Helicobacter pylori*. Однако злокачественная опухоль

Аннотация. В статье представлены результаты исследования у пациентов с диагнозом «злокачественное новообразование желудка» на фоне подтвержденной инфекции *Helicobacter pylori* особенностей транскрипционной активности генов-циклинов в образцах тканей желудка. Исходя из полученных данных предложен молекулярно-генетический метод оценки их патофизиологического состояния на основе комплексного анализа уровня экспрессии генов-циклинов.

Ключевые слова: гены-циклины, транскрипционная активность, злокачественное новообразование желудка, *Helicobacter pylori*, ПЦР в реальном времени, лабораторная диагностика.

Для цитирования: Воропаев Е., Осипкина О., Воропаева А., Ачинович С. Оценка транскрипционной активности генов-циклинов в тканях желудка у пациентов, инфицированных *Helicobacter pylori* // Наука и инновации. 2023. № 11. С. 79–83.
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-79-83>

развивается лишь у очень небольшой части инфицированных этой бактерией, в среднем от 1 до 3% [2]. Лучшее понимание этиологии и факторов риска заболевания может помочь прийти к консенсусу в отношении лечения данной инфекции [3]. Особенности патологических процессов, происходящих в различных тканях и системах организма, можно изучить путем оценки данных об уровне активности генов (экспрессии) [4].

За регуляцию процессов клеточного цикла отвечают белки-циклины, представленные 15 семействами полипептидов (циклин А – циклин Y), при этом основную

роль в регуляции клеточного цикла играют циклины A, B, C, D, E и H, кодируемые одноименными генами, что делает обоснованным изучение генов-циклинов при онкологических заболеваниях и различных предраковых состояниях [5]. Так, например, циклины семейств D и E экспрессируются при переходе клетки от состояния покоя к делению и регулируют переход от фазы G1 к фазе S клеточного цикла, а гиперэкспрессия циклина D1 наблюдалась в процессе канцерогенеза [6].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что одна из ключевых ролей в регуляции пролиферации клеток на всех фазах клеточного цикла принадлежит циклинам.

Цель данной работы – изучение особенностей их транскрипционной активности в образцах тканей желудка у пациентов с злокачественным новообразованием этого органа на фоне подтвержденной инфекции *Helicobacter pylori*.

Материалы и методы

В исследовании были задействованы 26 пациентов с диагнозом «злокачественное новообразование желудка» (С16 – С16.9), проходивших лечение в Гомельском областном клиническом онкологиче-

ском диспансере, без разделения по полу и возрасту. У всех было получено информированное письменное согласие на участие. Лабораторные исследования проводились на базе научно-исследовательской лаборатории Гомельского государственного медицинского университета. Для них был использован биопсийный материал желудка, полученный при выполнении плановых оперативных вмешательств (биоптаты объемом до 5мм³ из участка с патологически измененными (Р) и не измененными (N) тканями для каждого пациента). Молекулярно-генетическая диагностика наличия инфекции *Helicobacter pylori* осуществлялась на основе методики, описанной в работе [7]. Для проведения ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) применялись праймеры, синтезированные компанией «Праймтех», Беларусь [8]. ПЦР-РВ выполняли при помощи термоциклера Rotor Gene 3000. Кроме имеющихся образцов для качественного контроля ПЦР-РВ в ходе каждой реакции были задействованы дополнительные «отрицательная» и «положительная» пробы. Нормализацию получаемых первичных данных проводили с применением транскрипта гена АСТВ (белка β-актина). Интерпретировали и обрабатывали данные при помощи программных пакетов Statistica 12.0 (StatSoft, США), Excel (Microsoft, США).

