

ИСКУССТВЕННЫЙ  
И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ИНТЕЛЛЕКТ:  
ЧТО ЛУЧШЕ?

4

ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭКОНОМИКЕ:  
ОБЗОР ТЕНДЕНЦИЙ

41

РАМОЧНЫЕ ПРОГРАММЫ ЕС –  
ЛАБОРАТОРИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ  
ИННОВАЦИЙ

46

ДЕКОРАТИВНЫЕ СОРТА  
ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ  
БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ

80

# Наука и инновации

№5 (219)

МАЙ 2021

научно-  
практический  
журнал

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ

ISSN 1818-9857



9 771818 985001 05

ISSN 2412-9372 (online)

# ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ УМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

- Радиобезэховые камеры для проведения испытаний по электромагнитной совместимости промышленного оборудования и транспортных средств (в т.ч. электротранспорта).
- Испытательные стенды по тестированию аккумуляторов для электромобилей.
- Установки для испытания солнечных батарей.
- Испытательные камеры для проверки производительности и эффективности вентиляторов.
- Комплексы для измерения энергоэффективности бытовых приборов (стиральных машин, холодильников, кондиционеров, микроволновых печей и др.).
- Климатические камеры для проверки радиаторов.

Theseus Lab S.r.o., 110 00, Vaclavske namesti, 808/66, Nove Mesto, Prague, 1, Czech Republic





**Обеспечим необходимым оборудованием  
для проведения испытаний и исследований**

От подготовки оптимального решения и проектирования  
до поставки оборудования, монтажа и обучения персонала

**Звоните:** +375 (29) 640-41-26 **Пишите:** [dg@theseuslab.cz](mailto:dg@theseuslab.cz)

**Theseus** Lab<sup>®</sup>  
[theseuslab.by](http://theseuslab.by)



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 –<br><i>председатель<br/>совета</i>  | Ж. В. Комарова<br>С. А. Красный<br>Н. П. Крутько   |
| П. А. Витязь –<br><i>зам. председателя</i>   | В. А. Кульчицкий<br>М. В. Мясникович<br>О. Г. Пенязьков<br>О. О. Руммо   |
| В. В. Байнев<br>А. И. Белоус<br>И. В. Войтов<br>И. Д. Волотовский<br>С. В. Гапоненко<br>С. И. Гриб<br>А. Е. Дайнеко<br>Н. С. Казак<br>Э. И. Коломиец | Н. С. Сердюченко<br>И. А. Старовойтова<br>А. В. Тузиков<br>И. П. Шейко<br>А. Г. Шумилин<br>В. Ю. Шутилин<br>С. В. Харитончик |

**Главный редактор:**

Жанна Комарова

**Ведущие рубрик:**

- |                                       |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Ирина Емельянович<br>Наталья Минакова | Татьяна Жданович<br>Юлия Василюшина |
|---------------------------------------|-------------------------------------|

**Дизайн и верстка:**

Алексей Петров

**Маркетинг и реклама:**

Елена Верниковская

**Адрес редакции:**

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

**Подписные индексы:**  
007 532 (ведомственная)  
00 753 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,8.  
Тираж 533 экз. Цена договорная.  
Подписано в печать 21.05.2021.

**Издатель и полиграфическое**

**исполнение:** РУП «Издательский дом «Беларуская навука».  
Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013.  
ЛП №02330/455 от 30.12.2013.  
г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №106.

© «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: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

*Владимир Гусаков*

**Искусственный и человеческий интеллект: что лучше? ..... 4**

Анализируется развитие технологий искусственного интеллекта, их влияние на различные сферы жизнедеятельности человека. Указывается на необходимость ведения открытого диалога в обществе для выработки упреждающих мер защиты и безопасности взаимодействия IT-технологий и людей.

*Татьяна Филипович, Владимир Кульчицкий*

**Естественен ли искусственный интеллект? ..... 14**

Развитие сферы искусственного интеллекта происходит благодаря алгоритмам, которые формулируются естественным интеллектом, строятся на закономерностях функционирования естественных нейронных сетей. Сохранится ли этот баланс в будущем, когда уникальные алгоритмы функционирования будут генерировать искусственный интеллект?

*Александр Дудкин, Евгений Марушко, Валентин Ганченко*

**Прогнозирование временных рядов телеметрии космических аппаратов на основе ансамблей нейронных сетей ..... 16**

Описывается двухуровневая модель ансамблей нейронных сетей для прогнозирования многомерных временных рядов телеметрии подсистем космических аппаратов, которая реализована в системе идентификации их состояния по телеметрическим данным для наземного командно-измерительного комплекса.



*Борис Лобанов, Владимир Житко*

**Компьютерные системы оперативной оценки параметров речевой интонации ..... 23**

В статье представлены программные системы «IntonTrainer» и «Speech Rate Meter», предназначенные для оперативной оценки параметров речевой интонации.

*Александр Андрианов, Григорий Николаев, Никита Шульдов, Иван Босько, Александр Тузиков*

**Нейронная сеть для предсказания потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1 ..... 28**

Разработан и применен генеративный состязательный автоэнкодер для рационального дизайна потенциальных ингибиторов проникновения ВИЧ-1, способных блокировать участок белка gp120 оболочки вируса, критически важный для его связывания с клеткой-мишенью. Показаны перспективы создания новых противовирусных препаратов, ингибирующих ранние стадии развития ВИЧ-1-инфекции.

*Григорий Прокопович*

**Электронные инновации для сельского хозяйства ..... 35**

Описан прототип системы распознавания некондиционных клубней картофеля и система автоматической корректировки движения пропашного культиватора.

## ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

*Екатерина Тулейко*

### **Инновации и технологии в экономике: обзор тенденций** ..... 41

Представлен обзор актуальных инноваций и технологий в экономике, основные пути ее восстановления после кризиса COVID-19, включая перспективные направления переподготовки кадров.

*Ольга Мееровская*

### **Рамочные программы ЕС – лаборатории управленческих и организационных инноваций** ..... 46

Анализируется эффективность участия отечественных ученых в выполнении Рамочных программ Евросоюза, изучены подходы ЕС к финансированию НИОКР и стимулированию инноваций.

*Михаил Попков*

### **Пути совершенствования правового регулирования индивидуального предпринимательства в Республике Беларусь** ..... 51

Рассматриваются вопросы налогообложения индивидуальных предпринимателей на примере зарубежного опыта и предлагается внесение изменений и дополнений в законодательство, в том числе определения понятия «индивидуальный предприниматель», которое сейчас отсутствует.

*Юлия Василюшина*

### **Код решения** ..... 56

Как специалисты Брестского государственного технического университета при помощи робототехнических решений помогают предприятиям молочной отрасли внедрять законодательно предусмотренное для них в этом году новшество – маркировку продукции идентификационными метками для лучшей прослеживаемости товаров.

## К СВЕДЕНИЮ ПОДПИСЧИКОВ И АВТОРОВ

**Наука**  
и инновации



Журнал «Наука и инновации» входит в утвержденный ВАК Беларуси Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, медицинским наукам и инновационной экономике.

Журнал включен в базу электронной научной библиотеки eLibrary (РИНЦ), КиберЛенинки, EBSCO.

Научным публикациям в журнале присваивается цифровой идентификатор объекта (DOI).

Оформить подписку можно в отделениях РУП «Белпочта» или «Белсоюзпечать», а также через Интернет (подписные индексы 00753 и 007532).



## ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО

*Андрей Гавриков*

### **Геоэкономические приоритеты Беларуси** ..... 59

Анализируется процесс интеграции Беларуси и ее экономики в систему мирохозяйственных связей, роль и место страны в глобальной экономической системе с позиций геоэкономики.

*Павел Шведко, Екатерина Тавгень*

### **Выход белорусских экспортеров на рынки Аргентины и Бразилии** ..... 64

Анализируются перспективные направления развития внешнеторговых отношений Республики Беларусь с Аргентинской Республикой и Федеративной Республикой Бразилия, рассматривается специфика ведения бизнеса.

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

*Анна Шутова, Светлана Шиш, Нелли Гетко, Галина Шамшур, Елена Спиридович*

### **Вертикальное озеленение – инновационное будущее экологической биотехнологии** ..... 69

В материале речь идет о новом направлении – вертикальном озеленении, его истории и развитии, ассортименте растений для зеленых стен и их адаптации для белорусского климата.

*Наталья Македонская, Игорь Гаранович, Тамара Шпитальная, Владимир Титок*

### **Лучшие сорта сирени из коллекции центрального ботанического сада НАН Беларуси** ..... 75

Представлен широкий ассортимент сортов сирени различных оттенков и сроков цветения, адаптированных к условиям Беларуси, рекомендуемых для зеленого строительства.

*Владимир Торчик*

### **Декоративные сорта хвойных растений белорусской селекции** ..... 80

В статье приводится ботаническая характеристика первых декоративных сортов хвойных растений белорусской селекции, в том числе полученных из спонтанных соматических мутаций «ведьмина метла».

# Искусственный и человеческий интеллект: что лучше?

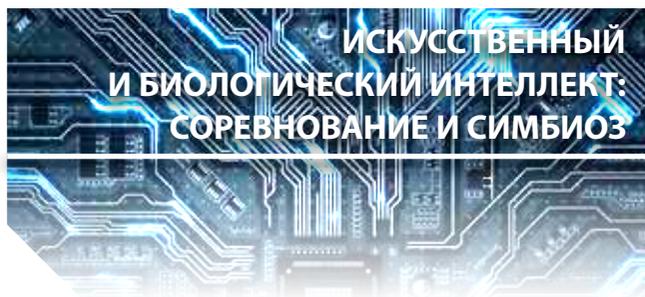


**Владимир Гусаков,**  
Председатель Президиума  
Национальной академии  
наук Беларуси,  
академик

Мир застыл в ожидании решения проблемы коронавируса. Вначале был шокирован стремительным распространением пандемии, а теперь устроил гонку вакцин и мучается в догадках, что будет после. На второй план отошли многие другие глобальные проблемы, содержащие немалые вызовы сегодняшнего дня и неопределенность грядущего времени – изменение климата, кризис энергетики, осложнение продовольственного снабжения и пр. Среди них – наступающая глобальная интернетизация и сингулярность, связанная с экспоненциальным ростом и распространением искусственного интеллекта. Мы как-то не заметили, как в последнее время «Большая пятерка» – Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft – начали управлять нашими желаниями и интересами с помощью новейших смартфонов и цифровых технологий. В глобальную цифровизацию и интеллектуализацию вкладывают огромные миллиарды долларов, и руководят этим не отдельные государства, даже самые мощные, а отдельные личности, сумевшие создать свои «империи» искусственного интел-

лекта. В Интернете можно найти достаточно широкую информацию о деятельности таких мэтров глобальной интернетизации, как Род Брукс – величайший создатель искусственного интеллекта, Сэр Тим Бернерс-Ли – разработчик Глобальной сети, Джон Маккарти – автор определения «искусственный интеллект», Михаил Косинский – автор модели психометрического профилирования и цифрового поведения, Бретт Кинг – эксперт по экономике будущего, Илон Маск – изобретатель автомобиля будущего и многих решений применения искусственного интеллекта в промышленности и бытовых целях, и даже Сергей Уласень – белорус, которого за его выдающееся изобретение по безопасности интернета пригласили в «Лабораторию Касперского». Однако есть и многие сомневающиеся в правильности глобального информационного развития. Все больше таких в среде самих разработчиков и изобретателей. Одним из известных критиков процесса всеобщей цифровой интеллектуализации является сейчас российский бизнесмен и психоаналитик Андрей Курпатов.

Нами сделана попытка обобщения доступной информации, связанной с наступлением «Четвертой промышленной революции» (Индустрии 4.0) и созданием всеобщего искусственного интеллекта. Что в этом хорошо и что – плохо.



В самом начале текущего века человечество оказалось перед лицом новой реальности: Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0), которая обещает не только прогресс, а и противоречивое будущее. Общество ускоренно трансформируется, причем фундаментальным образом. Но что мы знаем о последствиях? Почти ничего. Все приходится осознать по ходу так называемого планетарного эксперимента. Цифровые технологии, сквозная информатизация и роботизация, искусственный интеллект вместо человеческого – прекрасно. Но они призваны также коренным образом поменять среду нашего обитания,

а в конечном счете и самих людей. Об этом сейчас надо говорить прямо и открыто, чтобы выработать какие-то упреждающие меры защиты и безопасности взаимодействия IT-технологий и людей. Иначе, когда это станет уже императивом, то пострадают в первую очередь люди, а не IT-системы.

Да, информационная среда менялась и раньше, происходило это время от времени. Изобретение письменности, бумаги, телеграфа, радио, синематографа, по сути, характеризовали новую эру в развитии человечества. Но следует обратить внимание, что эти эпохи катастрофически ужимаются. От момента появления письменности до печатного станка – тысячи лет, от станка до телеграфа – сотни, дальше все крупнейшие открытия совершались за десятки лет. Сейчас новые способы информационных коммуникаций появляются ежегодно: Интернет, электронная почта, смартфоны, заменяющие мощные компьютеры, социальные сети, нейросети, центры по сбору и обработке больших данных, облачные вычисления и т.п. Еще никогда в истории человечества системные изменения в информационном пространстве не были столь грандиозными, как сейчас. Мы стоим на пороге того, что искусственный интеллект противопоставляется человеку, особенно в обработке больших массивов информации, что естественным образом приводит к атрофии естественно-природной интеллектуальной функции. Мозги, как и мышцы, если их не напрягать, естественно деградируют.

Хуже то, что к происходящим глобальным переменам мы стали быстро привыкать, и влияние этих перемен на человеческий организм почти не замечаем, все человечество меняется одновременно. Нет явной дифференциации между этносами, и последствия планетарной информатизации фактически не с чем сравнивать.

Правда, некоторые ученые и практики чувствуют, что здесь что-то не так. Тенденции вроде как положительные, если посмотреть на них глобально, и в то же время жизненные перспективы людей выглядят какими-то призрачными, нарастает ощущение неопределенности, люди становятся отчужденными, а отношения между ними формальными. Многие в сущности до сих пор не понимают, что, собственно, происходит, как изменяется общество и в чем его перспективы. Вместе с тем почти не видно тех, кто бы

всерьез был озабочен последствиями тотальной трансформации информационной среды и влияния на человека непрерывно усиливающимися информационными технологиями. Все развивается как бы стремительно, но инерционно.

То, что еще несколько лет назад казалось отдаленным будущим – беспилотный транспорт, 3D-печать, 3D-видео, чипы в биологических материалах, в том числе в мозгах животных и человека, экзоскелеты, очки дополненной реальности, безлюдное производство и роботы творческих профессий, компьютерные переводы с одного языка на другой в режиме реального времени и т.п., – реальность. А это уже не только технологические риски, но и экономические, социальные. Представители новейшего информационного бизнеса самозабвенно рассказывают о грядущем всеобщем человеческом счастье. Но это повод для того, чтобы посмотреть на «вещи» реально.

В ближайшие десятилетия мир ждет всеобщая роботизация. Компания – производитель NVIDIA разработала, по ее утверждению, специальный чип или своеобразный мозг для роботов, который является идеальной платформой для искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения.

Надо полагать, и об этом уже активно говорят, что в ближайшей перспективе люди будут подвержены кибергизации, что повлечет за собой широкий рынок искусственных гаджетов – имплантатов и заменителей частей человеческого тела. Это не вымысел. Например, уже сегодня можно заказать коленные протезы, оснащенные самообучающимся искусственным интеллектом («RheoKnee» компании «Össur»).

Однако более серьезные операции сейчас совершаются с мозгом человека. Компания Eter9 разработала собственную социальную сеть, где создана программа самообучения искусственного интеллекта. Она узнает и копирует пользователя, образуя фактически его виртуальную копию. Специалисты утверждают, что такая программа в скором времени научится мыслить. И поможет в этом нейроинтерфейс – специальное оборудование, которое способно обеспечивать обмен информацией напрямую между компьютером и мозгом. Датчики нейроинтерфейса напрямую станут соединяться с нервной системой человека, буквально кооперируясь с ней. Это дает возможность сделать мозг и компьютер единым целым, а впоследствии, когда мозг станет дегенерировать, компьютер сможет сохранить

полноценность личности. Подобные устройства апробируются уже сейчас на пациентах, потерявших подвижность или страдающих необратимыми заболеваниями нервной системы.

Есть уже неоднократные попытки создания виртуальных или так называемых «цифровых людей», повторяющих все повадки их живых аналогов. Правда, здесь возникает этическая проблема: как будут защищены «цифровые люди». Ведь каждый сервер, на котором хранится информация, – чья-то собственность. А личность, помещенная в Интернет, становится лишь набором информации, и ее пользователи-собственники могут быть непредсказуемы.

Ученые создали и значительно усовершенствовали технологию перевода изображения с обычной видеокамеры непосредственно в мозг человека, минуя глаза и нервы. Это позволило получить принципиально новую реальность разработки специального программного обеспечения для мозга и доставки в него информации нестандартными средствами. Мозг человека, по сути, стал представлять собой серверное пространство. Органы человека имеют массу ограничений, а перепрограммируя мозг, можно добиться практически неограниченных возможностей работы человеческого организма.

Создание интегрированного биологического и искусственного интеллекта – почти наступившая реальность, и это уже необычный мир новых возможностей.



Наряду с киборгизацией человека широкая роботизация с использованием искусственного интеллекта и цифровых технологий способна обеспечить поставку пользователям персональных роботов, способных на сложные и полностью автономные действия. Предполагается, что в скором времени роботизированная техника станет привычным оснащением любого современного жилого дома. А нанороботы

продемонстрируют способность справляться с болезнями более эффективно, чем современные медицинские технологии и лекарства. Так, мини-компьютеры величиной меньше, чем клетка любого организма, будут перемещаться внутри человеческого тела по заданным направлениям и совершать необходимые операции. Ученые уже работают над гибридными роботами на основе реконструированной ДНК, синтетических белков и других искусственных материалов. Эти нанороботы будут управляться программными средствами и обеспечивать защиту каждой клетки организма от болезней. Кстати, ученые из Университета Райса высказали идею, что таким образом нанотехнологии буквально будут «взламывать» и «высверливать» мембраны чужеродных и вредоносных клеток. Предполагается, что нанороботы станут обладать избирательностью и атаковать только больные клетки, не повреждая здоровые. Подобные опыты предельно уже на животных.

Новейшие исследования показывают, что старение также является болезнью, которая возникает, когда клеточная структура организма не позволяет обеспечить необходимую генерацию молодых и здоровых клеток. Если нанороботы будут лечить эту «болезнь» и ликвидировать старые клетки, то молодые будут оставаться молодыми, а старые – омолаживаться.

Надо подчеркнуть, что возможности роботизации, как и науки, безграничны. В частности, огромной проблемой сейчас являются аварии на дорогах. С развитием роботизации и беспилотного транспорта будет введен запрет пользоваться людям автомобилем без автопилота. Поначалу – компьютерные помощники, а затем только автопилот. Впрочем, скорее всего потребность в собственном автомобиле может вообще исчезнуть. Ведь большую часть времени автомобиль стоит на приколе. Дорожные сети наполнятся самоуправляемыми такси, которые будут постоянно на вызовах. Парковки исчезнут. Машины, охваченные сетью, смогут согласовывать движение между собой и избегать пробок. Данные трансформации могут произойти настолько быстро, что нынешние персональные автомобили и водители – профессионалы и автолюбители – уйдут в историю. Лучшее – враг хорошему, и к нему привыкаешь быстро. Мировые автоконцерны уже ощутили выгоду дешевых и безопасных такси. Например, Tesla сегодня

уже стопроцентный беспилотник.

А соглашение между Uber и NASA вообще предполагает создание летающих такси, причем с вертикальным взлетом. Как заявляет Uber Elevate, расценки на беспилотные и летающие такси будут такими, что содержание собственного автомобиля будет дороже.

По прогнозам Рэя Курцвейла, человечество движется к тотальной децентрализации всего и вся. Например, человеку незачем быть каждый день на рабочем месте. На предприятиях его заменят роботы. А сквозной блокчейн сделает все коммуникации между работниками и работодателями совершенно прозрачными, контроль исполнения станет ненужным. Системы коммуникации создадут ощущение физического присутствия каждого сотрудника.

Не потребуется ни театров, ни стадионов, ни шумных концертных площадок. Вся инфраструктура развлечений с соответствующими впечатлениями придет сама в дом. Стремиться в большие города будет бессмысленно. Произойдет обратная тенденция – дезурбанизация. А оказавшись в собственном доме, где все, что нужно для работы, общения и развлечений, будет на месте, вряд ли захочется куда-либо перемещаться. В ближайшие годы нам предложат специальные очки, которые смогут проецировать любое необходимое изображение прямо на сетчатку глаза. Так, на спортивных соревнованиях можно будет не только наблюдать за происходящим, но и самим участвовать в баталиях наряду с известными спортсменами и даже побеждать их. Многие захотят, чтобы все эти баталии были закачаны прямо им в мозг. Это вполне возможно, потому что виртуальная реальность станет неотличимой по восприятию от физической.

В Национальной академии наук Беларуси ученые в настоящее время работают над совершенствованием системы маркировки, идентификации и логистики потребительских товаров, где каждому из них присваивается электронный код. Это исходное начало огромной мировой системы под названием Интернет вещей и Интернет всего. Однако практика глобального и тотального контроля

движения товаров с этого только начинается. В ближайшее десятилетие Интернет вещей и всего захватят абсолютно все товарные рынки и рынки услуг и будут отслеживать потребление каждого человека.

То есть речь идет уже не просто об «умных машинах», но и об «умной одежде», «умных бытовых приборах», «умных домах», «умных отраслях народного хозяйства», «умных городах» и «умных государствах». Или, вернее, об умных системах организации государства и общества и всей их инфраструктуры, включая транспорт, энергетику, строительство, сельское хозяйство и продовольствие, медицину, науку, образование и национальную безопасность.

Инновации в любой отрасли, сфере и стране накапливаются продолжительное время и имеют кумулятивный эффект, – проявляются взрывообразно. Мир ждет Интернет всего, это интеграция Интернета вещей и Интернета людских коммуникаций. Пока еще люди задают цифровые параметры вещей, сообщая им свои запросы и потребности. Но уже идут разработки таких «вещей», куда вкладывается интеллект, которые сами будут выходить на контакт с людьми, выполнять их желания и совершать действия, чтобы человек остался доволен. «Умные вещи» начнут взаимодействовать между собой, у них будут свои «социальные сети», где будет происходить накопление информации, а также осуществляться управление их потребительскими качествами. «Умные холодильники» (Samsung) уже сегодня отслеживают качество находящихся в них продуктов и дают рекомендации по их потреблению, а смартфоны обучаются распознавать запахи и вкусы. Но этого мало. Когда человек войдет в свой умный дом, он поприветствует его, создаст комфортный микроклимат, включит душ, когда человек окажется в ванной, приготовит еду из любимых продуктов, будет готов продемонстрировать комфортный отдых. Интернет при этом будет всеобщим и сквозным, но почти невидимым, служить фоном.

Таким образом, в ближайшие десятилетия, как предполагается, произойдет замена реального виртуальным. Причем, как установлено, усилится действие общественно-экономического закона экспоненциального роста инноваций и ускорения их отдачи.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕКА ИЛИ НАОБОРОТ?

Одним из слагаемых искусственного интеллекта является развитие технологии 3D-печати. Ее использование уже захватывает все новые сферы. А в течение ближайших лет и десятилетий она, по оценкам, совершит подлинный переворот в экономике. В настоящее время, как известно, 3D-принтеры создают медицинские протезы, детали для отраслей машиностроения и даже начинают строить дома. В перспективе, как утверждают специалисты, с помощью 3D-технологий можно будет печатать одежду (где искусственный интеллект будет выполнять даже дизайн), предметы интерьера, где будут учтены индивидуальные физические параметры человека, его предпочтения, и модные тренды. Цифровые модели известных компаний можно будет купить по бросовым ценам на специальных облачных стоках, поскольку все будут создавать сами пользователи. Пример: американский стартап Feetz уже занимается производством обуви.