Ген	A1		A2		B1		B2	
	Ст	Экспр.	Ст	Экспр.	Ст	Экспр.	Ст	Экспр.
2020бжN	35,55	17,66	29,34	11,45	28,87	10,98	28,92	11,03
2020бжР	33,02	16,36	24,05	7,39	23,46	6,8	24,48	7,82
2020бжN	35,53	17,93	28,23	10,63	28,25	10,65	28,07	10,47
2020бжР	34,49	18,73	30,33	14,57	28,61	12,85	29,32	13,56
2022бжN	34,75	17,57	30,41	13,23	29,7	12,52	29,93	12,75
2022бжР	33,65	16,41	28,34	11,1	27,41	10,17	28,01	10,77
2022бжN	34,6	18,03	30,41	13,84	29,23	12,66	30,35	13,78
2022бжР	35,52	18,61	30,52	13,61	29,96	13,05	30,68	13,77
2017бжN	36,36	17,93	28,63	10,2	27,36	8,93	27,77	9,34
2017бжР	34,46	16,65	27,66	9,85	26,38	8,57	27,53	9,72
2017бжN	34,21	16,75	25,77	8,31	25,04	7,58	25,86	8,4
2017бжР	33,49	16,46	26,11	9,08	25,15	8,12	25,68	8,65
2019бжN	36,51	19,01	27,6	10,1	27,09	9,59	27,3	9,8
2019бжР	32,95	16,22	30,61	13,88	29,41	12,68	30,5	13,77
2019бжN	34,54	16,91	30,07	12,44	29,36	11,73	30,33	12,7
2019бжР	36,88	19,17	29,04	11,33	28,52	10,81	29,19	11,48
норм.Кднк	34,98	15,44	25,97	6,43	27,38	7,84	25,44	5,9

Таблица 1. Значения Ct и нормализованной экспрессии для генов-циклинов A1, A2, B1, B2 (фрагмент базы данных)

Результаты и их обсуждение

Проведенная количественная оценка содержания мРНК генов-циклинов в транскриптах биоптатов желудка показала, что для большинства маркеров уровень транскрипции не имел прямой взаимосвязи с патофизиологическим состоянием ткани.

Данные, представленные в *табл. 1* свидетельствуют о том, что в ходе анализа транскриптов гена A1 образец опухоли характеризуется сходным уровнем экспрессии с биоптатом без признаков патологии ($Me_n=16,83$; $Me_p=16,35$, $p=0,826$), по сравнению с близлежащей здоровой тканью. В то же время выявляемые особенности могут быть объяснены относительно низкой активностью данного маркера и, соответственно, незначительным содержанием мРНК в биоптатах. Аналогичные данные были получены при анализе транскриптов генов-циклинов A2, B1 и B2.

Изучение активности гена-циклина C показало, что данный маркер входит в группу высокоэкспрессируемых локусов – абсолютные значения Ct для большинства образцов находились в пределах 26–28 циклов. Для доминирующего числа пар сравнения «патология – норма» уровень активности различался

в среднем не более, чем в 2–3 раза, и не имел выраженной зависимости от их патофизиологического статуса. Аналогичные данные получены при изучении гена-циклина E1.

Наиболее значимые особенности характера экспрессии были получены для гена-циклина D1, уровень которой при сравнении пар «патология – норма» всегда различался в 4 и более раз, при этом в тканях без признаков онкологических изменений активность данного локуса, как правило, была снижена по сравнению с опухолевыми тканями (*табл. 2*). При изучении уровней транскрипции генов-циклинов D2 и D3 таких явных различий, при их определенной диагностической значимости, выявлено не было.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что каждый из маркеров не является универсальным признаком, отражающим патофизиологическое состояние тканей. На наш взгляд, это обусловлено наличием индивидуальных и гистологических особенностей, а также, вероятно, и различием в типах новообразований. Тем не менее в большинстве случаев наблюдались изменения активности генов, что является отражением протекающих клеточных процессов в изученных тканях. При этом различные

Ген	C		D1		D2		D3	
	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.
Образец	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.
Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	Ct	Экспр.	11,03
2020бжN	26,87	8,98	28,46	10,57	27,78	9,89	28,05	10,16
2020бжP	24,21	7,55	23,73	7,07	27,96	11,3	25,94	9,28
2020бжN	26,22	8,62	28,03	10,43	27,08	9,48	27,35	9,75
2020бжP	25,83	10,07	29,36	13,6	29,4	13,64	29,28	13,52
2022бжN	27,18	10	26,59	9,41	29,12	11,94	29,88	12,7
2022бжP	26,62	9,38	29,13	11,89	29,24	12	30,94	13,7
2022бжN	26,61	10,04	26,28	9,71	28,33	11,76	29,47	12,9
2022бжP	26,97	10,06	27,78	10,87	30,48	13,57	30,77	13,86
2017бжN	26,68	8,25	36,9	0	29,29	10,86	28,57	10,14
2017бжP	26,33	8,52	36,9	0	26,81	9	28,16	10,35
2017бжN	25,36	7,9	36,9	0	27,51	10,05	26,77	9,31
2017бжP	25,08	8,05	36,9	0	28,57	11,54	27,29	10,26
2019бжN	25,77	8,27	27,02	9,52	27,25	9,75	27,08	9,58
2019бжP	25,22	8,49	25,82	9,09	31,67	14,94	30,46	13,73
2019бжN	25,82	8,19	24,85	7,22	32,18	14,55	29,38	11,75
2019бжP	26,78	9,07	28,29	10,58	29,33	11,62	29	11,29
норм.Кднк	26,99	7,45	36,9	0	35,05	15,51	26,35	6,81

Таблица 2. Значения Ct и нормализованной экспрессии для генов-циклинов C, D1, D2, D3 (фрагмент базы данных)

физиологические изменения характеризуются дифференциальной активностью не отдельных генов, а их комплекса, поэтому они обусловлены согласующимся статусом транскрипции различных локусов.

Исходя из этого положения, на следующем этапе исследований была проведена оценка профиля экспрессии изученных генов-циклинов как единой системы, отображающей физиологический статус исследуемой ткани. Для этого каждый образец был описан в виде нормализованных значений экспрессии набора локусов. На предварительном этапе были отобраны наборы генов для их сравнительного анализа: A1, A2, B1, B2, C, D1, D2 и D3. Выбор связан с выявленным, по нашим и литературным данным [5], изменением уровня экспрессии перечисленных локусов в опухолевых тканях.

Для графического отображения результатов кластеризации на основании метода UPGMA была построена дендрограмма, иллюстрирующая уровень отличий по уровню экспрессии генов-циклинов в исследуемых образцах (рис. 1).

На рисунке изображены типы ткани, каждый из которых характеризуется уникальным мультигеновым профилем и может использоваться для диагностики онкогенного процесса. На следующем этапе анализа были изучены пары генов, характеризующиеся согласованным изменением активности. Для этого были рассчитаны коэффициенты евклидовой дистанции между патологически измененными и неизменными тканями из имеющегося клинического материала (табл. 3).

Серой заливкой в таблице отмечены пары генов, имеющие разнонаправленный характер экспрессии, у остальных он согласованный. Таким образом, данные табл. 3 подтверждают, что различные этапы

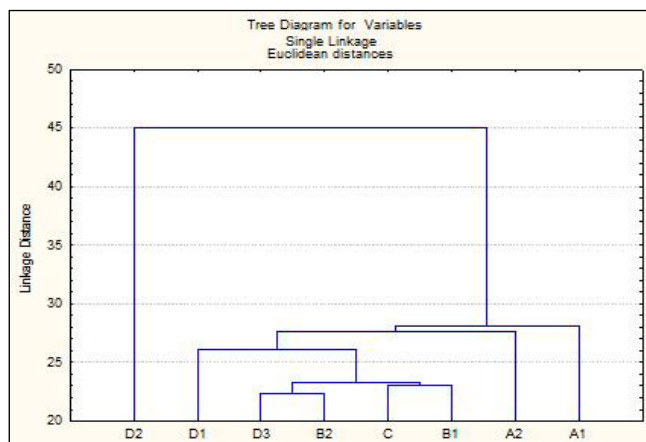


Рис. 1. Уровень экспрессии генов-циклинов в образцах с патологически измененными (слева) и не измененными (справа) тканями желудка