Будут также разработаны продовольственные 3D-принтеры, которые станут создавать и готовить пищевые продукты. Прототип пищевого 3D-принтера уже работает, его создали по заказу NASA, он смешивает примерно 12 питательных компонентов и выдает качественное пюре. В ход может идти как сельскохозяйственное сырье, так и морепродукты. Если потребуются настоящее мясо, то его получают из стволовых клеток, а 3D-принтер напечатает любые формы. По прогнозам специалистов, 3D-принтеры будут находиться в каждом доме в качестве бытовой техники. А в больницах они будут печатать не только лекарства и инструменты, но и человеческие органы для пересадки.

Искусственный интеллект позволил намного улучшить возможности человека. Об этом уже кратко сказано. Но сейчас полным ходом идут работы по созданию совершенного человека. Дело в том, что в геноме современного человека происходит накопление предрасположенно-

стей к самому широкому кругу болезней. Болезни наступают и становятся агрессивными. Ныне уже трудно найти абсолютно здорового ребенка без патологий и устойчивого к болезням. Смириться с этим нельзя. И искусственный интеллект не мирится. В руках ученых теперь невероятный потенциал реконструкции базовой биологической матрицы. И возможности, практически, безграничные. «Синтетическая биология» предполагает полное клонирование человеческой ДНК и способы ее последующего редактирования (ремонта и совершенствования). И запреты на это, принятые в некоторых государствах, не остановят продвинутых ученых. Есть страны, которые готовы их внедрить и предоставить в распоряжение новейшие лаборатории.

Ожидается, что в скором времени произойдет фундаментальный прорыв в понимании механизмов функционирования человеческого мозга, а это, как видно, открывает путь к соединению человека с суперкомпьютерами и к цифровому продолжению жизни. По прогнозам разработчиков, недалек тот час, когда мы будем жить в мире роботизированных людей и сами будем представлять собой «продукты» трансграничных технологий. Люди будут дополнены искусственным интеллектом, ориентированным по желанию пользователя на любую сферу деятельности. В самом деле, если соединить мозг человека с цифровым облаком, где сконцентрирован огромный объем разнообразной информации, то его потенциал может неизмеримо возрасти. Например, наномашинки будут имплантироваться непосредственно в человеческий мозг, что позволит оказаться в виртуальной реальности с эффектом «полного погружения». То есть поиск по информационным массивам будет осуществляться подсознательно даже без голосовых команд, достаточно о чем-то задуматься и на экране специальных глазных линз тут же появится необходимая информация. Вместе с тем возможности человека расширятся не только за счет прямого доступа к облакам данных, но и путем применения разнообразных человеческих имплантов. Нейроинтерфейсы позволяют управлять механическими руками, воспроизводить моторику, возвращать слух и заменять различные системы жизнеобеспечения. Есть обещания разработчиков создать нанороботы, которые смогут считывать даже наши воспоминания, хранящиеся в нейронных связях каждого человека и воспроизводить на экране эту информацию, например полную

копию ушедшего из жизни человека, общение с которым даст реальную картину подлинности. И такие примеры уже не единичны. В обозримой перспективе произойдут перемены, сравнимые где-то с эволюцией человека. Развитие информационных технологий неизбежно приведет к созданию сверхмощного искусственного интеллекта, способного обладать собственной субстанцией и даже искусственным разумом. За этим последует новая эра развития человечества, по крайней мере, в привычной нам форме. Ответа, какой она будет, пока нет. Самое главное, что этот сверхинтеллект будет самопрограммироваться и самосовершенствоваться, ставить перед собой сложные задачи и находить их оптимальные решения. Бесспорно, человеческий интеллект будет уступать искусственному по всем параметрам. Произойдет прочное слияние мозга человека с искусственным его порождением в облаке. Этот момент многие уже называют «технологической сингулярностью» по примеру «физической сингулярности», когда все сводится к области максимального сгущения материи под давлением гравитационных сил. Где наблюдается бесконечная плотность и температура вещества в минимальном объеме. Но это определение физиков. Что же касается информатизации, то планета Земля станет своеобразным единым интегрированным гигантским компьютером. А впоследствии процесс технологической сингулярности станет распространяться и на всю Вселенную. Информационная (цифровая) техника перестанет зависеть от людей, исчезнет возможность управления ею. Она возьмет управление всем бытием на себя и будет представлять собой новую реальность или новое бытие. Вопрос в том, что слияние человека с искусственным интеллектом – это, по большому счету, слияние человеческого разума со Всеобщим Цифровым (Расчетным) Разумом, и, вполне вероятно, он просто поглотит человека. Разработчики искусственного интеллекта и всех его технологических приспособлений даже этого не скрывают. Сегодня человеческий разум даже не представляет последствий, что можно ждать от Вселенского искусственного разума, который будет превышать суммарный человеческий в миллиарды раз. В любом случае человеку придется сильно измениться, чтобы соответствовать машинам. Ученые в области искусственного интеллекта едины в том, что

это, по теории вероятностей, имеет больше шансов произойти, если тенденции развития искусственного разума будут иметь сложившееся ускорение, чем не произойти. Когда суперинтеллект в виде технологической сингулярности обретет личность и самость, она возьмет контроль над Землей. Это не абсурд, это перспектива ближайших десятилетий. Уже сегодня многие солидные ученые допускают, что, во-первых, искусственный интеллект сможет приобрести подобие личности; во-вторых, большинство склоняется к тому, что контролировать сверхмощный искусственный интеллект у человека вряд ли получится.

Такой сверхмощный искусственный интеллект появится и вполне может обойти человеческий потому, что он не обладает сознанием и поэтому не является личностью в человеческом понимании. Ему не свойственно забывать информацию, волноваться и переживать от того, что информация будет искажена, проявлять субъективизм при оценке и интерпретации информации. Он будет строго следовать заложенным программам и четко оперировать всем объемом приобретенных сведений. Он должен совершенно объективно анализировать факты, не обращая внимания на предрасудки, заложниками которых является человек.



Фантастика, но нейросети, натренированные на обработку Big Data, могут уже сегодня не только с помощью многообразной информации, но и по фотографиям определить интеллектуальный уровень человека, его политическую благонадежность, склонность к авантюрам и многие другие черты характера. Встроенные в нашу среду обитания компьютеры будут больше реагировать на то, что мы делаем, что говорим и как поступаем, чем на то, что мы набираем на клавиатуре или на что кликаем.

Поэтому уже создается электронный помощник, который будет знать, чего мы хотим, раньше нас. К примеру, Илон Маск сейчас работает над

автомобилем, который будет знать, куда нам надо поехать, даже если мы не вводили ему об этом предварительную информацию. Оказывается, предсказать наше поведение и манипулировать им теперь не сложнее, чем управляться с автомобилем или с электронным переводчиком. Искусственные самообучающиеся нейронные сети, получившие для анализа всю доступную информацию, включая не только официально находящиеся данные о нас в Интернете, то есть в социальных сетях, но с банковских карт, информацию о наших передвижениях через смартфон, телефонные звонки, эсэмэски, медицинские карты, библиографические источники, фотографии, данные, переданные по видеосвязи, налоговые декларации и прочее, возьмут каждого под тотальный контроль. Человек этого даже не заметит. Этот сплошной контроль даже при желании невозможно вычислить и идентифицировать.

Безусловно, несколько неприятно осознавать, что все люди предсказуемы и подвержены манипуляциям. Это до сих пор мы себя считали эксклюзивными и недоступными. Но отрицать действие искусственного интеллекта, направленного на обработку каждого из нас, уже не только не дальновидно, но и небезопасно. На каждого пользователя Интернета уже созданы сотни, а может, и больше специальных профилей. И чем больше каждый находится в Интернете, тем больше электронной персональной информации накапливается и обрабатывается в скрытых профилях. Иногда может показаться, что запрашиваемая вами информация на смартфоне появляется слишком медленно, человек возмущается, что имеет якобы медленный Интернет. А ведь в это время обрабатывается вся имеющаяся о пользователе цифровая информация и идет настоящий тендер за личное внимание.

У искусственного интеллекта, как и у биологического, происходит в последнее время полноценная эволюция естественного отбора. Цифровой интеллект развивается тем же путем – методом проб и ошибок, используя механизмы подкрепления и обратной связи. Только вот скорость соответствующих итераций, переходов от поколения к поколению – на многие порядки выше, чем у биологического аналога. Да и материал для своего развития искусственный интеллект приобретает не в агрессивной борьбе за выживание, а в комфортных и высокооснащенных научных лабораториях. Более того, для его развития уже почти не нужно человеческое программи-

рование. Современный искусственный интеллект – это самообучающиеся, самонастраивающиеся и саморазвивающиеся системы, а что внутри и в результате – уже малоизвестно. Его поведение, в частности во время развлекательных игр и боев, беседы с человеком, не могут уже объяснить даже создатели исходной базы. Собственно, это и настораживает Илона Маска. Не случайно он говорит об искусственном интеллекте как об «экзистенциальной угрозе» человечеству. Где гарантии, что искусственный интеллект распорядится накопленной информацией в интересах конкретного человека?

Интернет-гиганты – Google (и поглощенный им YouTube), Facebook (и поглощенный им Twitter, Instagram), Apple, Яндекс и др. – виртуальные империи, в буквальном смысле колонизируют мир и создают свои империи, превращаются в прогосударственных монстров. В их штаб-квартирах формируется искусственный интеллект, который, как предполагается, будет управлять миром и каждым его жителем, хотя и делается это под завесой секретности. Но даже создатели этой тотальной гигантской системы сами не знают, как этой системой управлять и к чему она придет. Не случайно тот же Илон Маск пытается наряду с искусственным интеллектом создать что-то вроде анти-Матрицы, то есть такой интеллект, который не станет выполнять сплошного контроля человечества в противовес частным искусственным интеллектам. Поэтому он уже сейчас предлагает активно включиться в процесс законодательного регулирования работ по искусственному интеллекту. В противном случае нам останется лишь реагировать на изменения, и от человека уже ничего не будет зависеть.



## РИСКИ ГОНКИ ЗА ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ И ЦИФРОВИЗАЦИЕЙ

По всей видимости, человечество уже вступило на первую ступеньку между отчаянием и трансформацией. Однако все будет зависеть от мудрости выбора. Стремительный рост мощности и воз-

можностей искусственного интеллекта, который стоит на пороге экспоненциального взрыва, позволит разрозненные сейчас еще элементы информационного пазла интегрировать в один. Не исключается, что массовая компьютерная сверхзависимость будет вызывать стремительное снижение интеллектуальных способностей человека. Но человек, оказывается, даже этого не замечает. Наоборот, свою зависимость от гаджетов многие оправдывают и доказывают, что они тем самым повышают свою осведомленность и квалифицированность. Все уверены, что благодаря этому их мозг работает более активно.

Интернет – это невероятно мощная и влиятельная среда, где легко подменить собственные знания полученными из внешнего источника. Негативный эффект от этого будет проявляться все сильнее по мере того, как дети, не выпускающие смартфоны из рук, будут становиться взрослыми.

Со стороны молодежной аудитории приходится слышать обвинения в адрес старших поколений: вы старые и несовременные, это новый мир, новое время и новые люди, и вам нас не понять. Конечно, такая наивно-идиотская аргументация, хорошо иллюстрирующая произошедшую внезапно подмену исторической связи поколений новой слабосодержательной формой. Да, как правило, старшие поколения не очень довольны происходящими изменениями и инновациями в информационной сфере, увлеченностью ими молодежи, но они уже ничего не могут изменить. Приходится самим адаптироваться как к новой молодежи, так и ее увлечениям.

Хотя нынешний разрыв между поколениями вызывает неоднозначный вопрос: почему на этот раз произошел сбой во взаимоотношениях? Ранее именно старшие поколения определяли, какой должна быть молодежь, что исповедовать, как себя вести и что пропагандировать. Была прямая преемственность моральных и нравственных ценностей, отрабатываемых исторически. Прежде ощущался дефицит (по современным меркам) глобальной информации (хотя поколения от этого не страдали), а сейчас эта среда формируется в условиях гиперинформационного давления, что, естественно, приводит к другим результатам – ощущению, что молодежь знает больше старших и родители им уже не пример в поведении. Старшие просто пасуют перед

всемирной информационной паутиной, ложно воспринимаемая молодое поколение как бы более информативным, образованным и грамотным.

Однако много информации не значит, что это хорошо. У поляков есть хорошее выражение: что занадто, то не здрое. С избыточной информацией то же самое. Она должна быть осмыслена, а для этого мозгу необходимо время. Но главное – необходим опыт, который позволит отбросить ненужное, а у молодых, по большей части, такого опыта нет. Информация поступает лавинно, но нет ни времени, ни опыта ее просеивания. Она довлеет и вынуждает соглашаться. В результате современный молодой человек все хуже справляется с простыми задачами анализа, оценки и синтеза информации.

Человек становится более примитивным, и это уже заметно. Дети теперь гораздо хуже справляются не только с математическими, но и с простыми бытовыми задачами, по сравнению с детьми 50–80-х гг. Они переполнены ненужной информацией, смысл которой не могут объяснить. Информпорталы называют это креативностью, что современный человек якобы способен творить с помощью компьютера. Но это творчество лишено души и духа. Да, искусственный интеллект учится заниматься творчеством, но почему же тогда молодое поколение проигрывает в креативности как старому поколению, так и современному искусственному интеллекту? А все просто: пользуясь возможностями Интернета, человек перестает творчески мыслить и перерабатывать информацию. Беспорно, искусственный интеллект научился рисовать по текстовому изложению, создавать музыку. Или мы близки к тому, что, загрузив в программу какую-то книгу, можно в результате получить ее экранизацию. Но делает ли это человека умнее и становится ли он более творческим? Совсем нет!

Крупнейшие IT-магнаты научили искусственный интеллект выводить закономерности из большой массы исходных данных в различных сферах жизнедеятельности, составлять сложные математические доказательства. Ученым на такие расчеты требуются годы. Но осознание опасности новых технологий появляется сейчас даже у их создателей. Так, Дж. Розенштейн, автор «кнопки крутости» Facebook, сообщил, что блокирует на своем смартфоне все новостные сайты и мессенджеры, установил лимит на пользование Facebook. Дело в том, как выявлено, что увлеченный человек касается экрана своего телефона

в среднем до 3 тыс. раз в день. Это уже очевидная привязанность, которая приводит к утрате навыков концентрации, уменьшению объема памяти, влияет на мышление, провоцирует агрессию, вызывает чувство тревоги, нарушение сна, депрессию. Уже практически никто не скрывает, что весь функционал социальных сетей направлен на формирование у пользователей зависимости. И это происходит независимо от человека, на психологическом уровне. Для этого используются искусные способы манипуляции человеческим поведением (характерные звуки, всплывающие уведомления, яркие значки непрочитанных сообщений, бесконечные ленты информации, автоматическое воспроизведение, рекомендации и пр.), к которым легко привыкнуть, но сложно отвыкнуть. А это квалифицируется специалистами уже как расстройство психики. Без объекта зависимости мозг начинает испытывать стресс и даже боль. Попробуйте отобрать телефон у зависимого человека или отключить ему Интернет – и все это можно увидеть уже наяву. Подростки испытывают настоящее физическое страдание, проявляют безудержную агрессию, а иногда и вовсе наступает самая настоящая «ломка». Не секрет, что интернет-зависимость переходит сейчас уже в разряд официально диагностируемых заболеваний. Человек, который провел в Интернете несколько часов, через непродолжительное время не может вспомнить, что там было. Благодаря исследованиям нейробиологов из Сицианского университета КНР установлено, что у цифрозависимых людей мозг теряет в объеме (усыхает) на 10–20%. То есть происходит прямое физическое оглупление. Особенность этого состоит в том, что цифровая реальность, с одной стороны, и специфика работы мозга в условиях гиперинформационной среды – с другой погружают человека в разные режимы функционирования, в связи с чем невозможно одновременно потреблять информацию и думать. Человек или потребляет контент, или думает. А поскольку мозг перегружается видеоинформацией, зоны мозга, ответственные за мышление, почти не совершенствуются. Это уже доказано научно и экспериментально.

Каждое новое поколение гаджетов все больше избавляет человека от необходимости думать. Зачем? Ведь все можно делегировать, вплоть до принятия решения, искусственному интеллекту (например, по платежам). Мобильная связь, навигатор, кредитная карта, сеть социальных контактов, база данных, возможность работать уда-

ленно, многочисленные сервисные службы и прочее невероятно расслабляют мозг. Современный телефон и компьютер владеют якобы всей необходимой информацией. А если ее нет, подключается поисковик. Волноваться не о чем – вся информация выдается в обобщенном и переработанном виде. Развивается своего рода «лайковое мышление»: нравится – лайкаем, не нравится – идем дальше. То есть искусственный интеллект умнеет, а люди, к сожалению, деградируют. Печально, конечно, осознавать, что есть глобальные системы и люди, которые могут манипулировать сознанием каждого человека, зная о нем все. Мы соглашаемся на это добровольно, купив новейший смартфон, загрузив приложение Facebook, открыв браузер Google и отовариваясь в гипермаркете или в Интернете. Теперь вопрос лишь в том, кто и как будет нами манипулировать.

Вся информация, которую мы сами о себе оставили в Сети, – это товар. Интернет-гиганты собирают ее, перерабатывают и продают. Такова суть бизнеса. Главные последствия наступающей «Четвертой промышленной революции» – Индустрии 4.0 – это тотальное перераспределение мирового влияния и богатства. Технологии начинают вымывать из производства людей. Нейросети устраняют не только офисных служащих, рабочих на предприятиях, продавцов, водителей, программистов, но и музыкантов, художников, журналистов и др. На вершине этой всемирной пирамиды окажется горстка людей, которым будут принадлежать нейросети и технологии, а всем другим станет предоставляться в лучшем случае минимальный социальный пакет. Избранным будет принадлежать и разрешено все, а остальным – ничего. Так что теперь пришло время серьезно подумать, запрещать или присмотреться, чтобы принять участие в гонке за всеобщий искусственный интеллект. Имея «цифровое оружие», мы наблюдаем настоящую технологическую гонку, в которой победитель, судя по всему, получит все. Эта гонка между неравнородным человеком и суперцифровизацией.

Впервые в истории человечества оружие под названием «искусственный интеллект» отделилось от своего субъекта и вошло в виртуальное пространство под названием цифровых технологий. Эта субстанция уже не принадлежит какому-то отдельному человеку, а существует вне контроля индивидуального пользователя.

Будущее приближается стремительно. То, что вчера казалось фантастикой, сегодня – реаль-

ность. Искусственный интеллект, автотранспорт без водителей, кибертерроризм... А дальше – больше.

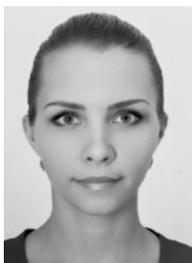
Все, что нам сейчас необходимо, это начинать думать. Надо хорошо осознавать механизмы нашего собственного мышления и заставить себя работать – умственно и физически. Важно быстрее избавиться от призрачных надежд, определить законы и закономерности, определяющие объективную реальность, и упорно работать над повышением своих умственных способностей. Конечно, мыслителей и думающих людей меньшинства. Но, как всегда, от стратегического меньшинства зависит будущее всей цивилизации.

Мышление современного человека – продукт информационной среды. Но очевидно, что здесь что-то не так. Это подтверждает хотя бы нарастающая потребность мотивации. Многие не знают, чего хотят, а если и выносят теоретические идеи, то не готовы и не способны напрягаться для их реализации. Искусственный интеллект уже научился за нас считать и искать, делать языковые переводы. Сейчас он становится уже и неплохим собеседником, причем на любую тему. На глазах одного поколения исчезают целые области человеческой деятельности, превращаясь в функционал искусственного интеллекта. Как лечить людей или водить машину, начинают знать только компьютеры с группой роботизированных систем. Думать не нужно совершенно. Правда в том, что нет никакой такой сугубо человеческой деятельности, которую не могли бы освоить роботы с искусственным интеллектом. Есть просто навыки выполнения работ или решения задач, которые берет на себя искусственный интеллект, не допуская субъективных ошибок, не требуя к себе особого внимания и не рассчитывая на повышение заработной платы. Это уже новая цивилизация. Не плохая и не хорошая, а просто другая. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Курпатов А. В. Четвертая мировая война. Грядущее уже рядом. СПб., – 2019.

# Естественен ли искусственный интеллект?



**Татьяна Филипович,**  
научный сотрудник  
Центра мозга  
Института  
физиологии  
НАН Беларуси



**Владимир  
Кульчицкий,**  
руководитель Центра  
мозга Института  
физиологии НАН  
Беларуси, академик

Научная проблема искусственного интеллекта возникла неслучайно. Развитие компьютерных технологий позволило создавать искусственные нейронные сети, функции которых напоминают работу естественных [1, 2]. Перспективы у данного направления огромны как в исследовательском, так и в прикладном аспектах [3, 4]. В нейронных сетях искусственного происхождения доминирует последовательный путь обработки информации, а в мозге животных и человека есть как последовательный, так и параллельный пути ее анализа. Эта и иные особенности являются своеобразным маяком для развития технологий совершенствования искусственного интеллекта [5].

Напомним, что возможности одного нейрона эквивалентны работе нескольких компьютеров. Масса мозга пчелы равна примерно 1 мг с общим числом нейронов 850 тыс., в мозге муравья их 250 тыс. Несмотря на сравнительно небольшие значения этих чисел, для анализа особенностей жизни данных особей требуется суперкомпьютер. Необходимы годы наблюдений за сложным поведением насекомых, птиц и иных представителей фауны для поиска определенных закономерностей.

В мозге человека чуть менее 100 млрд нейронов, для функционирования которых требуется энергия. Компьютеру также нужны ее источники. Для нейронных сетей мозга необходимо постоянное поступление питательных веществ, и в первую очередь кислорода, в качестве оптимального участника метаболических процессов. Однако энергетические запросы искусственных нейронных сетей колоссальны в сравнении с естественными.

Есть немало иных уникальных особенностей жизнедеятельности естественных нейронных сетей, к примеру, феномен обратной связи, который только внедряется в практику искусственного интеллекта [6, 7]. Имеет место своеобразный контроль трех алгоритмов: совершаемого действия, его программы и событий, которые происходят в самом организме или вне его. Все эти процессы позитивно отражаются на эффективности функционирования нейронных сетей.

Таким образом, для развития работ в данной области целесообразно продолжать детальное изучение механизмов функционирования естественного

интеллекта для более широкого использования полученных знаний в прикладном техническом аспекте с целью создания суперкомпьютеров принципиально нового уровня. В этом случае не надо будет остерегаться переходить дорогу на зеленый свет при виде приближающегося робота на автомобиле. Речь идет о совершенствовании в системах с искусственным интеллектом тех механизмов, которые обеспечивают эффективную работу нейронных сетей головного мозга человека, ответственных за формирование естественного интеллекта. Проблема введения обратной связи в искусственные нейросети трудно решается, но при широком внедрении этот метод будет дополнять стандартные способы (например, обратное распространение ошибок), добавляя новое качество для обучения нейронной сети.

Анализ научной литературы по проблеме искусственного интеллекта в медицинской отрасли демонстрирует лавинообразный рост публикаций по данной теме. Так, на платформе PubMed в апреле 2021 г. по сочетанию слов «artificial intelligence, human disease» обнаружено более 18 тыс. научных статей. При этом их число выросло с 400 до более чем 3 тыс. в год в течение последнего десятилетия. Применение искусственных нейронных сетей позволяет разобраться более детально в патогенезе социально значимых заболеваний [8, 9] или детализировать характер развития патологического процесса [10, 11].

Напоминая о том, насколько затратной является работа искусственных нейронных сетей, авторы обращают внимание на сформированные в процессе эволюции животных и человека закономерности стабильного обеспечения энергией естественных. На *рисунке* схематично изображены нейронные сети коры больших полушарий и ствола головного мозга человека. Стрелками обозначены восходящие и нисходящие потоки информации, необходимые для постоянного контроля центральной нервной системой всех функций и процессов в организме, что важно для продуктивной когнитивной деятельности.

25% каждого сердечного выброса крови доставляется к нейронным сетям головного мозга, имеющего массу менее 2 кг. Это важный факт, так как остальные 75% распределяются по организму человека массой около 65–75 кг. Это говорит о том, что энергозатраты мозга несопоставимо выше, нежели других органов. Эта закономерность обусловлена значимостью интегративной деятельности нейронных сетей мозга, которые помимо обработки информации и формирования множества алгоритмов речи, мыслей, эмоций, творчества также постоянно контролируют все системы организма.

Но есть и другие важнейшие аспекты в организации работы естественных нейронных сетей. Так, в стволе головного мозга расположены дыхательный и сосудодвигательный центры. Их нейронные сети (на рисунке схематично изображены в стволе головного мозга) обеспечивают контроль витальных систем организма – дыхания и кровообращения, при прекращении деятельности которых быстро наступает смерть. Обращает на себя внимание функциональная особенность их нейронных сетей – наиболее чувствительные к уровню кислорода рецепторные клетки расположены не в мозге, а у каротидного тельца, в области бифуркации сонных артерий, то есть непосредственно рядом с сердцем. Для оптимальной работы нейронных сетей витальных центров, от которых напрямую зависит продуктивность естественного интеллекта, природа сформировала рецепторы на вентральной поверхности ствола головного мозга [12–15], которые реагируют в первую очередь на изменение уровня углекислого газа в ткани мозга и концентрацию водородных ионов. Их нарастание – прямая угроза для нейронных сетей мозга и особенно для тех популяций нейронов, которые ответственны за формирование естественного интеллекта [12–15]. Эта небольшая деталь объясняет критичность для его сохранения локализации наиболее значимых рецепторов непосредственно около витальных центров. От оперативности реагирования нейронных сетей ствола



*Рисунок.* Нейронные сети коры больших полушарий и ствола головного мозга человека

головного мозга на быстро происходящие сдвиги газового гомеостаза ( $\text{CO}_2$ , водородные ионы,  $\text{O}_2$ ) зависит эффективность обратной связи от хеморецепторов мозга к нейронам дыхательного и сосудодвигательного центров.

Подобные закономерности для контроля результативности функционирования разработанных алгоритмов в нейросетях целесообразно учитывать в новых моделях искусственного интеллекта. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Qingzhou L., Yihang L., Ji L., Christian L., Fanqi W., Anyi Z., Zhen L., Mingrui C., Hongyu F., Jeffrey D., Xuan C., Chongwu Z. Fully Printed All-Solid-State Organic Flexible Artificial Synapse for Neuromorphic Computing // *ACS Appl Mater Interfaces*. 2019. №11 (18). P. 16749–16757.
2. Wang Z., Liu J., Chen X., Li G., Han H. Sparse self-attention aggregation networks for neural sequence slice interpolation // *BioData Min*. 2021. №14 (1). P. 1–19.
3. Melamane S., Walker R. B., Khamanga S. M. M. Formulation optimization of smart thermosetting lamotrigine loaded hydrogels using response surface methodology, box behken design and artificial neural networks // *Drug Dev Ind Pharm*. 2020. №46 (9). P. 1402–1415.
4. Bermudez-Contreras E. Deep reinforcement learning to study spatial navigation, learning and memory in artificial and biological agents // *Biol Cybern*. 2021. №115 (2). P. 131–134.
5. Sun J., Han G., Zeng Z., Wang Y. Memristor-Based Neural Network Circuit of Full-Function Pavlov Associative Memory With Time Delay and Variable Learning Rate // *IEEE Trans Cybern*. 2020. №50 (7). P. 2935–2945.
6. Vitalii M.P., Andrii O.H., Yevheniia O.H. Artificial intelligence in medical practice: regulative issues and perspectives // *Wiad Lek*. 2020. №73 (12). P. 2722–2727.
7. Segato A., Marzullo A., Calimeri F., De Momi E. Artificial intelligence for brain diseases: A systematic review // *APL Bioeng*. 2020. №4(4). P. 041503.
8. Yang H., Di X., Gong Q., Sweeney J., Biswal B. Investigating inhibition deficit in schizophrenia using task-modulated brain networks // *Brain Struct Funct*. 2020. №225 (5). P. 1601–1613.
9. Fürbass F., Kural M. A., Gritsch G., Hartmann M., Kluge T., Beniczky S. An artificial intelligence-based EEG algorithm for detection of epileptiform EEG discharges: Validation against the diagnostic gold standard // *Clin Neurophysiol*. 2020. №131 (6). P. 1174–1179.

Полный список использованных источников размещен

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕЛЕМЕТРИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Александр Дудкин,**  
завлабораторией  
идентификации систем  
Объединенного института  
проблем информатики  
НАН Беларуси, доктор  
технических наук,  
профессор

**Евгений Марушко,**  
научный сотрудник  
лаборатории  
идентификации систем  
Объединенного института  
проблем информатики  
НАН Беларуси, магистр  
профессор

**Валентин Ганченко,**  
ст. научный сотрудник  
лаборатории  
идентификации систем  
Объединенного института  
проблем информатики  
НАН Беларуси, кандидат  
технических наук

Телеметрия космических аппаратов (КА) представляет собой значения датчиков в виде многомерных временных рядов. Одной из задач в области контроля, управления и распознавания полученной информации является прогнозирование многомерного временного ряда [1, 2] по известному текущему значению последовательности  $y(k)$  и некоторой предыстории  $y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-t)$  дать оценку следующего значения  $\hat{y}(k+1)$ . Каждый элемент данной последовательности представляет собой набор значений в момент  $k$ . Длина предыстории  $t$  называется временным окном.

Широкое распространение для решения задач прогнозирования находит нейросетевой подход, позволяющий моделировать зависимости между данными в результате обуче-

SEE [http://innosfera.by/2021/05/artificial\\_intelligence](http://innosfera.by/2021/05/artificial_intelligence)

ния на примерах [4, 5]. При этом эффективность использования нейронных сетей (НС) зависит от архитектурных решений и методов обучения [1, 3], что приводит к необходимости многократного проведения экспериментов.

В данной работе исследуется возможность кратковременного прогноза телеметрических параметров с применением ансамблей нейронных сетей (АНС) [6–12], то есть набора НС, принимающего решения путем усреднения результатов работы отдельных из них. Базовыми моделями для АНС являются разнотипные, или гибридные нейросети. Последнюю можно построить, по крайней мере, из двух различных типов НС [13–18]. В прогнозном анализе и машинном обучении имеет место дрейф, означающий, что статистические свойства целевой переменной, которую модель пытается предсказать, меняются с течением времени непредсказуемым образом [7], что увеличивает вероятность ошибки прогнозирования. Следовательно, эффективность нейросетевой модели прогнозирования может быть повышена при помощи методов инкрементного обучения АНС [7, 11, 19].

## ПОСТРОЕНИЕ АНСАМБЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИИ

Рассмотрим построение ансамбля, когда в качестве базового элемента АНС используется многослойный перцептрон с одним скрытым слоем с нелинейной функцией активации *гиперболический тангенс*.

Размер входного слоя NI для НС одного АНС определяется как произведение числа датчиков подсистемы и временного окна. Размер выходного слоя NO – числом датчиков подсистемы. Размер скрытого слоя NH для НС одного АНС устанавливается при проведении эксперимента с процедурой поиска субоптимального размера скрытого слоя одиночных НС. Обучение последних осуществляется алгоритмом RPROP [20]. Выходное значение АНС формируется следующим образом:

**1** как сумма выходов отдельных НН и для случая с одним выходным нейроном вычисляется по формуле:

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

где  $n$  – число моделей НН,  $y_i$  – выход  $i$ -й НС;

**2** как взвешенная сумма выходов отдельных НН. Для случая с одним выходным нейроном вычисляется по формуле:

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \cdot w_i \quad (2)$$

где  $n$  – число моделей,  $y_i$  – выход  $i$ -й НН,  $w_i$  – вес  $i$ -й НН, который формируется по формуле:

$$w_i = \frac{mse_i}{\sum_{i=1}^n mse_i}, \quad (3)$$

где  $mse_i$  – среднеквадратическая ошибка (mean square error, MSE)  $i$ -й НС на валидационном наборе;

**3** как взвешенная сумма выходов отдельных НС (формулы 2 и 3), при этом взвешивание повторяется через определенный интервал обработанных наборов (временных отсчетов) с оценкой по этому набору (динамически взвешиваемый АНС), *рис. 1*.

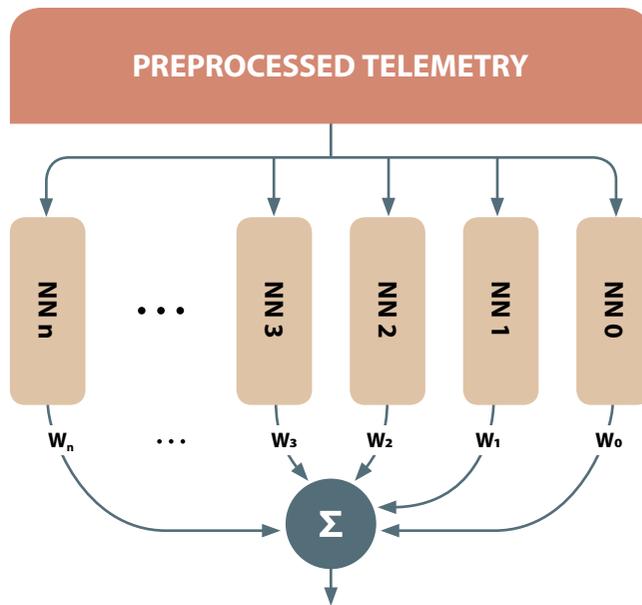


Рис. 1. АНС формирует взвешенную сумму выходов отдельных НН

Инкрементное обучение АНС может использоваться для детектирования *дрейфа значений* [7, 12]. Оно подразумевает оценку точности всех моделей и их ранжирование по точности на каждой итерации прогнозирования. При повышении ошибки АНС детектируется дрейф целевой переменной, и в ансамбль добавляется

новый элемент, обученный на релевантных данных. Для всех НС ансамбля производится пересчет весовых коэффициентов по формуле (3). При таком подходе сохраняется модель, заложенная при начальном обучении, и вносятся новые параметры без проблемы «забывания». Таким образом реализуется дообучение АНС.

Задача прогнозирования телеметрических данных решалась для трех подсистем БКА. Это система энергоснабжения (СЭ), корректирующая двигательная установка (КДУ) и целевая аппаратура (ЦУ). Соответственно, для обработки телеметрической информации (ТМИ) разработаны три АНС (рис. 2).

На вход АНС поступает предварительно обработанная ТМИ и идентификатор требуемой подсистемы. Супервизор формирует для нее сигнал выбора АНС, получает прогноз и инициирует процедуру дообучения. Блок инкрементного дообучения отвечает за подготовку набора данных и обучение новых элементов АНС.

Таким образом, двухуровневая модель АНС для прогнозирования телеметрии подсистем космического аппарата, представленная на рис. 2, формируется и работает по следующему алгоритму.

1. Указание размеров NPS ENNPS для обработки ТМИ СЭ, NCPS ENNCPS – для ТМИ КДУ, NTE ENNTE – для ТМИ ЦА.
2. Обучение NPS одиночных НС на наборе ТМИ СЭ.
3. Обучение NCPS одиночных НС на наборе ТМИ КДУ.
4. Обучение NTE одиночных НС на наборе ТМИ ЦА.
5. Расчет по формуле (3) весовых коэффициентов для одиночных НС каждого ENNPS, ENNCPS, ENNTE.
6. Получение ТМ-данных для обработки.
7. Определение обрабатываемой подсистемы СЭ, КДУ, ЦА.
8. Передача ТМ-данных в соответствующий АНС.
9. Формирование результата по формуле (1) или (2).
10. Выполнение инкрементного дообучения выбранного АНС.
11. Если есть данные для обработки, перейти на шаг 6.
12. Завершение работы.

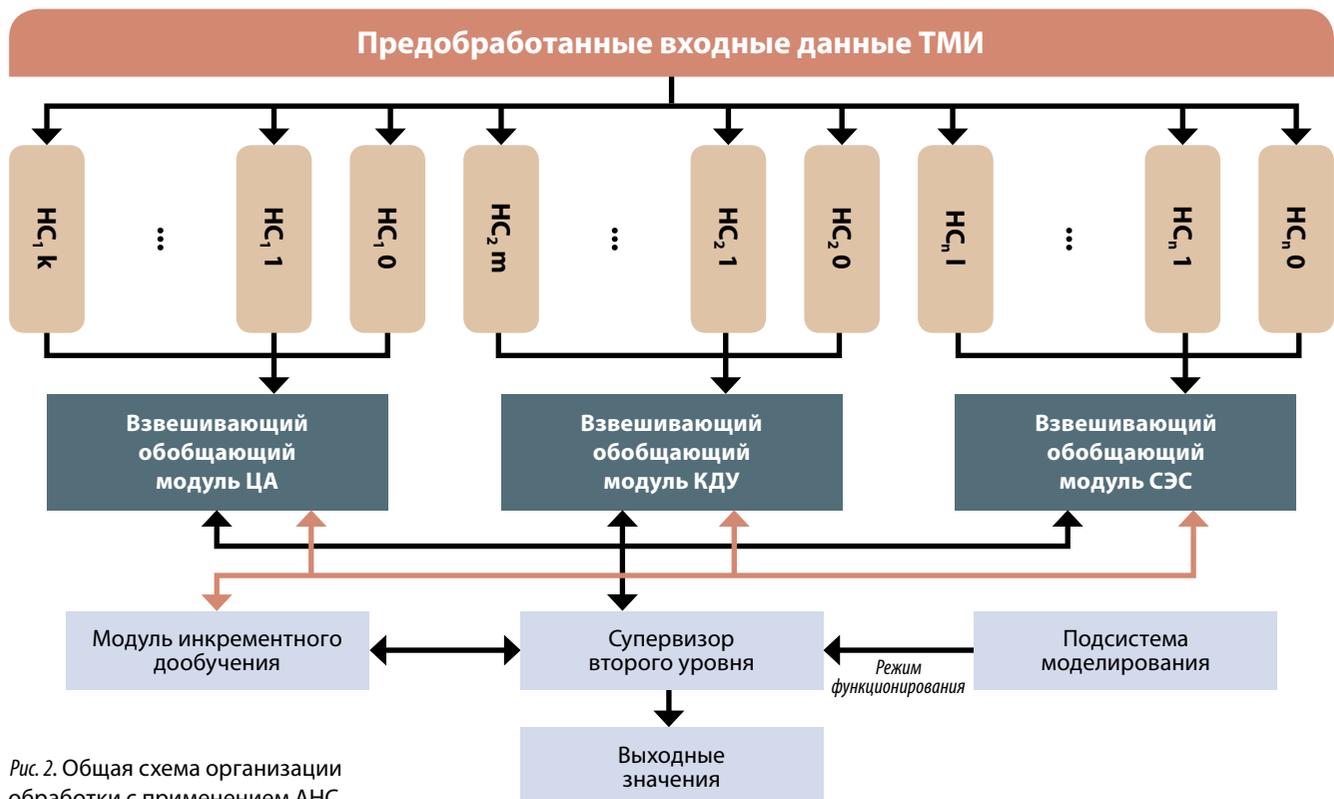


Рис. 2. Общая схема организации обработки с применением АНС

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНСАМБЛЕЙ

В *табл. 1* представлены параметры наборов данных, на которых проводился эксперимент. Его цель – определение влияния характеристик одиночной НС и архитектур АНС на результативность прогноза при окне прогнозирования, равном 20 отсчетам.

Набор представляет собой перечень телеметрической информации, формируемой датчиками КДУ и характеризующей функционирование данной подсистемы.

Создание пары обучающих примеров осуществляется по принципу скользящего окна [2]. При размерности временного ряда данных, равной  $N$ , размере окна –  $W$  НС должна принимать на вход образец размером  $N \times W$ . Так, для  $W=20$  набор  $Dt\_set\_s1$  преобразуется во входной размер 480×6589 и целевой размером 28×6589 наборы.

При подготовке обучающих данных выполняется ресемплирование (для преобразования исходных сведений, представляющих собой последовательность временных отметок важных событий в форму с фиксированным временем дискретизации) и масштабирование (для приведения данных в допустимый диапазон  $[-1, 1]$ ). Выходы сети также масштабируются.

Для оценки качества обученных НС и АНС,

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m e_i^2 \quad (4)$$

а также для сравнения различных архитектур АНС используются следующие величины:

- среднеквадратическая ошибка;
- средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE):

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |e_i| \quad (5)$$

Название набора	Шаг дискретизации, сек.	Размерность временного ряда	Количество отсчетов
Dt_set_s01	1	24	57501
Dt_set_s05	0,5	24	12245
Dt_set_s1	0,1	24	6613

*Таблица 1.* Наборы ТМИ КДУ

где  $e_i = y_i - t_i$ ,  $y_i$  и  $t_i$  – полученный и желаемый сигналы на выходе  $i$ -го нейрона выходного слоя соответственно,  $m$  – размер выходного слоя НС.

В данном эксперименте входной набор разделялся в соотношении 9:1 на общую обучающую выборку и итоговую тестовую. Первая разделялась на валидационную (15%), тестовую (15%) и обучающую (70%) случайным образом, которые использовались для обучения, оценки и поиска лучшей архитектуры НС. Итоговая тестовая выборка применялась для вычисления конечных оценок полученных НС.

### ОЦЕНКА РАЗМЕРА СКРЫТОГО СЛОЯ НС

Оценивалась возможность поиска субоптимального размера скрытого слоя одиночной НС по следующему алгоритму.

1. Определение ряда значений для поиска размера скрытого слоя.
2. Обучение 10 НС с размером скрытого слоя, равным текущему в ряду значений, формирование из 10 НС взвешенного ансамбля.
3. Оценка точности АНС.
4. Пока не просмотрены все значения из ряда для поиска, переход к следующему элементу интервала.
5. Выбор АНС с наименьшей MSE на интервале поиска, размер скрытого слоя элемента АНС будет подходящим решением. Критерием выбора является наименьшее значение среднеквадратической ошибки АНС.

Набор данных	Размер скрытого слоя
Dt_set_s1	28
Dt_set_s05	33
Dt_set_s01	70

*Таблица 2.* Оценка размера скрытого слоя НС

Стоит отметить, что данный алгоритм значительно увеличивает время создания архитектуры НС.

### АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ АНС

В *табл. 3* приведены оценки различных архитектур на тестовом наборе  $Dt\_set\_s1$  с размером скрытого слоя одиночной нейронной сети согласно данным *табл. 2*.

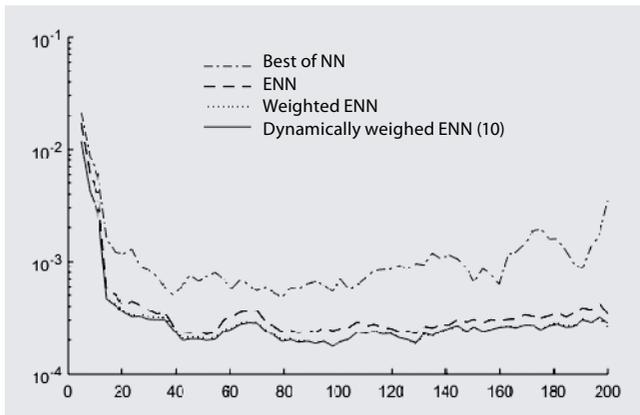


Рис. 3. Оценка различных архитектур в зависимости от размера скрытого слоя базовой НС

Архитектура	MSE, $10^{-4}$	MAE, $10^{-3}$
Одиночная НС	3,51	0,115
АНС	3,66	0,114
Взвешенный АНС	2,76	9,65
Динамически взвешиваемый АНС, шаг=10	2,75	9,59

Таблица 3. Оценка различных архитектур на тестовом наборе Dt\_set\_s1

Из данных в табл. 3 видно, что наименьшей ошибкой обладает динамически взвешиваемый АНС, при этом разница в оцениваемых параметрах между динамически и однократно взвешенными АНС очень мала.

### ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИ ВЗВЕШИВАЕМОГО АНС

Проведена оценка шага взвешивания для динамически взвешиваемого АНС. На рис. 4 представлен график MSE для различных АНС.

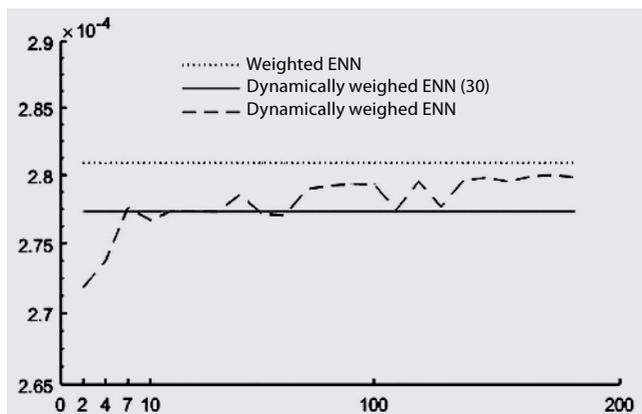


Рис. 4. Оценка динамически взвешиваемого АНС в зависимости от шага взвешивания

Архитектура	MSE	MAE
Одиночная НС	0,6035	0,48428
АНС	0,030388	0,12742
Взвешенный АНС	0,028874	0,12115
Динамически взвешиваемый АНС с шагом 10	0,02661	0,11703
Динамически взвешиваемый АНС с шагом 10 с дообучением	0,015286	0,08767

Таблица 4. Оценка архитектур на тестовом наборе с трендом и сезонным отклонением

Процедура оценки состоит из следующих шагов: обучение АНС с субоптимальным размером скрытого слоя; определение интервала поиска шага взвешивания; оценка MSE АНС, взвешенного АНС, динамически взвешенного АНС с фиксированным шагом, а также с шагом, равным текущему значению из интервала; до конца интервала поиска – переход к следующему его элементу.

Из данных табл. 4 видно, что наименьшей ошибкой обладает динамически взвешиваемый АНС с малым шагом (менее 10 временных отсчетов).

### ОЦЕНКА АРХИТЕКТУР НС ПРИ НАЛИЧИИ ДРЕЙФА ЦЕЛЕВОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Для данного эксперимента в исследуемые данные искусственно вносились модификации. Был добавлен линейно возрастающий тренд, а в качестве периодической составляющей моделировался синусоидальный сигнал. На рис. 5 показана модификация набора данных Dt\_set\_s1

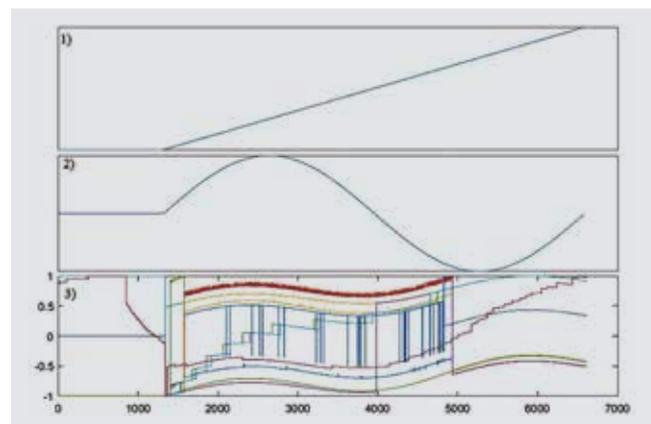


Рис. 5. Модификация набора данных для оценки дообучения АНС: 1) возрастающий тренд; 2) периодическая составляющая; 3) модифицированный многомерный сигнал

для оценки дообучения АНС. Первые 1319 отсчетов используются без модификации.

Процедура оценки состоит из следующих шагов: обучить АНС; модифицировать набор данных для обработки добавлением тренда и (или) сезонной составляющей; задать порог для алгоритма данного процесса и минимальный объем дообучающей выборки; оценить точность лучшей НС из 10, АНС, взвешенного АНС, динамически взвешенного АНС с фиксированным шагом, динамически взвешенного АНС с дообучением, которое производится только при накоплении указанного объема данных.

Все модели показали значительное падение точности на модифицированном наборе, включая и АНС с дообучением, что связано с интервалом накопления минимального объема выборки.

### СИСТЕМА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМ КА

На рис. 6 представлена схема функционирования системы нейросетевой идентификации состояния подсистем космического аппарата.

Совместно блок анализа переключений режимов и блоки контроля функционируют по схеме конечного автомата, в котором множество состояний содержит все допустимые режимы функционирования систем КА. В каждом блоке контроля выполняются следующие операции: проверка возможности реализации текущей команды; анализ нахождения ТМИ в границах допустимых значений; при успешном осуществлении предыдущих операций выбирается нейросетевой модуль идентификации, который на основе ТМИ делает заключение о вероятности появления нештатной ситуации в анализируемой системе КА.