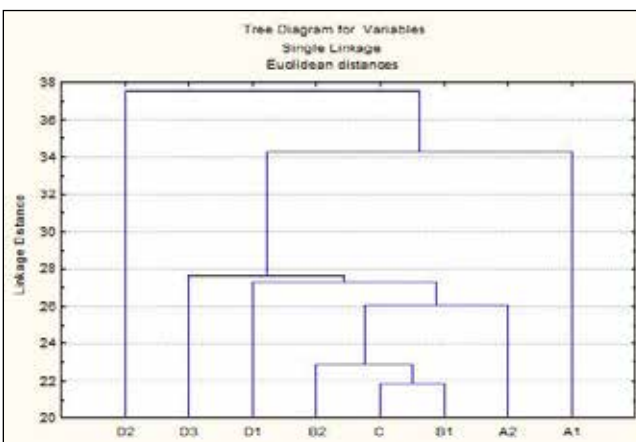


Рис. 2. Интерпретация уровней экспрессии генов-циклинов в зависимости от степени выраженности патологических процессов [8]

клеточного цикла имеют строгую приуроченность к физиологическому статусу клетки.

Полученные результаты для образцов патологической ткани желудка подтверждают специфичность дифференциальной активности генов в патологических и нормальных тканях. В то же время отсутствие абсолютной корреляции, по всей видимости, связано с физиологически различающимися типами опухолей в клиническом материале.

В целом из представленных данных следует, что корреляционные связи между экспрессией генов носят разнонаправленный характер, что может говорить о неполном разделении опухолевой и нормальной ткани с помощью морфологических методов диагностики. Предположительно, небольшое количество нормальных клеток может присутствовать в патологических образцах, и наоборот, патологические могут находиться в нормальной ткани и отражаться на результатах молекулярной диагностики. Тем не менее анализ показывает, что активность генов-циклинов может применяться в качестве дополнительного диагностического маркера протекания патологических процессов. В связи с этим нами предложен метод диагностики онкологиче-



Гены-циклины	A1		A2		B1		B2		C		D1		D2	
	норм.	пат.	норм.	пат.	норм.	пат.	норм.	пат.	норм.	пат.	норм.	пат.	норм.	пат.
A2	28,1	36,8												
B1	40,5	42,4	27,7	28,0										
B2	39,2	48,9	30,7	26,1	23,2	22,8								
C	43,2	47,3	33,5	29,4	23,0	21,9	23,6	25,9						
D1	47,9	45,0	34,8	30,4	29,5	29,4	30,6	27,8	26,1	27,3				
D2	64,8	61,7	55,6	47,2	54,4	42,6	47,3	40,8	42,6	37,5	31,4	29,5		
D3	30,0	34,3	31,0	27,9	30,5	29,4	22,4	30,9	28,1	25,3	31,4	25,5	39,4	37,9

Таблица 3. Значения евклидовой дистанции уровней экспрессии нормальных и патологических образцов пациентов с различной онкологической и предраковой патологией желудка

ских заболеваний на основании оценки экспрессионных профилей генов-циклинов.

Для попарного сравнения многолокусных профилей экспрессии рядом находящихся образцов биоптатов предлагается использовать следующую формулу:

$$D(p, n) = (\sum (Sp_k - Sn_k)^2)^{1/2},$$

где Sn_k – показатель экспрессии k -гена циклина образца без признаков патологии, Sp_k – с патологией.