Работа по данной схеме предполагает наличие этапа обучения, который включает формирование конечного автомата на основе описания режимов и ограничений функционирования, конструирование нейросетевых модулей для каждого режима их обучения на соответствующей выборке. При этом минимизируется целе-

вая функция, выстроенная в виде квадратичной суммы разностей между фактическими и ожидаемыми значениями выходных сигналов. Далее исходные данные преобразуются с учетом характера и типа проблемы, отображаемой НС моделью, и выбираются способы представления информации. Эффективность НС-модели повышается, если диапазоны изменения входных и выходных величин приведены к диапазону  $[-1, 1]$ .

Организация АНС в два уровня [11, 22] реализует гетерогенность нейросетевой системы, где первый уровень структуры представлен набором ансамблей разнородных сетей, а второй – одним обобщающим модулем. В качестве эксперта второго уровня может применяться ансамбль или одиночная сеть-супервизор, обрабатывающие выходные значения всех элементов первого уровня. АНС анализа временного ряда с различным шагом дискретизации представлена на рис. 7. В качестве базовой сети использовалась НС прямого распространения.

На первом этапе обучения исследовались 4 масштаба дискретизации входного временного ряда (элемент входного временного ряда

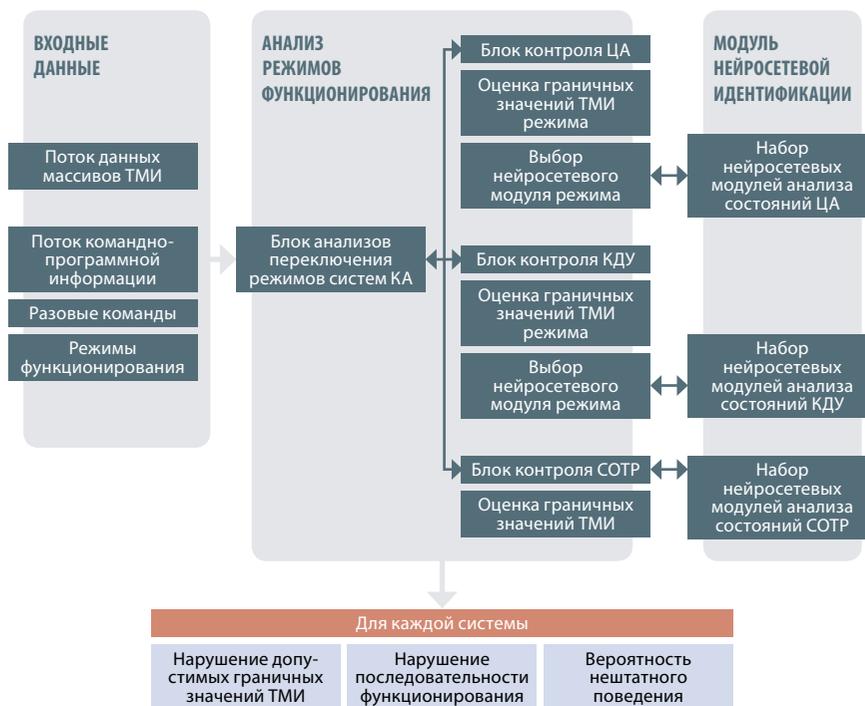


Рис. 6. Схема функционирования нейросетевой системы идентификации состояния подсистем КА

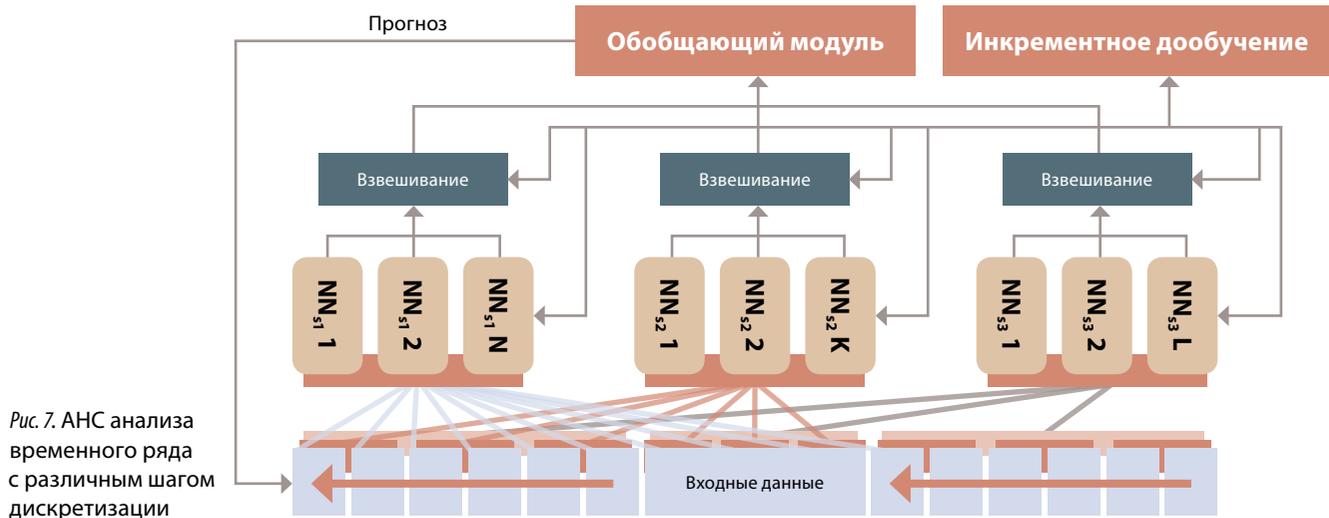


Рис. 7. АНС анализа временного ряда с различным шагом дискретизации

содержал 1, 2, 4, 8). В большинстве случаев 4-й и 8-й не вносили дополнительной точности, поэтому были отброшены. Также только небольшая часть одиночных НС исключалась для начального временного ряда, что говорит о том, что предсказываемое значение зависит от всех данных окна прогнозирования. Далее обобщающий модуль обучался на выходах всех ансамблей первого уровня (выходах взвешивающих модулей). Результатом его работы является кратковременный прогноз для временных рядов. Инкрементное дообучение использовалось в минимальной степени, так как в процессе обработки не возникало значительного падения точности прогнозирования. Сравнивались ее показатели у НС, АНС и предлагаемой двухуровневой модели (рис. 7). АНС представил точность на уровне лучшей одиночной НС, при этом обучение и выбор архитектуры не требовали больших временных затрат. Двухуровневая модель продемонстрировала некоторое улучшение по сравнению с АНС за счет использования второго масштаба.

Применение АНС значительно снижает ошибку при прогнозировании по сравнению с одиночной НС. Лучшей точностью обладает динамически взвешиваемый АНС с малым шагом взвешивания (менее 10 временных отсчетов), при этом разница в оцениваемых параметрах между динамически и однократно взвешенным АНС незначительна.

Наименьшая среднеквадратическая ошибка при анализе телеметрической информации, формируемой датчиками CPS, достигается при использовании динамически взвешиваемого АНС с шагом 10 и равна  $2,75 \times 10^{-4}$ . Для

модифицированных наборов данных с трендом и периодическим отклонением все модели показали значительное падение точности, в том числе АНС с дообучением, что связано с необходимостью обучения дополнительной НС на достаточном количестве отсчетов выборки. Результирующая точность при этом выше.

Для отработки технологий обработки телеметрических данных информации для диагностики подсистем КА в рамках НТП СГ «Мониторинг-СГ» в ОИПИ НАН Беларуси был разработан экспериментальный образец-прототип программной нейросетевой системы. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Short-Term Load and Wind Power Forecasting Using Neural Network-Based Prediction Intervals / Hao Quan [et al.] // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – Short-Term Load and Wind Power Forecasting Using Neural Network-Based Prediction Intervals. – 2013. Vol. 25. Iss. 2. ISSN: 2162–237X. P. 303–315.
2. Lysayak A.S. Prediction of multidimensional time series / A.S. Lysayak, B.Y. Ryabko // Vestnik SibGUTI. 2014. №4. P. 75–88.
3. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir / M. Valipour [et al.] // Journal of Hydrology 476 (2013). P. 433–441.
4. Khachumov V.M. Review of Standards and the concept of monitoring, control and diagnostics of the spacecraft tools building / V.M. Khachumov [et al.] // Software Systems: Theory and Applications. №3(26). Vol. 6. 2015. P. 21–43.
5. Emelyanov Yu.G.: Neural orientation angles and distance of the spacecraft sensor control system / Yu.G. Emelyanov, K.A. Konstantinov, S.V. Pogodin, etc. // Software Systems: Theory and Applications. 2010. №1(1). P. 45–59.
6. Neural network ensemble operators for time series forecasting / Nikolaos Kourentzes [et al.] // Expert Systems with Applications. July 2014. Vol.41. Iss. 9. ISSN: 0957–4174. P. 4235–4244.

Полный список использованных источников размещен

[SEE http://innosfera.by/2021/05/neural\\_network](http://innosfera.by/2021/05/neural_network)

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РЕЧЕВОЙ ИНТОНАЦИИ



**Борис Лобанов,**  
главный научный сотрудник  
Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, доктор технических наук



**Владимир Житко,**  
аспирант  
Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси

Интонация – самая эфемерная составляющая устной речи. На письме она передается весьма условно. По мнению директора Института лингвистики Российского государственного гуманитарного университета Максима Кронгуза, это, может быть, самая загадочная область фонетики, исследования которой только-только начинаются. Владение этим аппаратом – почти всегда интуитивное – очень помогает человеку в коммуникации.

Интонация практически позволяет выражать наши мысли, чувства, волевые устремления и внутреннее состояние наряду со словом, помимо слова, а иногда и вопреки ему. А.С. Макаренко, считавший умение педагога владеть своей речью одним из основных, говорил: «Я сделался настоящим мастером только тогда, когда научился говорить «иди сюда» с 15–20 оттенками, и тогда я не боялся, что кто-то ко мне не подойдет или не почувствует того, что нужно». С другой стороны, нарушения в этой области могут привести к серьезным смысловым изменениям, а также создать неверное впечатление о личности говорящего. Например, американские носители языка делают следующее интересное наблюдение: «Спросите у среднего американца, что они думают о российском акценте, и они говорят: «Русские звучат недружелюбно. Я чувствую, как будто они не любят меня». Одна из причин того, что русские, говорящие на английском языке, не звучат дружелюбно – это их плоский тон. Они просто не используют правильную интонацию во время разговора». Отметим, что особенно важна интонация при изучении китайского и других тональных языков.

Единство взаимосвязанных компонентов устной речи – это и есть интонация. Из всех ее акустических коррелятов наиболее универсальными и значимыми являются частотно-временные характеристики речевого сигнала, а именно – мелодика и темп речи.

Мелодика речи – это текущее изменение частоты основного тона (ЧОТ) голоса, характеризующееся диапазоном, регистром и формой

кривой ЧОТ. Она выполняет следующие функции: различает коммуникативные типы высказывания (побуждение, вопрос, восклицание и др.), оформляет его в единое целое, одновременно расчленяя на ритмические группы; выражает конкретные эмоции; характеризует язык и индивидуальность говорящего, а также ситуацию общения.

Темп речи – это текущее изменение длительности ее фонетических элементов и межфразовых пауз. С его помощью выражается степень важности содержания (более важное – медленным темпом, менее – быстрым); привлекается внимание слушающего (посредством замедления или ускорения темпа); отображается эмоциональное состояние (положительные эмоции ускоряют темп, отрицательные – тормозят его).

Системы оперативной оценки параметров мелодики и темпа речи являются слабо разработанной отраслью современных речевых технологий, однако они могут быть весьма востребованными во множестве практических приложений. Авторами разработаны два программных комплекса в данной области – «IntonTrainer» и «Speech Rate Meter». В основе разработок лежат научные результаты авторов, изложенные в [1–3].

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «INTONTRAINER»

Комплекс предназначен для компьютерного анализа интонации и обеспечивает визуальное отображение фразовых контуров ЧОТ и количественную оценку правильности интонирования речи на родном или иностранном языках [2]. В состав программного комплекса входят подсистемы, включающие наборы эталонных фраз, которые представляют основные интонационные модели русской, английской (британский и американский варианты), немецкой и китайской речи. В процессе обучения «IntonTrainer» сравнивает и дает численную оценку интонационного сходства произнесенной и эталонной фраз.

Для создания данной системы потребовалось решить ряд принципиальных проблем, к которым относятся:

- адекватное сопоставление произносимого (с заранее не известным началом и окончанием) и эталонного сигналов при условии наличия взаимной временной деформации;
- сегментация анализируемого сигнала на участки, для которых понятие ЧОТ имеет смысл с точки зрения формирования инто-

национного контура фразы в целом: участки гласных и большинства сонорных согласных;

- высокоточное вычисление частоты основного тона произносимого и эталонного сигналов без подстройки для мужских и женских голосов в широком диапазоне (от 40 до 1000 Гц);
- интерполяция значений ЧОТ на тех участках, для которых определение является некорректным (большинство согласных звуков);
- вычисление меры подобия (сходства) интонационных контуров произносимой и эталонной фраз в условиях их различной длительности и различных диапазонов ЧОТ.

Оценка интонационного сходства производится на основе представления тонального контура в виде универсального (унифицированного) мелодического портрета (УМП) [3], а именно в виде кривой на плоскости с нормированными координатными осями: время – TN и ЧОТ – F0. При этом дискретным интервалам на оси абсцисс соответствуют: [0–1/3] – пред-ядру, [1/3–2/3] – ядру, [2/3–1] – за-ядру. Интервалам на оси ординат соответствуют: [0–1/3] – низкому тону, [1/3–2/3] – среднему, [2/3–1] – высокому. При таком представлении основное внимание уделяется особенностям формы кривой ЧОТ на ядре при меньшем внимании на количественные и качественные составы пред- и за-ядра. В качестве критериев сходства интонации произнесенной фразы с эталоном выступают степень их близости по диапазону изменения частоты основного тона (F0) и по форме кривой, отображаемой в виде УМП.

Система «IntonTrainer» наглядно отображает на экране УМП фразы и критерии их сходства. Красный столбец слева показывает диапа-

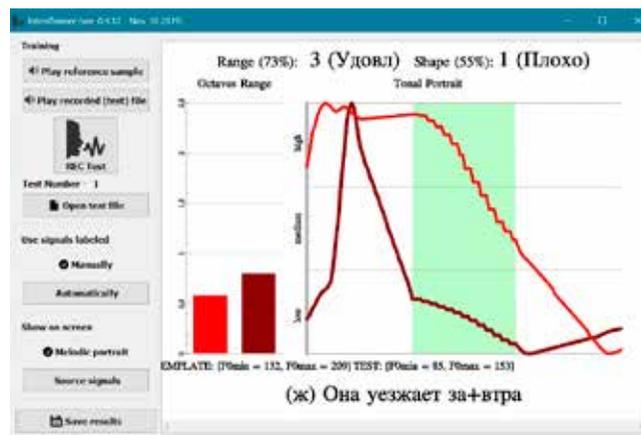


Рис. 1. Результат сравнения интонации фразы «Она уезжает завтра» (эталонной и произнесенной)



Рис. 2. Стартовое окно программы



Рис. 3. Модуль запуска прикладных задач (Launcher)

зон изменения F0 эталонной фразы «Она уезжает завтра» (рис. 1), а коричневый – произнесенной, справа – их линейный график УМП, внизу – минимальное и максимальное значения F0 эталонной (Template) и произнесенной (User) фраз. Оценка интонационного сходства синтезированной и естественной речи осуществляется по двум основным критериям: степени сходства диапазонов изменения кривых F0 и УМП. Вверху над графиками приведены значения для мер сходства по диапазону – Range 57% и по форме кривой мелодического портрета – Share 64%.

Версия программного комплекса, представленная на сайте, реализована для нескольких языков и с учетом решения различного рода прикладных задач, в том числе, для анализа эмоциональной речи и пения (рис. 2, 3).

Программный комплекс «IntonTrainer» является открытой системой. Допускается модификация используемых настроек и аудиоматериалов. Эталонные базы данных – PATTERNS – могут быть дополнены или модифицированы в соответствии с поставленной задачей либо сформированы заново для работы с новыми языковыми приложениями. Подробное описание работы с программой приведено в текстовом файле «User Guide» на веб-сайте <https://intontrainer.by>.

Программный комплекс «IntonTrainer» рекомендуется использовать:

- как средство визуализации интонации для первичного ознакомления с основными интонационными конструкциями речи, используемыми в различных языках;
- для самостоятельного тренинга и самоконтроля при изучении иностранных языков и при

совершенствовании интонационных навыков родной речи и пения;

- в научных исследованиях при изучении индивидуальных, эмоциональных и стилистических особенностей реализации интонации, для сравнительной оценки интонации речи и пения в норме и патологии, интонационного качества синтезированной речи.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «SPEECH RATE METER» (SRM)

Комплекс предназначен для численной оценки и экранного отображения просодических параметров темпа устной речи. Под темпом речи понимается скорость ее производства и обычно она измеряется числом слов, произносимых в 1 минуту (в англоязычной литературе обозначается как: wpm [words per minute]).

Темп речи мы предлагаем описывать как комплексный просодический компонент интонации, параметрами которого являются:

- *полный темп, или скорость чтения текста* (подсчитывается как количество слов в минуту за фактическое время произнесения с учетом длительности межфразовых пауз);
- *артикуляторный темп, или скорость речедвижений* (количество слов в минуту за суммарное время артикуляции слов, без учета длительности межфразовых пауз);
- *показатель паузации* (среднеквадратичное значение длительности паузальных участков – межсинтагменных или межфразовых пауз).

Для успешного расчета статистических характеристик темпа речи необходимо осуществить предварительную обработку речевого сигнала, состоящую из следующих этапов:

- *обработка с помощью фильтра, частотная характеристика которого согласована со среднестатистическими спектрами гласных и согласных звуков;*
- *расчет кривой интенсивности звуков речи  $E(n)$  при сглаживании возможных колебаний кривой интенсивности с частоты основного тона – F0 и сохранении динамики изменения интенсивности звуков речи;*
- *вычисление сглаженной кривой интенсивности  $E(m)$  путем дополнительной обработки кривой  $E(n)$ , полученной на предшествующем этапе;*

- *определение границ сегментов гласных звуков путем сравнения двух кривых –  $E(n)$  и  $E(m)$ , точки пересечения которых показывают границы гласных звуков;*
- *вычисление статистических характеристик длительности сегментов, необходимых для оценки параметров темпа речи. Необходимым и достаточно эффективным оказался следующий набор характеристик:*
  1.  $N_s$  – количество сегментов согласных и пауз;
  2.  $T_s$  – длительность анализируемого отрезка речи;
  3.  $T_v$  – суммарная длительность гласных сегментов;
  4.  $T_{ca}$  – среднеквадратичная длительность согласных и пауз;
  5.  $T_{cm}$  – среднемедианная длительность согласных и пауз.

Полученные значения используются затем для расчета комплекса численных оценок параметров темпа анализируемой речи, а именно:

- $R_s$  (wpm) – *полный темп – Speech Rate;*
  - $R_a$  (wpm) – *артикуляторный темп – Articulation Rate;*
  - $T_p$  (sec) – *показатель паузации – Phrase Pauses.*
- Сразу после запуска программы (рис. 4) пользователю предоставляются следующие возможности:
- *запись через микрофон достаточно длительного отрезка анализируемой речи (желательно не менее 10 сек);*
  - *вызов одного из заранее подготовленных тестовых аудиофайлов, хранящихся в папке «data-tests».*

После того как речевой сигнал введен, рассчитываются параметры темпа и открывается

главное информационное окно SRM с результатами (рис. 5).

В верхней части окна отображаются численные значения темповых параметров: Speech Rate (wpm) и Articulation Rate (wpm), а в нижней – Phrase Pauses (sec), а также длительность анализируемой речи – Speech Duration (sec). В средней части окна в виде двух подвижных дуг синего и зеленого цветов отображаются Speech Rate и Articulation Rate. Их длина нормирована относительно задаваемых пользователем минимального ( $R_{min}$ ) и максимального ( $R_{max}$ ) значений параметров темпа. Выбор этих значений определяется конкретными условиями применения SRM, при которых темп речи будет считаться медленным (Slow), средним (Average) или быстрым (Fast), что показано («wpm») на концах полуокружности.

Пользователю, исходя из его собственных научных или практических интересов, предоставляется возможность записи неограниченного количества речевых аудиофайлов от различных источников. Содержимое папки «tests» можно пополнять и озвучивать с помощью стандартных средств.

Подробное описание работы с программой приведено в текстовом файле «User Guide» на веб-сайте <https://intontrainer.by>.

Программный комплекс «Speech Rate Meter» рекомендуется использовать:

- *при подготовке выступлений и презентаций для самоконтроля и обучения желаемому темпу речи;*
- *для совершенствования навыков свободного чтения на родном и иностранном языках;*

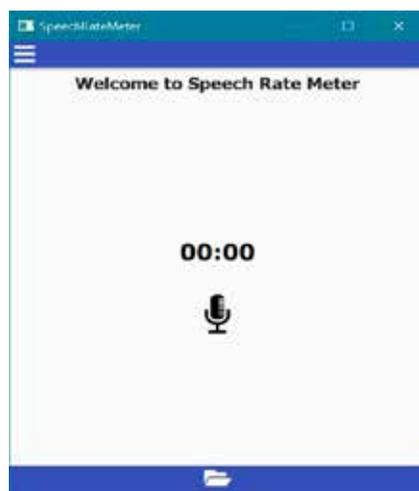


Рис. 4. Стартовое окно SRM, открываемое после запуска программы

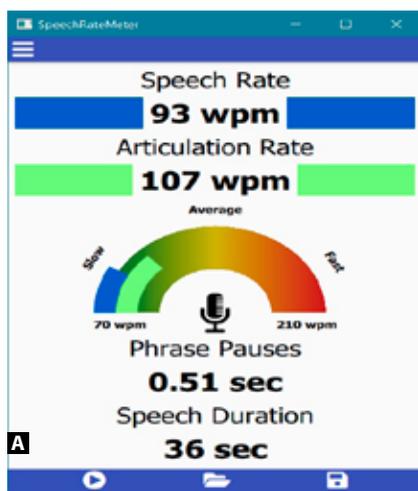


Рис. 5. Главное информационное окно SRM: А) медленный темп, Б) быстрый темп

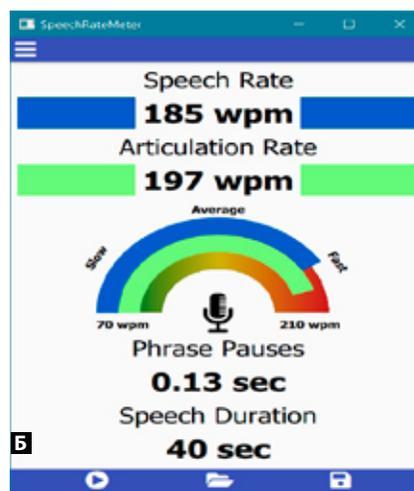




Рис. 6. Все страны на карте мира



Рис. 7. Страны Европы



Рис. 8. Страны Северной и Центральной Америки



Рис. 9. Страны Африки, Азии, Австралии

- в качестве средства самоконтроля для устранения дефектов речи, связанных с различными физиологическими нарушениями и болезнями;
- как средство мониторинга темпа речи в реальных условиях работы профессиональных операторов колл-центров, дикторов радио и телевидения.

Версии описанных компьютерных систем «IntonTrainer» и «Speech Rate Meter» для OS Windows размещены на сайте <https://intontrainer.by>. Обе программы общедоступны для бесплатной загрузки и тестирования. С использованием <https://datastudio.google.com/navigation/reporting> проведен анализ активности обращений пользователей к нашему сайту. К настоящему времени (начало мая 2021 г.) зафиксировано 3405 обращений к сайту от пользователей из 91 страны. На экранных копиях (рис. 6–9) наглядно представлена география обращений пользователей из населенных пунктов различных стран, полученная с помощью данных сайта <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=18QwNw88mRMaRnPC-EieTd7EhOzhxGZe>. Эти данные достаточно убедительно свидетельствуют о полезности разработанных программных продуктов.

Программные системы «IntonTrainer» и «Speech Rate Meter» для OS Windows, размещенные на сайте <https://intontrainer.by>, выпущены под разрешительной лицензией MIT, что позволяет программистам использовать лицензируемый код в закрытом программном обеспечении при условии, что текст лицензии предоставляется вместе с ним. Закончена разработка мобильной версии системы «Speech Rate Meter» в OS Android, которая доступна в Google Play (<https://play.google.com/store/apps/details?id=by.intoncore.SpeechRateMeter>). ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лобанов Б. М. Компьютерный синтез и клонирование речи / Б. М. Лобанов, Л. И. Цирульник. – Минск, 2008.
2. Лобанов Б. М. Компьютерная система обучения интонационным конструкциям русской речи / Б. М. Лобанов, В. А. Житко, А. А. Харламов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: материалы Междунар. Конф. «Диалог-2017», Москва, 31 мая – 3 июня 2017 г.). Вып. 16 (23). В 2 т. – М., 2017. С. 287–302.
3. Лобанов Б. М. Универсальные мелодические портреты интонационных конструкций русской речи / Б. М. Лобанов, Т. И. Окрут // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» (Москва – Бекасово, 4–8 июня 2014 г.). Вып. 13 (20). – М., 2014. С. 330–339.

# НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВИЧ-1

**Александр Андрианов,**  
главный научный сотрудник Института  
биоорганической химии НАН Беларуси, доктор  
химических наук

**Григорий Николаев,**  
научный сотрудник Объединенного института  
проблем информатики НАН Беларуси

**Никита Шульдов,**  
магистрант Белорусского государственного  
университета

**Иван Босько,**  
младший научный сотрудник Объединенного  
института проблем информатики НАН Беларуси

**Александр Тузиков,**  
генеральный директор Объединенного  
института проблем информатики НАН Беларуси,  
член-корреспондент

Современные методы компьютерного конструирования потенциальных лекарств значительно расширяют возможности фармацевтической индустрии, позволяя существенно сократить время и затраты, необходимые для их создания. Несмотря на то, что эффективность этих методов в разработке новых препаратов общепризнана, новые математические подходы в сочетании с доступностью мощных и дешевых вычислительных ресурсов способствуют их постоянному совершенствованию. Важное место при этом занимают методы машинного обучения (Machine Learning) и, в частности, глубокого обу-

чения (Deep Learning), которые обладают большим потенциалом для дальнейшего прогресса в данной области исследований [1, 2]. Компьютерное конструирование потенциальных лекарственных препаратов с их помощью – одна из наиболее важных и быстро развивающихся областей био- и хемоинформатики [1, 2]. Современные методы машинного обучения могут использоваться для моделирования количественной взаимосвязи «структура-активность» (QSAR; Quantitative Structure-Activity Relationship) или количественных соотношений «структура-свойство» (QSPR) и разработки интеллектуальных инструментов, способных точно предсказывать влияние химических модификаций соединения на его биологическую активность, фармакокинетические и токсикологические характеристики [1, 2]. Кроме этого, данные методы могут применяться для автоматического и прямого извлечения дескрипторов из химических структур [3], перепрофилирования лекарств [4], предсказания структуры белков [5], виртуального скрининга кандидатов в препараты и энергии их связывания с молекулярной мишенью [6]. Машинное обучение также можно использовать для создания новых соединений с заданными структурными и функциональными свойствами [7–9]. За последние 5 лет генеративные модели глубокого обучения стали инновационными методами разработки лекарств *de novo*. Благодаря огромному прогрессу в данной области созданы генеративные модели с различной архитектурой, типами данных и методами обучения, которые представляют перспективные решения для конструирования новых лекарств [7–9]. Недавние исследования с применением генеративных моделей глубокого обучения показали их способность генерировать молекулы, которые могут быть синтезированы, активны, метаболически стабильны и проявляют активность *in vivo*. В частности, ингибитор Янус-киназы 3, представляющий новый класс иммуномодулирующих агентов, разработан с помощью условно-состязательного автоэнкодера [10]. Кроме того, активные *in vivo* ингибиторы рецепторов 1 и 2 дискоидинового домена созданы с использованием генеративного обучения, а их фармакокинетический профиль подтвержден *in vivo* [11]. В связи с этим разработка и применение генеративных методов глубокого обучения для автоматизированного конструирования потенциальных лекарств имеет большое научное и практическое значение.

В последние годы появилось большое число работ по применению методов машинного обучения для

предсказания потенциальных ингибиторов ВИЧ-1 и резистентности вируса к анти-ВИЧ препаратам [12]. Однако все эти исследования сконцентрированы на вирусных ферментах – обратной транскриптазе и протеазе. Соединения, блокирующие их, не могут предотвращать проникновение вируса в клетку-мишень, что повышает внимание к ингибиторам ВИЧ-1, способным вмешиваться в ранние стадии жизненного цикла вируса путем блокирования процессов адсорбции и слияния мембран. Попадание вирусного генома в клетку хозяина – первый этап репликационного цикла ВИЧ-1 – представляет собой перспективную мишень для нескольких типов противовирусных препаратов, таких как ингибиторы связывания белка gp120 с первичным рецептором CD4, антагонисты корецепторов CCR5 и CXCR4 и ингибиторы слияния оболочки вируса с мембраной чувствительной клетки [13].

Была поставлена цель – разработать и применить генеративный состязательный автоэнкодер для идентификации потенциальных ингибиторов ВИЧ-1, способных блокировать гидрофобную полость Phe-43 белка gp120, критически важную для адсорбции вируса на поверхности CD<sup>+</sup> T-клеток и последующего проникновения вирусного генома в клетку-мишень [13]. Выполнены исследования, включающие следующие этапы: создание архитектуры автоэнкодера; формирование молекулярной библиотеки потенциальных лигандов белка gp120 ВИЧ-1, предназначенной для обучения и тестирования нейронной сети; молекулярный докинг лигандов с белком gp120 и расчет свободной энергии связывания; генерация молекулярных дескрипторов химических соединений обучающего набора данных; обучение разработанного автоэнкодера и его тестирование на наборе данных, включающем более 21 млн молекул из библиотеки химических соединений ZINC15 [14].

## РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТИВНОЙ СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Архитектура разработанного состязательного автоэнкодера состоит из двух нейросетей – автоэнкодера и дискриминатора, работающих во время обучения в соревновательном режиме. Автоэнкодер представляет собой 7-слойную нейронную сеть, имеющую входной, выходной и латентный слои, а также 4 полносвязных (рис. 1). На первый слой подаются молекулярные дескрипторы химических соединений, которые обрабатываются на двух полносвязных слоях (энкодер) и попадают на латент-

ный слой, где к полученному результату добавляется численная оценка энергии связывания с молекулярной мишенью. Далее молекулярные дескрипторы проходят 2 полносвязных слоя (декодер) и попадают на выход, который, как и вход, представляет собой вектор дескриптора. Работающая в таком режиме сеть формирует сжатое представление входного вектора на латентном слое с последующим его расширением на выходе декодера. Латентный слой состоит из трех нейронов, два из которых получают значения от энкодера, а третий – от энергии связывания с молекулярной мишенью. В генеративном режиме автоэнкодера на латентный слой, содержащий наиболее важную информацию об объекте, подаются случайные числа и требуемая оценка величины свободной энергии связывания, затем они проходят через декодер, генерирующий дескрипторы молекул с требуемыми свойствами. Для генерации таких молекул важно, чтобы данные, поступающие на латентный слой после прохождения энкодера, имели нормальное распределение, на которое обучен дискриминатор. Для обеспечения этого условия в процессе состязательного обучения энкодера и дискриминатора добивались того, чтобы энкодер был способен кодировать на латентный слой данные с нормальным распределением, а дискриминатор – отличать стандартное нормальное распределение (сгенерированные данные) от поступающего на латентный слой.

Разработанный автоэнкодер основан на модели нейронной сети, предназначенной для генерации химических соединений с противоопухолевой активностью [8], но имеет ряд особенностей (рис. 1).

1. *Вместо нейрона, ответственного за процентное ингибирование роста клеток [8], к латентному слою добавляется нейрон, отвечающий за значения свободной энергии связывания. Этот нейрон не взаимодействует с энкодером и подается только на вход декодера вместе с данными, полученными с помощью энкодера. На этапе обучения значения этого нейрона присваиваются в соответствии с оценкой величины свободной энергии связывания для тестируемых соединений. На генеративной стадии его значения имеют смысл порога свободной энергии связывания. Латентный слой содержит 3 нейрона.*
2. *Энкодер состоит из двух полносвязных слоев L1 и L2 с 32 и 16 нейронами соответственно. Декодер включает два слоя L'1 и L'2, содержащие 16 и 32 нейрона соответственно.*

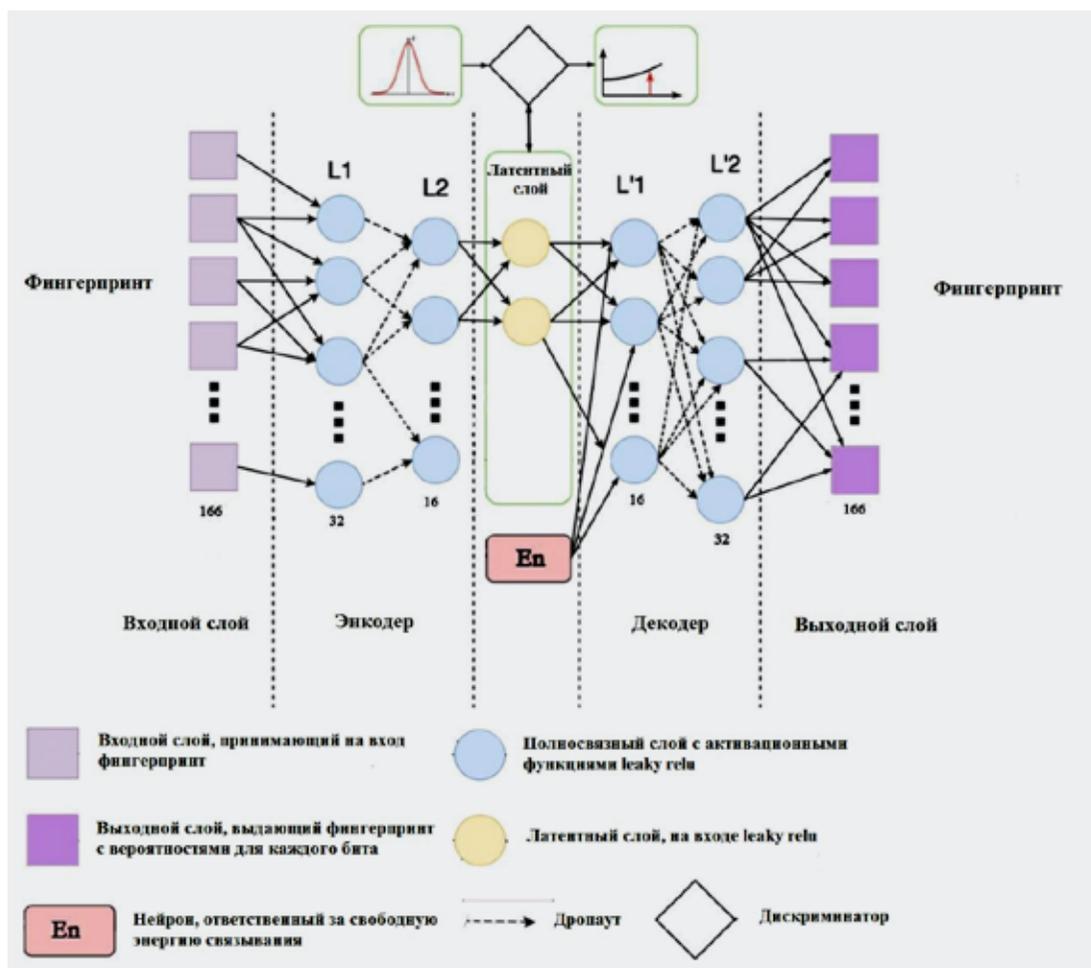


Рис. 1. Архитектура нейронной сети для генерации потенциальных ингибиторов ВИЧ-1, блокирующих CD4-связывающий сайт белка gp120 оболочки вируса

3. Дискриминатор состоит из четырех слоев, включающих 2, 16, 3 и 1 нейрон соответственно.
4. На промежуточных слоях автоэнкодера используется активационная функция *leaky relu* [15].
5. На всех слоях дискриминатора имеются сигмоидные активационные функции [16].
6. Для обеспечения дополнительного уровня защиты от переобучения между двумя полносвязными слоями энкодера и декодера добавлен слой дропаута, наличие которого позволяет нейронной сети полностью задействовать все свои параметры (веса) за счет отключения случайных из них во время обучения.

Основное назначение дропаут-слоя заключается в том, чтобы вместо одной сети обучить ансамбль из нескольких, а затем усреднить полученные результаты. Для этого использовали трехступенчатый итерационный процесс: обучение дискриминатора различать заданное нормальное распределение от закодированного, полученного энкодером на латентном слое; совместное обучение энкодера

и декодера как автоэнкодера; обучение энкодера сжимать данные таким образом, чтобы они представляли нормальное распределение.

## СОЗДАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АВТОЭНКОДЕРА

Формирование обучающего набора данных выполнено в рамках подхода, использующего методологию клик-химии [17] для генерации наиболее вероятных структур-кандидатов биологически активных соединений. Для конструирования потенциальных лигандов с помощью программы DataWarrior [18] были созданы две молекулярные библиотеки. Первая (библиотека 1) включала отобранные из кластера Drug-Like базы данных ZINC15 [14] небольшие молекулы (масса < 250 Да) с азидной или алкиновой группами, содержащие ароматические фрагменты – элементы структуры, которые, согласно данным об известных ингибиторах про-

никновения ВИЧ-1 [19, 20], играют ключевую роль для специфического взаимодействия с Phe-43-полостью CD4-связывающего сайта белка gp120. В библиотеку 2 были отобраны все низкомолекулярные соединения с молекулярной массой < 250 Да, имеющие азидную или алкиновую группы. В результате работы программы DataWarrior библиотека 1 включала 1388 соединений, а библиотека 2 – 3769. На следующем этапе они были использованы в качестве исходных реагентов для имитации реакции азид-алкинового циклоприсоединения с помощью программы AutoClickChem [21], рассматривающей все возможные комбинации молекул из библиотек 1 и 2. Это позволило получить набор из 1 655 301 гибридной молекулы, из которого 120 тыс. соединений, удовлетворяющих «правилу пяти» Липинского [22], были использованы для формирования обучающего набора данных. Оценку энергии их связывания с белком gp120 проводили методом молекулярного докинга – процедуры виртуального скрининга, позволяющей предсказать наиболее вероятные ориентации лиганда в активном центре белка и рассчитать свободную энергию образования комплексов лиганд/белок.

Генерацию молекулярных дескрипторов MACCS [23] в обучающем наборе данных осуществляли с помощью программного пакета RDKit [24] с открытым исходным кодом. Молекулярный докинг лигандов с белком gp120 выполняли в программе QuickVina 2 [25] с учетом конформационной подвижности лиганда. Трехмерную структуру белка gp120 выделяли из комплекса этого гликопротеина

с рецептором CD4 и антителом 17b (код 1GC1 в Банке данных белков [26]). Атомы водородного рода добавляли к структуре белка gp120 с использованием программного пакета AutoDockTools. Ячейка для докинга представляла фрагмент белка gp120 с координатами  $x \in (24 \text{ \AA}; 34 \text{ \AA})$ ,  $y \in (-15 \text{ \AA}; -5 \text{ \AA})$ ,  $z \in (78 \text{ \AA}; 88 \text{ \AA})$ , включающий Phe-43-полость гликопротеина; то есть ее объем составлял  $10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ \AA}^3$ . Параметр, характеризующий полноту поиска (охват конформационного пространства), был задан равным 50.

## НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРОТИВ ВИЧ-1

Применение разработанного автоэнкодера для прогнозирования ингибиторов ВИЧ-1 предполагает работу этой нейронной сети в сочетании с виртуальным скринингом и традиционными методами молекулярного моделирования. Общая схема алгоритма прогнозирования анти-ВИЧ-1 препаратов показана на рис. 2.

Автоэнкодер генерирует набор структурных ключей MACCS при заданном пороговом значении энергии связывания для скрининга библиотеки молекулярных дескрипторов из базы данных ZINC15. Соединения с молекулярными дескрипторами, подобными тем, что генерируются автоэнкодером, связываются с белком gp120 оболочке ВИЧ-1 с использованием

методов молекулярного докинга. Затем комплексы лиганд/gp120 оптимизируются полуэмпирическим квантово-химическим методом PM7 для повышения точности предсказания типов взаимодействий, полученных на основе алгоритмов, базирующихся на классических силовых полях. На заключительном этапе выполняется моделирование молекулярной динамики комплексов идентифицированных соединений с белком gp120 с последующим анализом MD-траекторий, включая предсказание межмолекулярных взаимодействий и аффинности связывания для динамических структур лиганд/gp120.

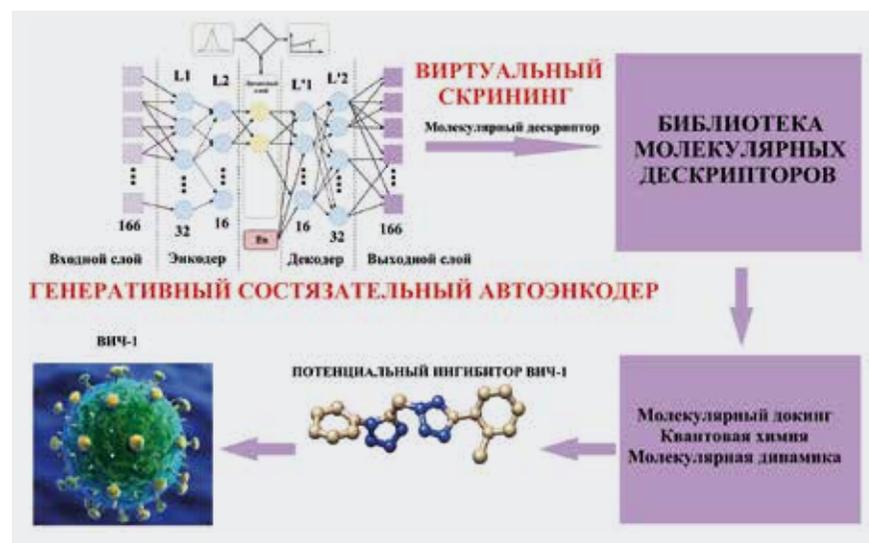


Рис. 2. Схема работы разработанной нейронной сети для предсказания потенциальных ингибиторов белка gp120 ВИЧ-1

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ И РАБОТЫ АВТОЭНКОДЕРА

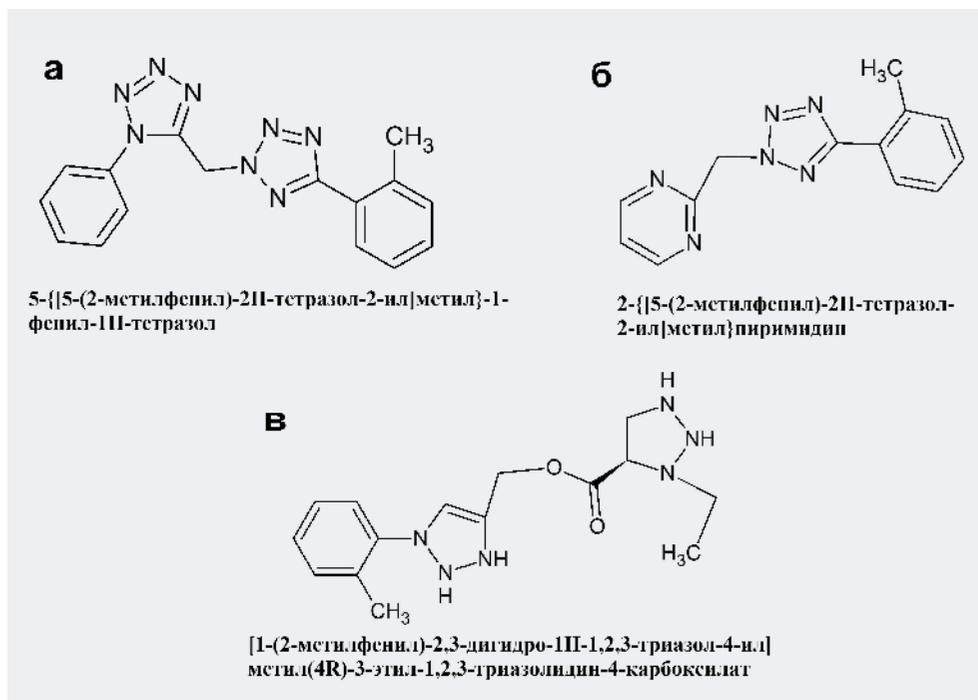
Для тестирования автоэнкодера с помощью программного пакета RDKit [24] была создана библиотека структурных ключей MACCS [23] для 21 325 567 соединений из базы данных ZINC15 [14] и рассчитаны 5 молекулярных дескрипторов для сгенерированных молекул при пороговых значениях энергии связывания, равных 5 ккал/моль и 8 ккал/моль. В результате виртуального скрининга для каждой из этих молекул были найдены лиганды с подобными дескрипторами. При этом в качестве меры подобия использовали расстояние Хэмминга, определяемое в теории кодирования как число пар несовпадающих компонент сравниваемых векторов [27], и коэффициент Танимото, который вычисляли по формуле [28]:

$$T(a, b) = \frac{N_c}{N_a + N_b - N_c},$$

где  $T$  – коэффициент Танимото, принимающий значения от 0 до 1;  $N_a$  – количество элементов в первом векторе;  $N_b$  – количество элементов во втором векторе;  $N_c$  – количество одинаковых элементов в двух векторах. В процессе скрининга библиотеки молекулярных дескрипторов из базы данных ZINC15 отбирали соединения, для которых коэффициент Танимото удовлетворял условию  $T > 0,85$  [28].

Идентифицированные в базе данных ZINC15 соединения подвергали процедуре докинга с белком gp120 и рассчитывали энергию связывания с Phe-43-полостью CD4-связывающего сайта оболочки ВИЧ-1. Молекулярный докинг проводили с помощью вычислительного протокола программы QuickVina 2 [25], идентичного тому, что был применен при создании обучающего набора данных. Анализ результатов молекулярного докинга найденных соединений с белком gp120 показал, что совместное использование нейронной сети с виртуальным скринингом библиотеки молекулярных дескрипторов позволяет идентифицировать лиганды с более низкой по сравнению с заданным пороговым значением энергией связывания. При этом найденные в базе данных ZINC15 [14] соединения с кодами ZINC000026430653, ZINC000191389930 и ZINC000293423658 (рис. 3) характеризуются величинами энергии связывания с белком gp120, сопоставимыми со значением  $-9,5 \pm 0,1$  ккал/моль, измеренным для комплекса CD4-gp120 методом изотермической титрационной калориметрии [29]. Эти величины близки к значениям оценочной функции QuickVina 2 [25], полученным нами ранее [30–33] для высокоаффинных лигандов белка gp120, сконструированных методами молекулярного моделирования, а также для ингибиторов ВИЧ-1 NBD-11021 и NBD-14010, представляющих новое поколение полных функциональных антагонистов клеточного рецептора CD4 [34]. Кроме того, приведенные выводы согла-

Рис. 3. Химические структуры ZINC000026430653 (а), ZINC000191389930 (б) и ZINC000293423658 (в). Для этих молекул четыре параметра Липинского [22] – молекулярная масса, липофильность (LogP), число доноров и акцепторов водородной связи – равны соответственно: (а) 318,344 Да, 1,673, 0 и 8; (б) 252,281 Да, 1,487, 0 и 6; (в) 312,333 Да, 1,544, 0 и 8



суются со значениями свободной энергии связывания анализируемых молекул с белком gp120, рассчитанными на основе предсказанных значений констант диссоциации ( $K_d$ ) комплексов по формуле  $\Delta G = R \cdot T \cdot \ln(K_d)$ , где  $\Delta G$  – энергия связывания,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура, равная 310 К [35]. Полученные данные показывают, что идентифицированные соединения могут проявлять сильное связывание с гидрофобной полостью Phe-43 белка gp120 ВИЧ-1 в соответствии с низкими значениями энергии, сравнимыми с предсказанными для ингибиторов ВИЧ NBD-11021 и NBD-14010.