Коэффициент $D < 1,5$ указывает, что уровень экспрессии генов-циклинов находится в норме; $1,5 < D < 2,5$ говорит о начале развития патологических процессов; а $D > 2,5$ – о наличии онкологических клеток в образце (рис. 2).

Заключение

Проведенные исследования показывают, что активность генов-циклинов имеет выраженный дифференциальный характер при изменении патофизиологического статуса тканей желудка. Разработанный метод анализа результатов попарного сравнения профилей экспрессии этих генов может быть использован в качестве дополнительного критерия в области онкологической диагностики для молекулярно-генетической оценки физиологического статуса пациентов и выявления возможного риска возникновения онкологической заболеваний. **■**

■ Summary. The article presents the result of the authors' own experience in the study of transcriptional activity of cyclin genes in gastric tissue samples from patients diagnosed with gastric malignant neoplasm against the background of confirmed *Helicobacter pylori* infection. Based on the obtained data, a molecular-genetic method of assessing the pathophysiological state of gastric tissues on the basis of complex analysis of the level of transcriptional activity of cyclin genes is proposed.

■ Keywords: cyclin genes, transcriptional activity, gastric malignant neoplasm, *Helicobacter pylori*, real-time PCR, laboratory diagnostics.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-11-79-83>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries / H. Sung [et al.] // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2021. Vol. 71, №3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660.
2. New insights of *Helicobacter pylori* host-pathogen interactions: The triangle of virulence factors, epigenetic modifications and non-coding RNAs / F. Vaziri [et al.] // *World Journal of Clinical Cases*. 2018. Vol. 6, №5. P. 64–73. doi: 10.12998/wjcc.v6.i5.64.
3. The role of heme oxygenase-1 in hematopoietic system and its microenvironment. The role of heme oxygenase-1 in hematopoietic system and its microenvironment / A. Szade [et al.] // *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2020. Vol. 78, №10. P. 4639–4651. doi: 10.1007/s00018–021–03803-z.
4. Herceg Z. Genetic and epigenetic alterations as biomarkers for cancer detection, diagnosis and prognosis / Z. Herceg, P. Hainaut // *Molecular Oncology*. 2007. Vol. 1, №1. P. 26–41. doi: 10.1016/j.molonc.2007.01.004.
5. Cyclins and cell cycle control in cancer and disease / M. C. Casimiro [et al.] // *Genes Cancer*. 2012. Vol. 3, №11–12. P. 649–657. doi: 10.1177/1947601913479022.
6. Prognostic Significance of Cyclin D1 Over-expression in Colorectal Cancer: An Experience from Madinah, Saudi Arabia / A. M. Albasri [et al.] // *he Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 2019. Vol. 20, №8. P. 2471–2476. doi: 10.31557/APJCP.2019.20.8.2471.
7. Определение онкогенного потенциала *Helicobacter pylori* по результатам комплексной оценки его CagA-статуса и цитокинового профиля сыворотки крови пациентов с заболеваниями желудка / Е. В. Воропаев [и др.] // *Лабораторная диагностика. Восточная Европа*. 2022. Т. 11. №1. С. 48–59. doi: 10.34883/Pl.2022.11.1.015.
8. Методика молекулярно-генетической диагностики онкологических заболеваний на основе анализа изменений экспрессии генов-циклинов семейств A, B, C, D и E: инструкция по применению / Е. В. Воропаев [и др.]; М-во здравоохранения Респ. Беларусь, УО «Гомель. гос. мед. ун-т». – Гомель, 2010.
9. Alterations in the proliferating compartment of gastric mucosa during *Helicobacter pylori* infection: the putative role of epithelial cells expressing p27 (kip1) / Sougioultzis S. [et al.] // *Modern Pathology*. 2003. Vol. 16, №11. P. 1076–1085. doi: 10.1097/01.MP.0000093626.15701.76.
10. Adeola F. Normalization of Gene Expression by Quantitative RT-PCR in Human Cell Line: comparison of 12 Endogenous Reference Genes / F. Adeola // *The Ethiopian Journal of Health Sciences*. 2018. Vol. 28, №6. P. 741–748. doi: 10.4314/ejhs.v28i6.9.