Исследование комплексов лиганд/gp120 с помощью полуэмпирического метода квантовой химии PM7 свидетельствует о наличии многочисленных ван-дер-ваальсовых контактов между идентифицированными соединениями и Phe-43-полостью белка gp120, которая играет ключевую роль в связывании ВИЧ-1 с клеточным рецептором CD4 (рис. 4) [26]. По аналогии с молекулой CD4 [26] одна из ароматических систем этих соединений погружена в гидрофобный карман Phe-43-полости белка gp120, имитируя основные взаимодействия бензольного кольца Phe-43<sub>CD4</sub> с функционально важными остатками гликопротеина. Этими остатками gp120 являются Val-255, Thr-257, Glu-370, Ile-371, Asp-368, Ser-375, Phe-382, Trp-427 и Met-475 (рис. 4). Согласно данным о структуре белка gp120 в комплексе с молекулой CD4 в кристалле [26], все эти аминокислоты участвуют в прямых межатомных контактах, а консервативные остатки Asp-368, Glu-370 и Trp-427 доминируют в интерфейсе gp120/CD4.

Наряду с ван-дер-ваальсовыми контактами анализ комплексов лиганд/gp120 указывает на высокую вероятность реализации особого типа слабой водородной связи C–H...O между группами CH ароматических колец соединений ZINC000026430653, ZINC000191389930, ZINC000293423658 и карбоксильной группой остатка Asp-368, расположенного у входа в Phe-43-полость белка gp120. Об этом свидетельствуют значения расстояния  $d$  между атомами C

и угла между атомами C, H и O (рис. 4), которые подтверждают предположение о том, что указанные атомы могут быть вовлечены в диполь-диполь взаимодействие C–H...O [37]. Эти результаты представляют значительный интерес, так как водородная связь с остатком Asp-368 белка gp120 очень важна для потенциальных миметиков CD4, чтобы проявлять свойства низкомолекулярных антагонистов рецептора CD4 [20].

Таким образом, данные молекулярного докинга в сочетании с квантово-химическими расчетами показывают, что идентифицированные соединения могут проявлять высокую аффинность связывания с гидрофобной полостью Phe-43 белка gp120 путем имитации ключевых взаимодействий CD4 с этим гликопротеином оболочки ВИЧ-1.

Молекулярная динамика подтверждает данные о высоком сродстве связывания идентифицированных соединений с gp120, полученные в результате

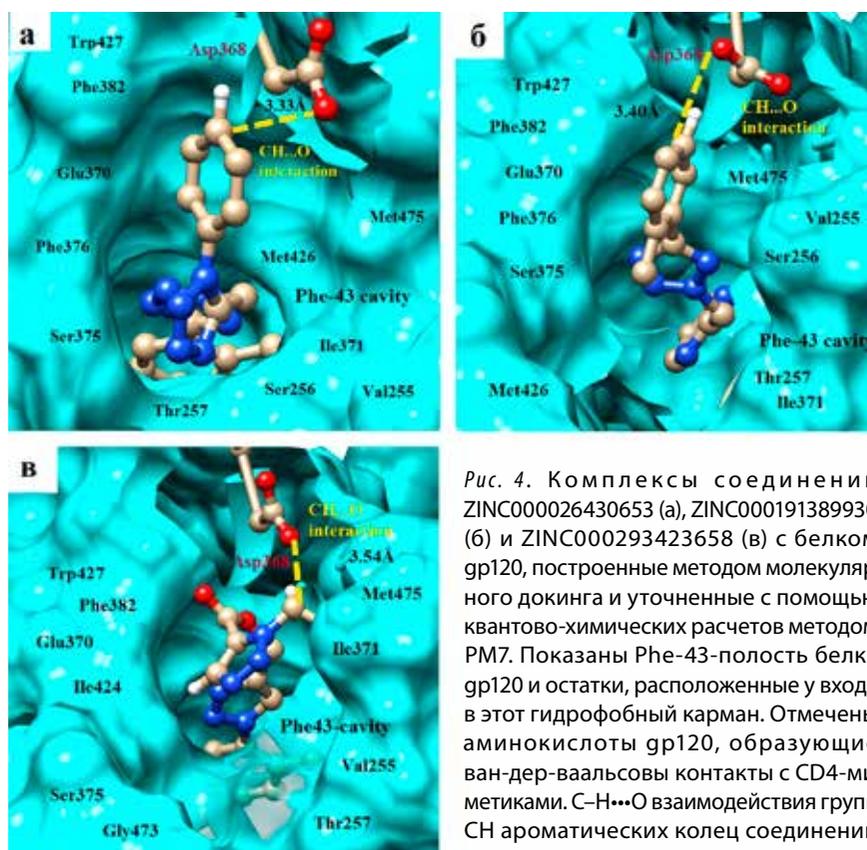


Рис. 4. Комплексы соединений ZINC000026430653 (а), ZINC000191389930 (б) и ZINC000293423658 (в) с белком gp120, построенные методом молекулярного докинга и уточненные с помощью квантово-химических расчетов методом PM7. Показаны Phe-43-полость белка gp120 и остатки, расположенные у входа в этот гидрофобный карман. Отмечены аминокислоты gp120, образующие ван-дер-ваальсовы контакты с CD4-миметиками. C–H...O взаимодействия групп CH ароматических колец соединений ZINC000026430653, ZINC000191389930 и ZINC000293423658 с карбоксильной группой Asp-368 белка gp120 отмечены пунктирными линиями

Лиганд	$\langle \Delta H \rangle \pm (\Delta H)_{\text{STD}}$ ккал/моль	$\langle T\Delta S \rangle \pm (T\Delta S)_{\text{STD}}$ ккал/моль	$\langle \Delta G \rangle \pm (\Delta G)_{\text{STD}}$ ккал/моль
ZINC000026430653	-40,5 ± 3,1	-20,3 ± 5,4	-20,2 ± 6,1
ZINC000191389930	-31,3 ± 2,9	-20,3 ± 6,1	-11,0 ± 6,9
ZINC000293423658	-42,6 ± 3,9	-20,9 ± 6,2	-21,7 ± 7,3
NBD-11021	-42,2 ± 3,7	-22,9 ± 6,9	-19,3 ± 7,9
NBD-14010	-39,7 ± 2,9	-21,8 ± 6,1	-18,0 ± 6,4

Таблица. Средние значения свободной энергии связывания  $\langle \Delta G \rangle$  для предсказанных соединений, NBD-11021 и NBD-14010 в комплексах с белком gp120 и их стандартные отклонения  $(\Delta G)_{\text{STD}}$ <sup>1</sup>

Примечание: 1  $\langle \Delta H \rangle$  и  $\langle T\Delta S \rangle$  – средние значения энтальпийной и энтропийной составляющих свободной энергии соответственно;  $(\Delta H)_{\text{STD}}$  и  $(T\Delta S)_{\text{STD}}$  – стандартные отклонения, соответствующие этим значениям

анализа статических моделей комплексов лиганд/ gp120. Эти комплексы обнаруживают относительную стабильность в течение МД расчетов, о чем свидетельствуют средние значения свободной энергии связывания и их стандартные отклонения (таблица). Низкие средние значения свободной энергии связывания, рассчитанные для динамических моделей идентифицированных соединений, связанных с gp120, подтверждают сделанное выше предположение, согласно которому все предсказанные кандидаты-миметики CD4 демонстрируют эффективное взаимодействие с CD4-связывающим сайтом белка gp120 ВИЧ-1. Полученные данные показывают, что для соединений ZINC000026430653 и ZINC000293423658 средние значения свободной энергии связывания сопоставимы с величинами, предсказанными для ингибиторов ВИЧ-1 NBD-11021 и NBD-14010 (таблица), а соответствующее среднее значение для соединения ZINC000191389930 близко к экспериментальной величине  $9,5 \pm 0,1$  ккал/моль, полученной для комплекса белка gp120 с CD4 [29].

Тестирование разработанного генеративного состязательного автоэнкодера с использованием широкого набора химических соединений из базы данных ZINC15 показывает, что эта нейронная сеть в комбинации с виртуальным скринингом и традиционными методами молекулярного моделирования формирует продуктивную основу для обнаружения потенциальных анти-ВИЧ агентов, способных блокировать CD4-связывающий сайт белка gp120 оболочки вируса. Согласно данным молекулярного моделирования, соединения ZINC000026430653, ZINC000191389930 и ZINC000293423658 (рис. 3) демонстрируют высокую аффинность связывания с белком gp120, которое обеспечивается взаимодействиями, доминиру-

ющими в интерфейсе gp120/CD4 (рис. 4). Кроме того, они полностью удовлетворяют критериям, налагаемым на потенциальное лекарство «правилом пяти» Липинского [22], что подтверждается их физико-химическими параметрами, приведенными в подписи к рис. 3. Поэтому обнаруженные в базе данных ZINC15 молекулы могут быть использованы в качестве перспективных базовых структур для разработки новых эффективных противовирусных препаратов, ингибирующих ранние стадии развития ВИЧ-инфекции.

При анализе полученных результатов необходимо иметь в виду, что в данном исследовании были использованы только пять структурных ключей MACCS, сгенерированных нейронной сетью для каждого из двух пороговых значений энергии для проверки работы автоэнкодера, что привело к идентификации трех соединений, проявляющих сильное связывание с гидрофобной полостью Phe-43 белка gp120. Однако эта нейронная сеть может генерировать множество молекулярных дескрипторов при заданном максимально допустимом значении энергии связывания. Очевидно, что более широкий набор дескрипторов должен обеспечить обнаружение новых соединений – перспективных кандидатов в CD4-миметики – для создания новых эффективных и безопасных противовирусных средств широкого спектра действия. В связи с этим дальнейшее развитие этой работы предполагает скрининг различных химических баз данных с применением гораздо большего числа структурных ключей MACCS, полученных с помощью предложенной нейронной сети. ■

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (проекты X20MC-006 и Ф21КОВИД-002).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Applications of machine learning in drug discovery and development / J. Vamathevan [et al.] // Nat. Rev. Drug Discov. 2019. Vol. 18(6). P. 463–477.
2. Advances and perspectives in applying deep learning for drug design and discovery / C.F. Lipinski [et al.] // Front. Robot. AI. 2019. Vol. 6. P. 108.
3. Jaeger, S. Mol2vec: unsupervised machine learning approach with chemical intuition / S. Jaeger, S. Fulle, S. Turk // J. Chem. Inf. Model. 2018. Vol. 58(1). P. 27–35.
4. A Machine learning-based method to improve docking scoring functions and its application to drug repurposing / S.L. Kinnings [et al.] // J. Chem. Inf. Model. 2011. Vol. 51(2). P. 408–419.
5. Protein structure prediction using multiple deep neural networks in the 13th Critical Assessment of Protein Structure Prediction (CASP13) / A.W. Senior [et al.] // Proteins. 2019. Vol. 87(12). P. 1141–1148.

Полный список использованных источников размещен

 SEE [http://innosfera.by/2021/05/machine\\_learning](http://innosfera.by/2021/05/machine_learning)

# Электронные инновации для сельского хозяйства



**Григорий Прокопович,**  
завлабораторией робототехнических систем  
Объединенного института проблем информатики  
НАН Беларуси, кандидат технических наук, доцент

**С**овременное сельское хозяйство невозможно представить без применения систем автоматизации промышленных процессов. Электронные инновации дают возможность значительно увеличить производственные мощности, а следовательно, и объемы продаж продукции, что сказывается на чистой прибыли предприятия. Однако применение современных информационных технологий, включая методы искусственного интеллекта, невозможно представить без тесной работы с экспертами в области сельского хозяйства. Положительным примером может служить совместная работа лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов НПЦ НАН Беларуси по меха-

низации сельского хозяйства и лаборатории робототехнических систем Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, которые выполнили ряд удачных агротехнических проектов. Первые выступили заказчиками и главными идейными вдохновителями, вторые как исполнители, вооружившись последними достижениями в области информационных технологий, смогли в кратчайшие сроки достичь поставленных целей.

## СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Важной операцией послеуборочной обработки клубней картофеля считается их сортировка по кондиции. Внешние повреждения, например ушибы, вдавливания, ожоги, снижают товарное качество плодов и уменьшают срок хранения. Немаловажным фактом является и внешний вид картофеля для продажи в розничной сети. По мере совершенствования видеокамер, а также повышения производительности электронных средств обработки видеосигналов распознающие системы для сортировочных устройств приобретают все более универсальный характер. Число показателей качества, определяемых в одном устройстве, растет, а надежность достигла уровня, когда их можно применять в реальных условиях современного производства – цехах обработки, хранения и переработки. Благодаря развитию программно-аппаратного

обеспечения электронной промышленности техническое зрение используют во многих отраслях для контроля качества выпускаемой продукции. Скоростные видеокамеры и датчики улавливают невидимые человеческому глазу дефекты, способны заметить геометрические отклонения в несколько микрон с молниеносной скоростью. С помощью высокотехнологичного оборудования за несколько секунд можно проверить каждую единицу продукции, подсчитать их количество на конвейере, определить вес и размеры.

Системы машинного зрения работают следующим образом. Промышленные видеокамеры в режиме реального времени собирают информацию и передают ее на компьютер. Специальная программа по установленному заранее алгоритму проверяет соответствие показателей заданным параметрам. При отклонении от эталона система подает сигнал об отбраковке конкретного образца.

Одной из первых задач, поставленных сотрудниками НПЦ НАН Беларуси по механизации перед лабораторией робототехнических систем стало создание современной системы распознавания некондиционных клубней картофеля (СРК). В основу был положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеокамеры изображения движущихся по конвейеру клубней обрабатываются и формируются в специальные образы. Разработанный алгоритм классифицирует их по качеству и выдает соответствующий управляющий сигнал блоку управления автоматической сортировальной машины, который активизирует исполнительное устройство (пневмоклапан) в момент, когда в зоне его действия окажется бракованный экземпляр.

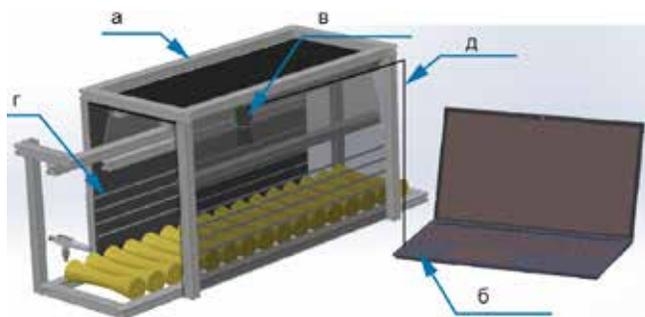


Рис. 1. Схема расположения основных функциональных модулей СРК: а) механический защищенный корпус (не входит в комплект поставляемой СРК); б) вычислительный модуль; в) видеокамера машинного зрения; г) структурированная подсветка; д) система коммутации между модулями

Наименование показателя	Показатель	Значение показателя
Тип машины	–	стационарная
Количество анализируемых рабочих потоков	шт.	1
Скорость движения подающего устройства	м/с	от 0,1 до 3
Рабочая длина зоны распознавания	м	0,55
Рабочее напряжение электросети механической части установки	В	380
Допустимое количество ошибок распознавания	%	3

Таблица. Основные характеристики СРК

Избыточным воздушным давлением некондиция удаляется с транспортера. Макетный образец автоматической сортировальной машины способен отделять бракованные клубни по следующим дефектам: механические повреждения, поражение болезнями и вредителями, в том числе подмороженные, запаренные с признаками «удушья», позеленевшие, с израстаниями и наростами.

СРК представляет собой сложное распределенное техническое устройство, состоящее из механического защищенного корпуса с вмонтированной в него видеокамерой машинного зрения и структурированной подсветкой, которая располагается над линейным транспортером, вычислительным модулем и модулем коммутации (рис. 1, таблица).

Видеокамера машинного зрения VCXU-13C фирмы Baumer предназначена для фиксации и передачи для последующего анализа графических изображений движущихся по транспортеру клубней на вычислительный модуль – ноутбук HP Gaming Pavilion 15-cx0047ur 4RM41EA с процессором на базе 4-ядерного Intel® Core™ i5–8300 Nquad, тактовой частотой до 2300 МГц, оперативной памятью DDR4 и объемом 8 Гб. Он устанавливается на рабочее место оператора автоматической сортировальной машины, расположенное вблизи механического защищенного корпуса (не более 2 м). Структурированная подсветка предназначена для равномерного освещения рабочей области и включает линейный светодиодный модуль и источник его электропитания напряжением 24 В.

При проектировании ПО применен класс методов глубокого обучения (ГО), в котором признаки для классификации образов определяются и записываются в виде матриц весовых

связей ИНС автоматически. Для этого необходимо иметь достаточно большой набор обучающих данных, собрать реальные фото картофеля (с повреждениями и без) и, если их окажется недостаточно, сгенерировать синтетические правдоподобные изображения (рис. 3).

В результате совместной работы двух лабораторий была сформирована обучающая выборка, содержащая около 6 тыс. изображений некондиционного и около 1500 – допустимого картофеля. На ее базе построена соответствующая архитектура сверточной ИНС.

В результате процесса обучения на вход ИНС поступает изображение, а на выходе выдается список повреждений картофеля вместе с их координатами, если таковые имеются.

Предварительные испытания на прототипе экспериментального образца технологической линии сортировки и фасовки картофеля показали достаточно хороший эффект как самих алгоритмов распознавания, так и оптимально подобранного состава комплектующих системы технического зрения (рис. 2).

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ДВИЖЕНИЯ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА

Комплексную механизацию перспективных методов возделывания пропашных культур невозможно выполнить, используя устаревшие способы и технические средства. В современной земледелии агротехнологии адаптируют к местным условиям ландшафта, что позволяет максимально задействовать потенциал растений



Рис. 2. Прототип системы распознавания некондиционных клубней картофеля



Рис. 3. Размеченное изображение картофеля

с минимальными затратами невозобновляемой энергии, а также снизить механическое воздействие на почву.

Реализация данного направления сдерживается нехваткой соответствующего комплекса машин и требует разработки оригинальных конструкций.

Для междурядных обработок промышленностью освоены пропашные культиваторы КРН-5,6/45, КМО-6, КМО-9, КМО-11 и др., которые могут работать при ширине защитной зоны 10–13 см на одну сторону от рядков, то есть рабочими органами охватывается примерно 50–60% площади поля. Остальные области, непосредственно примыкающие к растениям и оказывающие наиболее значимое влияние на их развитие, для культиваторов недостижимы. Таким образом возникает необходимость разработки более эффективных механизмов, позволяющих уменьшить защитную зону. В связи с этим лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов перед сотрудниками ОИПИ НАН Беларуси была поставлена новая задача – создать программное обеспечение системы автоматического управления пропашным культиватором (САУПК) при междурядных обработках сахарной свеклы (рис. 4).

Ширина защитной зоны (участок слева и справа от рядка, который не обрабатывается при культивации) – расстояние от крайней части рабочего органа машины, ближе всего расположенного к растению, до линии рядка – варьирует от 150 до 200 мм. Мы задались целью за счет применения систем технического зрения и автоматического управления уменьшить ее до 60 мм.

Для этого в основу работы пропашного культиватора была положена концепция использования визуальной информации о размещении растений в рядке. Благодаря предложенному алгоритму распознавания листьев сахарной свеклы кадры из получаемого видеопотока обрабатываются и анализируются для определения центральной линии ряда. Рассчитанное отклонение положения орудия над рядком растений передается на блок управления, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндров и автоматического навесного устройства смещает культиватор в нужную сторону.

Для нахождения центра междурядья первоначально требовалось разработать метод бинарной сегментации, позволяющий выделить рядки

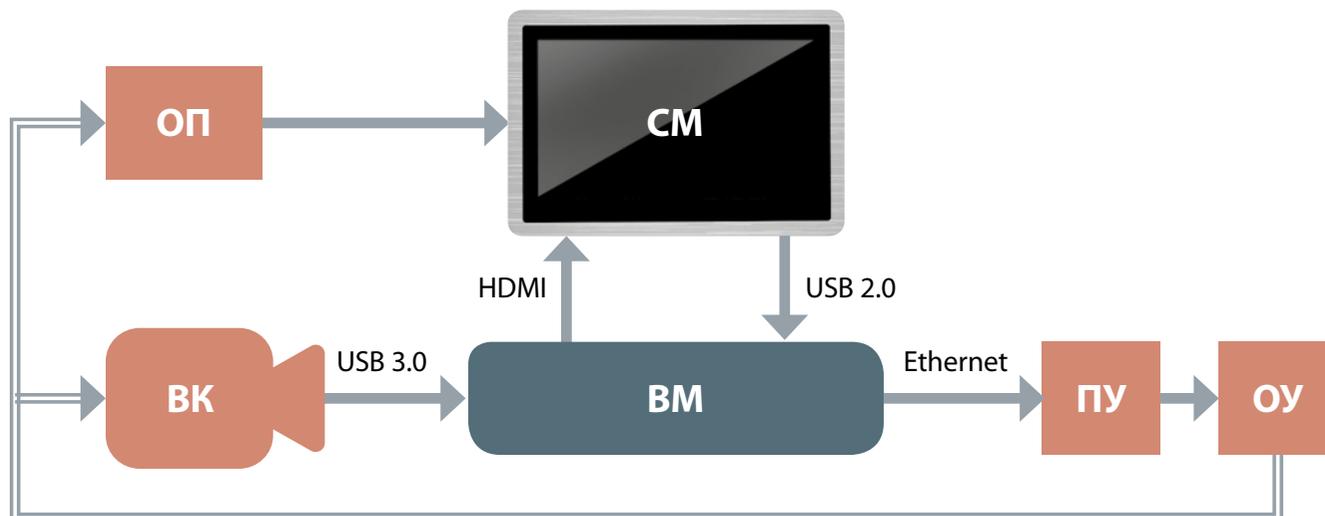


Рис. 4. Функциональная схема проектируемой САУПК. ВК – видеокамера, ВМ – вычислительный модуль, ПУ – преобразователь уровней, ОУ – объект управления, ОП – оператор, СМ – сенсорный монитор

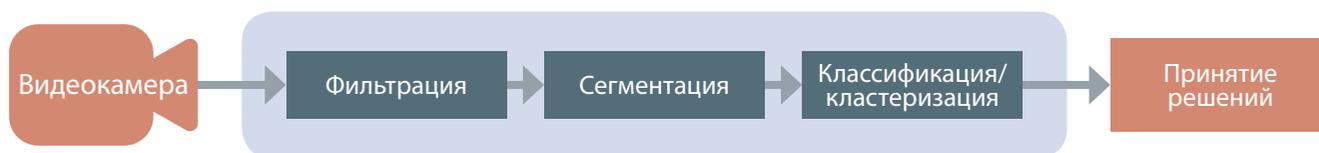


Рис. 5. Функциональная схема процесса обработки изображений

сахарной свеклы на входных цветных кадрах. После этого следовало выявить центры полученных рядков, чтобы определить положение междурядья на входном изображении. Задача осложнялась тем, что листья образуют достаточно широкую крону со сложной геометрической формой, иногда имеющей внутренние пустоты. Цель была достигнута с помощью классической схемы обработки цифровых изображений (рис. 5). Современные устройства их захвата позволили реализовать первый этап аппаратно, с помощью встроенных контроллеров, что практически никак не повлияло на время обработки. При создании и тестировании САУПК были использованы стереокамера Intel RealSense D435 и веб-камера Logitech C920.

Наиболее ответственным был этап выделения листьев сахарной свеклы на достаточно сложной фоновой поверхности – возделываемое сельскохозяйственное поле. Осложняющими факторами при этом были непостоянный уровень солнечного освещения (утро-день-вечер, солнечно-пасмурно), нефиксированный состав почвы и уровень увлажнения, который влияет на ее цвет (от серо-пепельного до темно-коричневого), возможность наличия различных сорняков и камней, колебание цвета самих листьев (от салатного до темно-зеленого) (рис. 6).