Статья поступила в редакцию 12.10.2023 г.

Zhanna Komarova

Emergence of the 21st century: meeting challenges and opportunities 4

At the round table, the representatives of various scientific fields discuss the emergence, and what happens when complex systems acquire new properties and whether they can be explained or predicted.

Boris Panshin

Effective digital culture as a factor in reducing the risks of the emergence of artificial intelligence 13

The author tried to attract the attention of researchers to the emergent abilities of artificial intelligence and the influence of digital culture on the development of interactions in a changing digital environment.

Andrey Kolesnikov

Emergence: the problem of origins 22

The author considered the problem of cosmogenesis origin, which is directly related to the nature of «me», and through it to the nature of forces that form and drive cosmodynamical processes.

Andrey Denisov, Svetlana Pashkevich

Three-dimensional cell cultivation and bioprinting 27

The paper presents approaches to the formation of flat and 3D cellular patterns using bioprinting methods, discusses the features of 3D cultivation, when due to more intensive intercellular interactions the cell ensemble acquires the properties that are not typical for single cells, the conditions necessary for the emergence of self-organization processes are created in the system with transformation into tissue-like and organ-like structures. Modern bioprinting methods provide increased productivity of these processes by engineering the additional levels of organization.

Igor Pris

On the emergence of group beliefs and knowledge 32

The author considers some aspects of the supposed emergence of group epistemic properties, the beliefs and knowledge.

Alexander Postalovsky

Social networks and the emergence of media space 36

Social networks are studied as a result of emergence in the media space, which has become a fundamentally new subject of information content reproduction.

Ekaterina Rozhkovskaya, Violetta Triller

Problems and priorities of scientific and technological policy in the context of structural transformation of the economy 40

The authors show the need to develop a document aimed at resolving problems in the scientific, innovation and technological sphere and forming a strategy for technological development of the Republic of Belarus.

Tatiana Goraeva

Technological aspect of import substitution in the Republic of Belarus 47

The article analyzes the features and problems of the import substitution policy in the Republic of Belarus. The proposals have been given to link it with the issues of the national technological security.

Siarhey Kaspiarovich, Katsiaryna Sharapa

Integration of science, education and production as a factor in the development of the higher education system 52

The article considers the organizational and legal conditions for integrated educational, scientific and industrial environment in the Republic of Belarus aimed at the systematic solution of the higher education and innovative economy problems.

Valery Gremenok, Mikhail Tivanov

Modern thin-film photoelectric converters based on chalcogenide materials 57

All types of thin-film solar cells and the evolution of their variants based on chalcogenide materials are described, and a scenario for the three most promising types development is presented.

Iryna Emelyanovich

Altruism in data 63

Drawing on the publication of UNESCO's "Open Data for Artificial Intelligence" guidelines, the author considers the challenges that exist in dealing with open data needed to facilitate digital transformation and build inclusive knowledge societies.

Yuri Leonovets, Alexander Kuvshinov, Aliaksandr Zhukouski, Ruslan Karpanau, Volia Lobach, Liudmila Saroka

Evaluation of the effectiveness of the plant protection complex based on the agricultural drone A60-X 68

The advantages of using unmanned aerial vehicles in agriculture in the context of a precision farming system are analyzed, and calculations of the economic effect that can be obtained in the agricultural industry due to this technology are given.

Tatsiana Zhdanovich

On the roads of Clio and Asclepius 73

The author tells how a young scientist Alexey Kapliyev found his main scientific junction of history and medicine.

Evgenii Voropaev, Olga Osipkina,

Alla Voropaeva, Sergey Achinovich

Assessment of the transcriptional activity of cyclin genes in gastric tissues of patients infected with Helicobacter pylori 79

The article presents the research results of cyclin genes transcriptional activity peculiarities in gastric tissue samples from patients with malignant neoplasms, and proposes a new molecular genetic diagnostic method.