В связи с этим было решено использовать технологию искусственных нейронных сетей (ИНС) глубокого обучения, которые весьма хорошо себя



Рис. 6. Примеры рядков сахарной свеклы в различные периоды роста

зарекомендовали в различных задачах обработки изображений. Требуемая база данных обучающей выборки создана собственными усилиями и включает шесть mp4-видеофайлов с разрешением 1920×1080 пкс, предоставленных лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов, на которых симитирован процесс съема видеоинформации в ходе движения трактора по полю. На каждом кадре требовалось выделить только листья сахарной свеклы. Как правило, данные манипуляции производятся экспертом вручную путем выделения искомым объектов замкнутыми контурами. Для примера (рис. 7) продемонстрирован результат ручного процесса бинаризации изображений рядков, приведенных на рис. 6.

Однако ручное выделение листьев на всех полученных кадрах не представлялось возможным в связи со сложностью и монотонностью указанной работы. Поэтому было решено применить автоматический способ. Так как рядки свекольных кустов представляют собой практически неразрывные объекты, которые ограничены только шириной их листьев, потребовалось использовать не контурное, а попиксельное выде-

ление. Для создания необходимого количества обучающей выборки был разработан алгоритм автоматического распознавания, базирующийся на технологии отбора суперпикселей – областей, обладающих общими цветовыми и текстурными признаками (рис. 8).

На основе полученных ранее видеофайлов и предложенного метода сегментации растений была сгенерирована обучающая выборка, которая состояла из 1347 цветных видео кадров рядков сахарной свеклы и такого же количества их бинарных изображений. В результате обучения на собственном наборе данных ИНС успешно сегментировала рядки сахарной свеклы на различных цветных фото (рис. 9). Бинарные изображения были наложены на цветные исходники в виде полупрозрачного голубого тона. Как видно на изображениях, предложенный автоматический метод выделения кустов сахарной свеклы по качеству не только не уступает ручному методу, но даже его превосходит по точности и плавности линиям.



Рис. 7. Полученные эталонные бинарные маски после процесса ручной сегментации

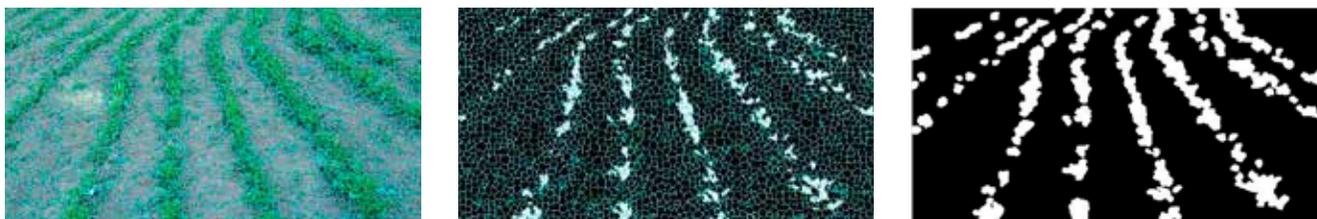


Рис. 8. Процесс бинарной сегментации: а) кластеризация входных цветных изображений на N суперпикселей; б) наложение границ N суперпикселей на бинарное изображение, полученное на шаге 3; в) классификация каждого из N суперпикселей



Рис. 9. Результаты работы обученной нейронной сети

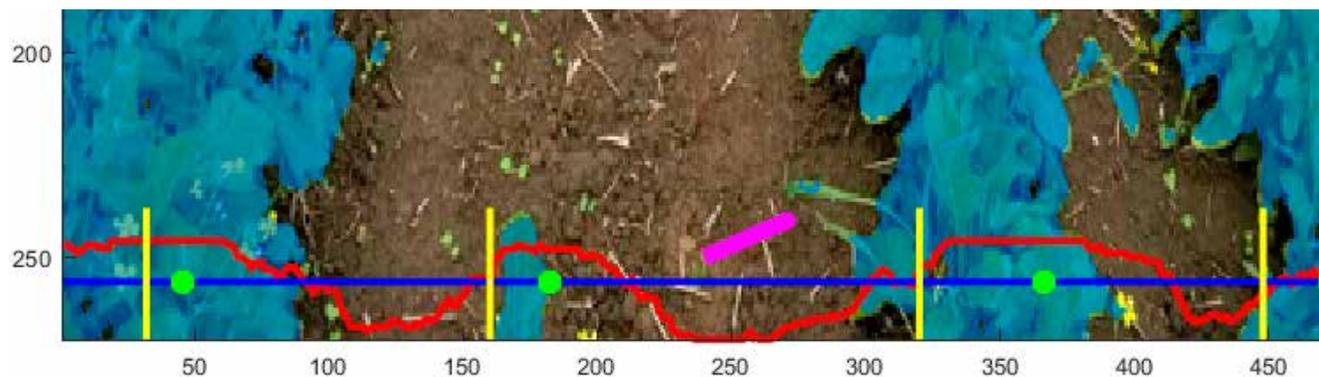


Рис. 10. Проекция центров вычисленных плато на исходное изображение. Зеленые кружки – вычисленные центры плато, синяя линия – значения вычисленного динамического порога, желтые линии – идеальное расположение центров двух соседних рядков, между которыми должна находиться видеокамера

Далее требовалось найти непосредственно центры анализируемых рядков. Для выделения центров рядков применен алгоритм, базирующийся на следующей гипотезе: чтобы нивелировать геометрические искажения рядков свеклы, влияние разрывов между ними, а также несовпадение центров кроны листьев и самого рядка, предлагается анализировать центр масс  $m$  числа последних нижних строчек последовательности сегментированных бинарных изображений, получаемых при анализе видеопотока. Был реализован FIFO-буфер в виде так называемой матрицы-аккумулятора размером  $m \times n$ , где  $n$  – ширина анализируемого бинарного изображения,  $m$  – глубина аккумулятора, влияющая на величину, которую можно сравнить с инертностью смещения геометрического центра рядка.

Однако анализ достаточно большого числа реальных кадров показал, что очень часто куполообразные участки полученных графиков не идеальны: они могут иметь различную амплитуду, а также различные локальные максимумы, которые отрицательным образом влияют не только на определение центров, но и на количество распознанных потенциальных рядков. В связи с этим нами был предложен метод динамического определения порога среза получаемых графиков. Все локальные минимумы, которые выше динамического порога, причисляются к глобальным, причем они автоматически ассоциируются с потенциальными рядками. Значение динамического порога вычисляется путем определения медианного значения отсортированных по возрастанию значений элементов графика. Считается, что геометрические центры полученных плато являются центрами искомых рядков (рис. 10).

Если центры рядков находятся справа от их ожидаемых расположений, то требуется подать управляющий сигнал электромеханическому узлу, чтобы он двигался в ту же сторону до того момента, пока вычисленные центры не совпадут с ожидаемыми. Сиреневая стрелка на главном экране разработанного программного обеспечения с графическим управлением дублирует вычисленное направление движения подвижной части культиватора. Для правильной работы САУПК СТЗ настроена так, чтобы при начале движения трактора культиватор находился в своем среднем положении. Это позволит сделать отклонения в левую и правую стороны симметричными.

Таким образом, создана система технического зрения, способная на основе технологии искусственных нейронных сетей глубокого обучения четко определять листья сахарной свеклы, а алгоритм установления центра между рядья направляет подвижную часть культиватора в требуемую сторону для нивелирования неточности хода трактора. Разработано графическое приложение, предназначенное для работы на планшете с сенсорным экраном, установленным в кабине тракториста. Полученные результаты являются законченным техническим решением с возможностью дальнейшего совершенствования и доработки согласно дополнительным или новым требованиям заказчика. Система была успешно отлажена и протестирована на экспериментальном участке реального поля сахарной свеклы и имеет все шансы стать основой для серийно выпускаемого устройства. ■

# ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ:

## ОБЗОР ТЕНДЕНЦИЙ



**Екатерина Тулейко,**  
завсектором глобальной экономики  
Центра мировой экономики  
Института экономики НАН Беларуси

**В**ажность инновационной политики для экономического роста признана во всем мире. Она является связующим звеном между научно-техническим развитием и промышленной политикой, и направлена на создание благоприятных условий для вывода идей на рынок. В то время как инновации выступают стратегическим приоритетом, технологии становятся главным пусковым механизмом для них. Искусственный интеллект (ИИ), большие данные, Интернет вещей (IoT), 5G-Интернет, 3D-печать открывают новые возможности для решения широкого спектра задач во многих сферах. Они стали важной частью ответных мер стран на вспышку коронавируса и будут иметь определяющее значение для восстановления экономик и поддержания устойчивого роста, конкурентоспособности экономических систем, цифровой и экологической трансформации общества. Эти темы становятся ключевыми в международном диалоге, развитие и внедрение новых технологий активно обсуждается на площадках OECD, UNCTAD, BRICS, WTO и других авторитетных организаций.

Многовекторность и комплексный характер инновационного процесса на национальном и международном уровнях обуславливает необходимость рассмотрения его тенденций и обзора передового опыта.

### ГЛАВНЫЕ ТРЕНДЫ ДАВОССКОГО ФОРУМА

Инновации ежегодно являются главной темой Давосской встречи политических и деловых лидеров Всемирного экономического форума (ВЭФ). Так, в 2020 г. глобальный разговор в рамках ВЭФ сосредоточился на способности стран к внедрению новшеств в динамично меняющихся условиях. Эксперты обсуждали возможную реакцию экономики на мегатренды, связанные с технологическими прорывами и изменением климата. Основные вопросы в этом направлении касались будущего электронного правительства и искусственного интеллекта, ускоренного перехода на возобновляемые источники энергии, влияния цифровизации экономики на занятость и самозанятость, защиты данных в эпоху цифровых технологий и приоритетных профессиональных квалификаций в условиях автоматизации [1].

В 2021 г. главными трендами повестки форума в этой области были следующие.

**Этика искусственного интеллекта.** По данным ВЭФ, к 2035 г. ИИ способен принести мировой экономике более 14 трлн долл. Неэтичность в этой сфере может проявляться в ущемлении прав тех или иных групп граждан (женщин, представителей темнокожего населения). Это обуславливает необходимость адаптации продуктов к особенностям каждой группы пользователей. С этой целью ВЭФ запустил Global AI Action Alliance – инициативу по ускоренному внедрению инклюзивного, прозрачного и надежного ИИ во всем мире.

**«Цифровой проездной»** для борьбы с COVID-19. Одной из центральных тем форума в 2021 г. стала борьба с пандемией, и особое внимание в рамках дискуссий уделялось проблеме распространения вакцин: неравномерному распределению препаратов между странами, ограниченному количеству доз из-за недостатка мощностей по их выпуску, экономическим и иным трудностям из-за закрытых границ. В связи с этим ВЭФ в сотрудничестве с фондом Commons Project Foundation запустили проект Common Trust Network, включающий в себя цифровую платформу, содержащую все данные тестов и вакцинаций, которые проходят туристы перед поездками. Кроме того, в специальном приложении будет доступен «цифровой паспорт» – CommonPass с информацией о прохождении человеком тестирования или вакцинации в соответствии с действующими правилами для пересечения границы.

**Кибербезопасность.** По данным Интерпола, кибератаки за время пандемии заметно участились. Если тенденция последних лет сохранится, в текущем году это принесет компаниям по всему миру до 6 трлн долл. убытков, и эти глобальные потери эксперты форума уже называют «киберпандемией». В связи с этим ВЭФ совместно с Оксфордским университетом разработал программу «Будущие серии: киберпреступность-2025», содержащую отчет о системных рисках новых технологий с рекомендациями по кибербезопасности.

**Цифровой разрыв.** COVID-19 обострил цифровое неравенство во всем мире. Около половины населения Земли не пользуется Интернетом в силу его недоступности. Для устранения цифрового разрыва создан межотраслевой альянс EDISON, главной целью которого является ускорение внедрения цифровых технологий и объединение важнейших секторов экономики. В 2021 г.

планируется сосредоточиться на сферах здравоохранения, образования и финансовых услуг.

**Нулевые выбросы углерода к 2030 г.** Почти две трети всех выбросов CO<sub>2</sub> приходится на города, в которых проживает около половины населения Земли. Для решения этой проблемы на глобальном уровне ВЭФ создал Международную программу Net Zero Carbon Cities, объединяющую более 70 компаний и 9 городов, которая предполагает внедрение интеллектуальных городских систем, безуглеродных материалов и технологий, систем на базе Интернета вещей [2].

**Доминирование Китая в контексте цифровизации.** В дискуссиях в рамках ВЭФ отмечены следующие основные направления цифровизации в Китае, позволяющие ему занимать лидирующую позицию: соединение науки и прикладных технологий для ускорения создания новых продуктов; развитие цифровой инфраструктуры (сети 5G, единые стандарты и решения в сфере промышленного Интернета вещей и больших данных); развитие технологий автономного вождения; внедрение ИИ для ускорения распознавания сканов компьютерной томографии и др. [3].

ВЭФ также запустил Инициативу по внедрению блокчейна в горнодобывающей и металлургической промышленности на всех стадиях производства – от добычи до поставки, что поможет контролировать уровень выбросов углерода и обеспечит прозрачность цепочки поставок [2].

## ДВИЖУЩАЯ СИЛА ЭКОНОМИКИ

На 12-м Академическом форуме БРИКС, прошедшем в октябре 2020 г., наука, технологии и инновации были признаны основными факторами устойчивости экономики, которые должны находиться в центре национальных и международных стратегий, направленных на решение глобальных проблем. БРИКС планирует и дальше расширять свое сотрудничество в рамках установленных структур и групп, таких как STI Architecture, iBRICS, BRICS GRAIN, BRICS VIP и др.

На Академическом форуме отмечено, что блокчейн – одна из самых передовых технологий с широким спектром использования: от государственного управления (например, здравоохранения, регистрации собственности и т.д.) до зеленой экономики (торговля, контроль выбросов углерода и др.). Интеллектуальная инфраструктура (города, дороги/транспорт, сети и пр.) – это новый

рубеж для озеленения экономики, повышения ее безопасности и надежности, поддержания инклюзивного экономического роста и раскрытия творческих способностей и эндогенных инноваций [4].

Гайдаровский форум в 2021 г. был посвящен социальным и экономическим преобразованиям, которые произошли в результате пандемии COVID-19. Экспертные дискуссии сконцентрировались на целях национального и глобального развития, а также поиске практических ответов на наиболее актуальные вызовы современности. Обсуждались вопросы, связанные с внедрением цифровых платформ и сервисов в бизнес- и государственное управление и цифровой валюты в Российской Федерации; регулированием и обращением инновационных лекарственных препаратов на рынке; формированием цифровых госпиталей; цифровизацией медицинской документации и учреждений образования; развитием электронной коммерции; цифровой трансформацией в системе налогообложения и администрирования.

Подчеркивалась необходимость более активного внедрения цифровых форматов во все сферы жизни общества, в том числе и в социальную. Правительство Российской Федерации создает «социальное казначейство», представляющее собой общенациональную информационную платформу для помощи тем, кто в ней нуждается. Как отмечают разработчики, ее наличие является необходимым инструментом для достижения одной из важнейших национальных целей – снижения уровня бедности.

Следует отметить, что в рамках Гайдаровского форума подписан Меморандум о создании научного центра мирового уровня: намечено появление 14 крупных объектов научной инфраструктуры, в том числе баз данных, системы их интеллектуального анализа, оцифровка 6 уникальных музейных и архивных коллекций [5].

Таким образом, технологические новшества считаются одной из основных движущих сил экономического роста. Дигитализация привела к радикальному снижению барьеров для инноваций, которые теперь определяются не только научными прорывами, коммерциализируемыми в крупных компаниях, но и все более гибкими, быстро растущими стартапами.

Кроме того, в последнее время значительное внимание уделяется социальным инновациям, таким как ИИ, социальные данные, электронная демократия, электронное здоровье, умный

город, уменьшение количества пластиковых отходов, совместное использование услуг и продуктов, инклюзивность, снижение воздействия на окружающую среду, мобильность, возобновляемая энергия, образование и навыки и др. [6]. В ЕС отмечается, что в условиях глобализации, неопределенности и сложности они становятся ключевым рычагом для стимулирования роста, развития и устойчивости современных обществ.

Конференция ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) подчеркивает, что передовые технологии могут повысить производительность труда и улучшить условия жизни. Так, ИИ, например, в сочетании с робототехникой способен трансформировать производство и бизнес, а 3D-печать позволяет быстрее и дешевле осуществлять малообъемное производство и прототипирование новых продуктов. С помощью этих и других новых подходов предприятия в развивающихся странах начинают быстрее продвигаться вперед. В Нигерии, например, IoT используется для получения рекомендаций по методам ведения сельского хозяйства, а в Колумбии 3D-принтеры – для создания модных вещей, таких как кепки, браслеты и платья [7].

## В ИНТЕРЕСАХ ОТРАСЛЕЙ

Отраслевое распределение новых технологий и инноваций, получивших широкое применение, таково:

- **здравоохранение:** модели и симуляции в медицине; технологии удаленного мониторинга состояния пациентов; цифровое здравоохранение – медицинская аналитика и обработка данных; мобильные медицинские услуги (*mHealth*), персональные носимые устройства для мониторинга здоровья (*wearable health*), телемедицина (лечение на основе удаленной связи пациента с врачом);
- **спорт и туризм:** экоотели и «зеленое» размещение; экотуры и путевки;
- **обрабатывающие производства, добыча полезных ископаемых, энергетика:** аккумуляторы и накопительные станции; возобновляемая энергетика; энергоэффективные системы и материалы; программное обеспечение для симуляции производственных процессов; промышленность 4.0 (программные платформы, промышленный IoT, анализ больших объемов данных, ИИ, датчики, промышленные и коллаборативные роботы, аддитивное, умное производство);

- **образование:** искусственный интеллект и машинное обучение в образовательных технологиях; онлайн-образование; решения для персонализированных и адаптивных программ обучения;
- **переработка и утилизация отходов:** мусора (включая пластик), одежды; биоразлагаемая упаковка; системы мониторинга качества воздуха и его очистки, обеззараживания и переработки отходов, управления водными ресурсами; технологии очистки и обеззараживания воды, улавливания и хранения углерода (carbon capture); переработка и вторичное использование в автомобильном секторе, в приборо- и машиностроении; экоматериалы для производства одежды и обуви; экоупаковка для товаров;
- **сельское хозяйство и продовольствие:** генная модификация сельскохозяйственных культур; беспилотники в сельском хозяйстве; продвинутая аналитика и сбор данных для рыболовства; сервисы по поддержанию лесных и морских экосистем (сбор данных, мониторинг и моделирование их состояния);
- **транспорт и логистика:** коммерческие дроны; системы по сокращению числа ДТП (камеры, заграждения и пр.); электротранспорт;
- **услуги, связанные с устойчивым развитием:** консалтинг в этой области (нефинансовая отчетность, управление); «зеленый клининг»; управление углеродным следом (консультации, внедрение систем); услуги энергоаудита (в коммерческих и жилых зданиях); финансовые инструменты, направленные на сокращение неравенства (микрофинансы);
- **устойчивая инфраструктура и городское строительство:** информационное моделирование и использование 3D-печати в строительстве; системы умного города, городское управление на основе больших данных и искусственного интеллекта: «умные» сенсоры, счетчики и ЖКХ; технологии повышения энергоэффективности зданий;
- **технологии совместной работы:** автоматизация управления рабочими процессами (операционные процессы, документооборот и др.); технологии удаленной занятости (видеосвязь, средства коммуникации и совместной работы); цифровизация банковских, финансовых, страховых услуг; государственных услуг и госаппарата, управление кадрами (подбор персонала, кадровый документооборот, финансы и др.) [8].

В то время как облачные вычисления, большие данные и ИИ продолжают являться источником инноваций, консалтинговые компании изучают направления роста технологий в 2021 г., включая возможности для восстановления после кризиса COVID-19. Среди них эксперты выделяют следующие:

- **ускорение развития цифровой трансформации с акцентом на улучшение облачной инфраструктуры, возможности передачи данных и аналитики, кибербезопасности и изменение бизнес-моделей.** Прогнозируется, что выручка от глобальных публичных облачных сервисов достигнет 308,5 млрд долл. в 2021 г. и 354,6 млрд долл. к 2022 г., а от облачных предложений как услуг – 345 млрд долл. в течение следующих нескольких лет. Ожидается, что к 2025 г. доход от ИИ составит 100 млрд долл. за счет машинного и глубокого обучения, диалоговых приложений ИИ;
  - **пересмотр производственных возможностей с акцентом на повышение прозрачности, гибкости и устойчивости.** Из-за продолжающегося воздействия пандемии, протекционистских тенденций многие технологические компании вынуждены перепроектировать ключевые бизнес-процессы, используя передовые технологии поддержки принятия решений (включая ИИ), автоматизацию (с помощью датчиков и робототехники) и интегрированные коммуникационные технологии (например, сети 5G) для управления действиями в реальном времени;
  - **переориентация и переподготовка кадров.** За последний год пандемия ускорила развитие технологической тенденции, которая наблюдалась в течение нескольких лет: переход к виртуальным средам занятости. Согласно опросу финансовых директоров Deloitte за второй квартал 2020 г., 85% респондентов указали, что все больше сотрудников их компании будут работать удаленно после пандемии [9].
- По мере того как компании переориентируют свою рабочую силу, они также изучают способы использования передовых технологий, например ИИ, для оптимизации задач и расширения возможностей. В результате они должны сосредоточиться на создании дополнительных путей поддержки и развития для сотрудников, включая их переподготовку.
- Таким образом, быстрый рост технологий вызовет спрос на профессии, связанные с пере-

довыми технологиями. Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) выделяет следующие тенденции в этом направлении.

**Искусственный интеллект.** В период с июня 2015 г. по июнь 2018 г. количество вакансий, связанных с ИИ, в глобальной системе поиска работы выросли почти на 100%. Наибольший прирост пришелся на инженеров-программистов и персонал по обработке данных. Исследование, проведенное в 2019 г., показало, что больше всего специалистов по ИИ в Китае (12 113), за ним следуют США (7465) и Япония (3369).

**Блокчейн.** В период с 2017 по 2018 г. спрос на блокчейн-инженеров в Соединенных Штатах вырос на 400%. Средний их доход достигал 150–175 тыс. долл. в год.

**Беспилотные летательные аппараты.** С 2013 по 2025 г. США, как ожидается, добавят более 100 тыс. рабочих мест, связанных с беспилотниками. Кроме указанной страны лидерами по найму в этой области являются Китай и Франция.

**5G.** К 2035 г. глобальная цепочка создания стоимости 5G, по прогнозам, поддержит 22 млн рабочих мест, включая сетевых операторов, поставщиков основных технологий и компонентов, разработчиков контента и приложений. Наибольшее количество таких предложений в Китае (9,5 млн), США (3,4 млн) и Японии (2,1 млн).

**3D-печать.** Ее рынок быстро развивается, стимулируя спрос на квалифицированных специалистов, включая инженеров, разработчиков ПО, материаловедов и др.

**Редактирование генов.** К 2030 г. Великобритания может добавить 18 тыс. новых рабочих мест в этой сфере, а США в период с 2016 по 2026 г. – 17 600, включая ученых-медиков и инженеров-биомедиков.

**Интернет вещей.** В 2017 г. глобальная индустрия IoT выросла до 2888 компаний по всему миру. Наибольшее количество рабочих мест было в IBM (4420), Intel Corporation (3044), Microsoft (2806), Cisco (2703) и Ericsson (1665).

**Большие данные.** По мере того как все больше отраслей начали внедрять Big Data, возник значительный дефицит ученых в этой области. В США по состоянию на 2018 г. не хватало 151 717 человек с опытом работы в этой сфере, особенно в Нью-Йорке (34 032), районе залива Сан-Франциско (31 798) и Лос-Анджелесе (12 251).

**Робототехника.** Отрасли требуются разработчики ПО, техники, инженеры по прода-

жам, операторы, инженеры-робототехники. Последних в 2016 г. в США насчитывалось 132 500, а в период до 2026 г. число вакансий для них должно вырасти на 6,4%.

**Нанотехнологии.** Предполагается, что рынок труда и в этой сфере будет расти. К примеру, в США в период с 2016 по 2026 г. планируется увеличение на 6% в год [10].