ТРАДИЦЫЙНЫ СВЕТАЛАД БЕЛАРУСАЎ

У 5 кн. Кн. 2. Сфера сакральнага. Народная тэалогія / Нац. акад. навук Беларусі, Ін-т філасофіі; уклад. і агул. рэд.: І. М. Дубянецкая, С. І. Санько; аўт. тэкстаў: Т. В. Валодзіна [і інш.]; маст. М. С. Храпавіцкі; ідэя праекта У. Р. Гусакова; каардынатар праекта А. А. Лазарэвіч. – Мінск: Беларуская навука, 2023. – 92 с.: іл.

ISBN 978-985-08-3059-3

У другой кнізе серыі, прысвечанай ключавым тэмам, вобразам і канцэптам традыцыйнага светапогляду беларусаў, гаворка ідзе пра ўяўленні аб шматмернай сакральнай сферы чалавечага досведу, Бога і боскага свету, адносінах паміж Богам і чалавекам, элементах веры і культуры.

Адрасавана шырокаму колу чытачоў.



РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ

С. П. Торчик, В. И. Торчик; Национальная академия наук Беларуси, Центр. ботан. сад. – Мінск: Беларуская навука, 2023. – 351 с.

ISBN 978-985-08-3061-6

В издании обобщен опыт выращивания 105 редких и исчезающих растений природной флоры Беларуси в условиях культуры. Приводится комплексная оценка сезонного развития, устойчивости к факторам среды, болезням и вредителям. Значительное внимание уделено вопросам плодоношения, размножения и агротехнике содержания в новых условиях произрастания.

Предназначена для биологов, экологов, специалистов в области охраны природы, преподавателей, студентов, школьников и широкого круга любителей природы.



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ И РОССИЙСКОГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ЭФФЕКТА

В. Л. Гурский [и др.]; науч. ред.: В. Л. Гурский, В. В. Фаузер, С. Ю. Солодовников. – Мінск: Беларуская навука, 2023. – 373 с.

ISBN 978-985-08-3076-0

В монографии рассмотрена эволюция концепции устойчивого развития, проанализированы особенности ее применения в Республике Беларусь и Российской Федерации; представлены методологические и теоретические принципы оценки устойчивого развития (на основе истинных инвестиций). Проведен сравнительный анализ и рассмотрены проблемы устойчивого развития малых и средних городов Беларуси и российского Севера в условиях агломерационного эффекта.

Рекомендуется научным работникам, специалистам государственной службы и муниципальных образований, преподавателям экономики народонаселения и демографии, докторантам, аспирантам, магистрантам вузов и институтов экономического профиля.

РУП «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «БЕЛОРУССКАЯ НАУКА»

предлагает литературу

- по медицине
- искусствоведению
- литературоведению
- языкознанию
- этнографии
- фольклору
- естественным наукам

принимает заказы на печать

- бланки формата А₅, А₄, А₃
 - грамоты ● дипломы
 - канцелярские книги
 - блокноты ● блоки для записей
 - календари ● буклеты
 - проспекты (с разработкой дизайна)
- тираж от 1 экземпляра*

Получить информацию об изданиях и оформить заказ можно по телефону:

*+375 (17) 396-83-27,
370-64-17, 267-03-74.
Адрес: ул. Ф. Скорины, 40,
220084, г. Минск,
Республика Беларусь;
e-mail: belnauka@mail.ru;
сайт: www.belnauka.by*

ТУМАННОСТЬ В «ОСЕННИХ ТОНАХ»

Краски осени запечатлены космическим телескопом «Хаббл». На снимке часть туманности, известной как Westerhout 5, находящейся в 7 тыс. световых лет от Земли и также известной как «Туманность Душа».