Таким образом, прогресс в развитии робототехники, искусственного интеллекта, аддитивного производства и анализа данных открывает значительные возможности для ускорения процесса инноваций во всех сферах. Обзор современных тенденций показывает на широкие возможности их применения для модернизации отраслей экономики и повышения конкурентоспособности на уровне предприятий, регионов, отдельных стран. Необходимость активации инновационных процессов подчеркивается на глобальном уровне международными организациями и инициативами и обуславливает потребность в выработке совместных решений, направленных на нахождение новых ниш для их внедрения, улучшение форсайта и технологической оценки, разработку проектов и стартапов, совершенствование управления и регулирования инновационной деятельности с учетом современных тенденций и угроз. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ВЭФ-2020: технологии, равенство и спасение планеты в интересах глобального развития // <https://globalcentre.hse.ru/news/337416608.html>.
2. Киберпанدمия и цифровой загранпаспорт: итоги Давосского форума-2021 // <https://trends.rbc.ru/trends/industry/60190f3c9a79470a554b68e3>.
3. Davos Agenda. 2021, March / Special Address by H.M. Abdullah II ibn Al Hussein, King of Jordan // World Economic Forum ([weforum.org](http://weforum.org)).
4. Recommendations of the 12th BRICS academic forum // <https://eng.brics-russia2020.ru/images/106/13/1061396.pdf>.
5. Гайдаровский форум – 2021: главные новости // <https://strategyjournal.ru/rossiya-i-mir/gajdarovskij-forum-2021-glavnye-novosti/>.
6. Social Innovation // Social Innovation Mega Trends To Answer Society's Challenges – Whitepaper ([hitachivantara.com](http://hitachivantara.com)).
7. Digital economy report 2019 Innovation // Digital Economy Report ([unctad.org](http://unctad.org)).
8. Глобальный тренд на устойчивое развитие: возможности для бизнеса // [38526748.pdf](https://38526748.pdf) ([economy.gov.ru](http://economy.gov.ru)).
9. 2021 outlook for the US technology industry // ([deloitte.com](http://deloitte.com)).
10. Technology and innovation report 2021 // [https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_en.pdf).

# РАМОЧНЫЕ ПРОГРАММЫ ЕС —

## ЛАБОРАТОРИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ИННОВАЦИЙ



**Ольга Мееровская,**  
старший научный  
сотрудник Белорусского  
института системного  
анализа, национальный  
координатор программы  
«Горизонт 2020»  
в Беларуси

Реализация Рамочных программ ЕС по науке и инновациям (РП) – самых масштабных в мире программ поддержки международного сотрудничества, представляющих собой один из крупнейших инструментов государственного финансирования НИОКР и инноваций, началась с 1984 г. В настоящее время выполнено 8 программ и дан старт 9-й – «Горизонт Европа» (2021–2027) с бюджетом 95,5 млрд евро.

Республика Беларусь участвует в РП с 2002 г. в статусе «третьей страны», который дает доступ к большинству конкурсов и финансированию ЕС. Как показывает опыт работы, за этот период программы претерпели значительные трансформации. К примеру, 6-я РП (2002–2006) запомнилась открытием проектов всему миру и огромными по численности исполнителей консорциумами. Время показало, что ими сложно управлять, и гигантизм сменила умеренность. В 7-й РП (2007–2013) упор был сделан на поддержку научного превосходства (excellence), что выразилось в создании Европейского научного совета. В дополнение к открытию программы для всех желающих Еврокомиссия разрабатывает и финансирует масштабные координационные инструменты с целью поддержки сотрудничества с наиболее значимыми странами и регионами. Следующая программа, «Горизонт 2020», в существенно большей степени, нежели предыдущие, направлена на стимулирование инноваций: это и прямое финансирование малого и среднего бизнеса, и создание Европейского инновационного совета, и поддержка государственно-частных партнерств и альянсов различных госорганов и орга-

низаций, и расцвет разнообразных схем софинансирования с участием Еврокомиссии. Одновременно получает широкое распространение концепция открытого доступа к результатам проектов (open access), которая является частью стратегии ЕС «Видение для Европы – открытые инновации, открытая наука, открыта для мира» (2016) [1]. Наконец, новая, 9-я по счету программа, не снимая с повестки дня ни научное превосходство, ни инновации, во главу угла ставит необходимость повысить воздействие (impact) и продемонстрировать широкой общественности, что результаты научной и инновационной деятельности влияют на каждого индивидуума в отдельности и меняют к лучшему жизнь общества в целом. «Горизонт Европа» открывает первые конкурсы в условиях пандемии, которая делает невозможной физическую мобильность исполнителей проектов – важный элемент международного взаимодействия. Это не повлияло, однако, на одно из базовых правил РП: все проекты являются партнерскими и выполняются консорциумами организаций, представляющих различные страны.

Несмотря на то что с 2002 г. принцип открытости РП всему миру остается неизменным, ее степень и подходы к организации сотрудничества со странами вне ЕС претерпели заметные изменения. Первое отступление от этого правила произошло в 2012 г. с принятием Стратегии международного сотрудничества ЕС в сфере науки и инноваций [2], заложившей принципы сотрудничества с международными партнерами в «Горизонте 2020». Была поставлена цель обеспечить доступ к знаниям, которые производятся за пределами Евросоюза, совместно с учеными всего мира способствовать решению глобальных проблем и увеличить привлекательность ЕС как места для научных исследований.

На содержании Стратегии 2012 г. сказались последствия глобального экономического кризиса 2008–2009 гг.: ЕС был вынужден потуже затянуть пояс, что умерило его щедрость по отношению к международным партнерам. Так, если ранее Еврокомиссия приглашала в свои проекты, но не финансировала работы ученых из государств – экономических лидеров (США, Япония, Канада, Южная Корея, Австралия), то с 2014 г. список государств, которым предложено самостоятельно оплачивать национальное участие, дополнили страны БРИК, Мексика, ОАЭ и ряд других, чьи расходы на науку и показатели научно-технической деятельности уверенно росли. Был ликвидирован специальный раздел «Международное сотрудничество», в рамках которого ЕС поддерживал координационные проекты для сти-

мулирования взаимодействия с целевыми странами и регионами, в том числе с регионом «Восточное партнерство». Одновременно Еврокомиссия активно продвигала идею организации совместных конкурсов проектов с отдельными стратегическими партнерами на условиях софинансирования, стремясь шире вовлечь их в реализацию программы и одновременно увеличить ее бюджет.

Расширение списка нефинансируемых стран и экономия на международном сотрудничестве ожидаемо сказались на его показателях. Согласно промежуточной оценке хода реализации «Горизонта 2020» (2016), по сравнению с предыдущей программой оно просело по всем статьям: и по количеству представленных третьих стран, и по доле международных участников в их общей численности, и по выделенному бюджету. Изменился и список наиболее активных стран-партнеров [3] (таблица). Несмотря на установку вернуть показатели хотя бы на уровень 7-й РП, более поздние отчеты существенных улучшений не зафиксировали [4].

На фоне общего снижения показателей международного сотрудничества Беларусь отработала в «Горизонте 2020» лучше, чем можно было бы ожидать: Еврокомиссией выделены средства на реализацию 55 проектов с участием отечественных ученых, еще два выполняются без финансирования (7-я РП: 64 проекта). Среди знаковых разработок – участие

Показатели МНТС	7-я РП	Горизонт 2020 (2016)
Доля третьих стран в общем количестве партнеров проектов, открытых для международного сотрудничества, %	4,3	2,5
Доля третьих стран в общем бюджете проектов, открытых для международного сотрудничества, %	1,8	0,8
Доля третьих стран в общем количестве партнеров во всех проектах программы, %	3,6	1,9
Доля третьих стран в общем бюджете всех проектов программы, %	1,3	0,6
Участие неассоциированных третьих стран в рекомендованных к финансированию проектах	131	87
Топ-5 наиболее активных стран-партнеров из числа неассоциированных третьих стран	США Россия Китай Бразилия Австралия	США Китай Канада Австралия Бразилия

Таблица. Отдельные показатели международного сотрудничества в 7-й РП и программе «Горизонт 2020»

во флагманских инициативах «Графен» (Институт ядерных проблем БГУ) и «Квантовые технологии» (Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси), попадание в которые ограничено из-за высочайшей конкуренции и негласных барьеров в отношении третьих стран. Суммарный бюджет белорусских исполнителей превысил 7,8 млн евро (7-я РП: 5 млн евро), а общий объем финансирования проектов с их участием – 144,7 млн евро. Согласно правилам РП, результаты научной деятельности принадлежат их исполнителям: отечественные партнеры являются совладельцами интеллектуальной собственности, стоимость которой в 18(!) раз превышает их собственный вклад, и могут участвовать в коммерциализации результатов.

Более половины проектов, выполненных с привлечением белорусских исследователей, относятся к программе Марии Склодовской-Кюри, что соответствует общей картине участия третьих стран. Эта программа в составе «Горизонта 2020» финансирует развитие научной карьеры, обмен персоналом и международную мобильность исследователей. Наша страна стабильно входит в пятерку наиболее активных международных партнеров программы Марии Склодовской-Кюри, а на начало 2021 г. уступает только Аргентине, Чили и ЮАР. В ней участвуют 15 учреждений и 266 ученых с белорусской стороны и 234 ученых из ЕС, которые представляют десятки партнерских организаций. Другие особенности участия Беларуси в программе «Горизонт 2020»:

- *партнерами в проектах выступает в основном «академическая» наука – институты НАН Беларуси и ведущие вузы, среди которых абсолютным лидером является БГУ; представительство бизнеса единично;*
- *как следствие, преобладающий тип проектов – фундаментальные и прикладные исследования и разработки. В части технологических проектов по правилам программы они завершаются пятым уровнем готовности технологии (TRL) – основные ее компоненты собраны вместе для тестирования в модельной среде. Ни одна из заявок на инновационный проект (TRL6 и выше) с участием Беларуси не была поддержана. По этой же причине проекты, в которых работают отечественные ученые, относятся, главным образом, к блоку «Передовая наука», куда помимо уже упомянутых флагманских инициатив и программы Марии Склодовской-Кюри входит подпрограмма «Научная инфраструктура». В двух других блоках, направленных на раз-*

*витие промышленности и решение социальных проблем, наши исследователи представлены незначительно.*

РП финансируют междисциплинарные проекты. Белорусы в них в основном занимают ниши на стыке физики, химии, материаловедения и инженерии. Это не самая часто встречающаяся на европейском научном поле страновая специализация. Ее сохранение и развитие является важной государственной задачей, как, собственно, и анализ причин низкой интеграции в глобальные научные сети отечественных ученых, занятых в медицине, экологии, сельском хозяйстве и ряде других отраслей. Последний аспект исключительно важен: 87% партнеров двух последних РП из Беларуси были приглашены в консорциум европейскими коллегами, а для этого необходимо быть «видимым», присутствовать на европейском научном поле.

Примечательно, что на протяжении «Горизонта 2020» активность нашей страны была неровной: если на пике в год подавалось более 80 заявок (2015), то к концу программы – менее 30. Весьма вероятно, сформировался некий костяк «активистов» с высокими научными результатами по направлениям упомянутой страновой специализации и прочными связями в Европе. Они регулярно подают заявки и выигрывают проекты, что поддерживает их стойкий интерес к РП, а новички, в силу высокой конкуренции, после одной-двух неудач сдают позиции. Расширение круга исполнителей всех типов – академической науки, малого и среднего бизнеса, общественных организаций – одна из основных задач на новую программу.

С формальной точки зрения предложенные Еврокомиссией принципы организации и финансирования международного сотрудничества в программе «Горизонт Европа» базируются все на той же действующей Стратегии международного сотрудничества от 2012 г. Однако уже после того как проект программы был официально представлен в мае 2018 г., произошли события, которые заставили европейских политиков второй раз за последнее десятилетие отступить от принципа полного и безоговорочного открытия научных программ для всего мира. Пандемия COVID-19, с одной стороны, со всей очевидностью продемонстрировала значение и возможности международного сотрудничества для реагирования на глобальные вызовы, с другой – обострила противоречия между ЕС и отдельными партнерами, удвоила внимание к вопросам защиты информации и, в частности, персональных данных, недобросовестной конкуренции, игнорированию общепри-

нятых норм в сфере интеллектуальной собственности. Лозунг «открыта миру» меняется на «открытая стратегическая автономия ЕС», что наиболее выразительно описывается следующим образом: «РП должны быть открыты, насколько это возможно, и закрыты, насколько это необходимо».

Ограничения по участию международных партнеров из отдельных стран или регионов могут коснуться областей и проектов, имеющих отношение к стратегическим ресурсам, технологическому лидерству, автономии и безопасности ЕС, которые финансируются во втором блоке программы «Глобальные проблемы и конкурентоспособность европейской промышленности» (рисунок). Расплывчатость сказанного позволяет подвести под эту категорию почти любую область. Например, в момент подготовки настоящей статьи научная общественность активно обсуждает возможный запрет на участие в проектах по квантовой и космической тематике организаций из Великобритании, Израиля и Швейцарии, которые являются ближайшими партнерами ЕС и, кстати, имеют намерение работать в программе «Горизонт Европа» в качестве ассоциированных государств, а значит, участвовать в формировании ее бюджета. Вероятность того, что в группу стран, чье участие в отдельных конкурсах будет ограни-

чено, может попасть Беларусь, также не исключена. Как и прежде, останутся недоступными для третьих стран и инструменты прямой поддержки малого и среднего бизнеса (EIC Accelerator), которые переданы в ведение Европейского инновационного совета. Вместе с тем, по мнению автора, большинство конкурсов для юридических лиц из нашей страны останутся открытыми.

Среди других «международных» новшеств стоит упомянуть намерение ЕС восстановить сотрудничество с США, расширить возможности ассоциированного членства на страны, не являющиеся соседями, с прицелом на Канаду, Японию и Южную Корею, усилить международное участие в климатических и арктических исследованиях, а также в предстоящих миссиях ЕС в области онкологии, умных и климатически нейтральных городов. Однако сказанное получит подтверждение только после окончательного утверждения программы в мае 2021 г.

Исюминкой «Горизонт Европа» считаются миссии – новый подход к организации исследований в целях решения глобальных проблем (блок 2). Под ними понимается портфель проектов в различных дисциплинах и областях, предназначенный для достижения четких целей в определенный период времени, оказывающий очевидное воздействие



Рисунок. Структура программы «Горизонт Европа»

на общество и политику и отвечающий потребностям значительной части населения ЕС и широких слоев граждан. Задача миссии – более четко соотнести исследования и инновационную деятельность с потребностями общества и граждан, продемонстрировав при этом значительное воздействие и высокую степень узнаваемости результатов. В целом, такой подход, который набирает обороты в научно-технической и инновационной политике ряда стран (Япония, Германия, Нидерланды), а теперь интегрируется и в пан-европейскую программу, – это возврат к программно-целевому планированию, которое в Беларуси, например, является доминирующим методом уже десятки лет. Ключевой вопрос, однако, не в самом подходе, а в том, каким образом он будет реализован. Факторами успеха называются:

- активное участие гражданского общества в процессе разработки, формулирования, реализации и оценки результативности миссий;
- наличие у Еврокомиссии возможности и необходимых инструментов для повышения динамики инновационной экосистемы, в том числе готовность государственных служащих экспериментировать самим и поддерживать чужие эксперименты;
- достаточность выделяемых на миссии бюджетных средств для того, чтобы возбудить интерес бизнеса и заставить его внести в их реализацию существенный по объемам собственный вклад, а также для стимулирования связей между секторами (государственный, коммерческий, некоммерческие общественные организации), различными отраслями промышленности и сектора услуг, национальными и зарубежными субъектами [5].

Для формирования миссий Еврокомиссия определила 5 областей, которые хорошо коррелируют с целями устойчивого развития ООН:

- онкология;
- здоровые почвы и пища;
- климатически нейтральные умные города;
- экологически чистые океаны, моря, прибрежные зоны и внутренние водоемы;
- адаптация к изменениям климата, включая трансформацию общества.

Для формулирования миссий в каждой из областей создан совет из представителей бизнеса, науки, гражданского общества и СМИ, работу которого поддерживают экспертные советы; выделены средства. Организовано общественное обсуждение. Формирование миссий планируется завершить к концу

2021 г., однако текущие обсуждения позволяют получить представление о целях некоторых из них:

«**Победа над раком: миссия выполнима**»: ставит целью спасение к 2030 г. 3 млн жизней, охватывая весь спектр болезни – исследование причин и профилактики, диагностику и лечение, улучшение качества жизни выживших;

«**100 климатически нейтральных городов к 2030 г.**»: поддержать 100 европейских городов в их системном движении к климатической нейтральности и к означенному сроку превратить их в центры инноваций и передового опыта;

«**Забота о почве – забота о жизни**»: не менее 75% всех почв в ЕС к 2030 г. должны быть здоровыми для выращивания продуктов питания, для людей, природы и климата.

Очевидно, что участие отечественных ученых в реализации указанных миссий полностью соответствует интересам нашей страны.

По мнению автора, понимание логики организации программы «Горизонт Европа» и принципов поддержки международного сотрудничества для потенциальных партнеров из Беларуси достаточно важно, поскольку позволяет адекватно оценить возможности и свою собственную роль в процессе. Однако первостепенное значение играют уровень научных результатов и наличие партнеров. Также важна поддержка заявителей проектов на уровне администрации научных организаций, своевременное информирование и доступность консультационных услуг, обеспечение которыми научного сообщества должно взять на себя государство. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Vision for Europe – Open Innovation, Open Science, Open to the World» // <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/open-innovation-open-science-open-world-vision-europe>.
2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions «Enhancing and focusing EU international cooperation in research and innovation: A strategic approach» // <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1580995450437&uri=CELEX:52012DC0497>.
3. Commission Staff Working Document «In-depth Interim Evaluation of Horizon 2020» // <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33dc9472-d8c9-11e8-afb3-01aa75ed71a1/language-en>.
4. 2018 Report on the Implementation of the Strategy for International Cooperation in Research and Innovation // [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research\\_and\\_innovation/strategy\\_on\\_research\\_and\\_innovation/documents/ec\\_rtd\\_inco-roadmap-2018-progress-report.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/documents/ec_rtd_inco-roadmap-2018-progress-report.pdf).
5. Mariana Mazzucato. Governing missions in the European Union // [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research\\_and\\_innovation/contact/documents/ec\\_rtd\\_mazzucato-report-issue2\\_072019.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/contact/documents/ec_rtd_mazzucato-report-issue2_072019.pdf).
6. Missions in Horizon Europe // [https://ec.europa.eu/info/horizon-europe/missions-horizon-europe\\_en](https://ec.europa.eu/info/horizon-europe/missions-horizon-europe_en).

# Пути совершенствования правового регулирования

## индивидуального предпринимательства в Республике Беларусь



**Михаил Попков,**  
соискатель степени к.э.н.,  
Белорусский государственный  
экономический университет;  
popkov@inbox.ru

Часть 2

**Аннотация.** В статье рассказывается о правовом регулировании индивидуального предпринимательства (ИП) в Республике Беларусь и за рубежом, существующих отличиях законодательства и возможных направлениях его совершенствования. Рассматриваются вопросы налогообложения индивидуальных предпринимателей, методы оценки их доходов, а также пути повышения их участия в формировании ВВП и целесообразные для этого законодательные изменения.

**Ключевые слова:** малый и средний бизнес, индивидуальное предпринимательство, нормативное правовое регулирование, критерии определения индивидуального предпринимательства, государственная регистрация, налогообложение малого бизнеса, вклад в ВВП.

**Для цитирования:** Попков М. Пути совершенствования правового регулирования индивидуального предпринимательства в Республике Беларусь // Наука и инновации. 2021. №5. С. 51–55. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-5-51-55>

Сравнение так называемого налогового окружения ИП в Республике Беларусь с зарубежным опытом может стать действенным резервом развития не только данного сектора экономики, но и малого и среднего предпринимательства (МСП) в целом.

В зарубежной практике для ИП предусмотрена возможность применения специальных режимов налогообложения, прежде всего «вмененного». Он главным образом применяется по причине того, что:

- число ИП велико, и это делает невозможным тщательную проверку хозяйственной деятельности;
- их доходы небольшие;
- им нет необходимости для целей бизнеса вести полноценный бухгалтерский учет;
- они реализуют продукцию главным образом населению за наличные деньги.

Вследствие этих причин ИП имеют возможность скрывать свои доходы. Суммы налоговых платежей от этой группы небольшие в сравнении с административными издержками, которые пришлось бы нести государству, чтобы определить с достаточной степенью точности доход, облагаемый налогом.

В результате налоговые органы вынуждены оценивать (вменять) соответствующий доход, с которого и взимаются налоги.

Термин «вменение» означает существование обоснованных предположений относительно того, что фактический доход налогоплательщика не меньше, чем сумма, рассчитанная с применением косвенных методов. Вмененное налогообложение предполагает их использование для определения налоговых обязательств, отличающихся от обычных правил налогообложения, которые требуют ведения полноценного бухгалтерского учета. Такой подход имеет смысл только в том случае, если показатели, на которых базируется вменение, гораздо труднее исказить или скрыть, чем те, которые рассчитываются на основе данных бухучета. Концепция вмененного налогообложения включает множество альтернативных показателей, используемых для определения налоговой базы. Ими могут быть регион, отрасль, количество занятых, размер бизнеса, величина активов налогоплательщика и т.д.

Существует множество подходов для оценки дохода налогоплательщика. Простые основаны на одном показателе, таком как величина активов или валовой выручки. Более сложные предполагают использование различных показателей прибыльности, которые могут варьироваться от местоположения до количества высококвалифицированных работников и числа посадочных мест (для кафе и ресторанов).

Наиболее тщательно разработанный метод приблизительной оценки – французский «forfait» (контрактный). Он базируется на предварительном соглашении между налогоплательщиком и налоговыми органами об определении налоговых обязательств на основе оцененного, а не фактического дохода. Предприниматель представляет следующую информацию (за предыдущий год): закупки, продажи, стоимость запасов, количество работников, сумма выплаченной заработной платы и количество находящихся в собственности автомобилей. Доход рассчитывается на основе сложной и детализированной процедуры в зависимости от отрасли. Он является предметом соглашения с налогоплательщиком и, в случае одобрения, рассчитанный на его основе вмененный налог применяется в течение двух лет. Сумма может отличаться по годам, и величина налоговых обязательств за второй год может быть распространена на один или несколько последующих периодов. Аналогичный метод применяется и в Бельгии, где налоговые органы могут заключать соглашение о вмененном налогообло-

жении с теми налогоплательщиками, которые не в состоянии вести адекватный бухгалтерский учет, и оно сохраняет силу в течение последующих трех лет [31].

Вменение по стандарту предполагает установление фиксированной суммы налога в зависимости от профессии или вида деятельности. Ее величина выводится исходя из среднего налогооблагаемого дохода нескольких случайно выбранных налогоплательщиков. Наиболее тщательно разработанным методом оценки по стандарту считается израильский *tachshiv* (*tadrihim*), использующий различные объективные показатели для оценки дохода налогоплательщиков. *Tachshiv* для каждой отрасли экономики готовился в течение нескольких лет после интенсивных исследований и множества визитов к МСП. Вмененный доход определялся в зависимости от вида деятельности и наличия в распоряжении налогоплательщика необходимых факторов, которые трудно скрыть при проверке: местоположение, число посадочных мест (для ресторанов), количество работников, уровень их квалификации, тип используемого оборудования и т.д. [31].

Оспоримое налогообложение может быть обжаловано ИП путем доказательства того, что их фактический доход, рассчитанный по общим правилам, меньше, чем рассчитанный на основе вменения. В отличие от этого неоспоримое не может быть обжаловано. Тем самым первый вариант может поощрять ИП вести соответствующий учет, поскольку при его отсутствии налоговые обязательства могут увеличиться.

Вмененное налогообложение может быть также подразделено на формальное, где обязательства устанавливаются в соответствии с заранее установленными правилами, и дискреционное, предполагающее высокую степень свободы налоговых органов при определении налоговых обязательств. В некоторых ситуациях возможно даже установление базы налогообложения фактически в индивидуальном порядке каждому плателю. Как следствие, формальный подход в меньшей степени способствует коррупции и является более простым в административном плане. В то же время дискреционный считается более справедливым, поскольку позволяет учесть специфические обстоятельства различных налогоплательщиков.

Деятельность ИП ряда стран Европы облагается подоходным налогом (ПН), имеющим прогрессивный характер налогообложения, где минимальной ставкой пользуются начинающие и имеющие низкий доход [32].

В Голландии предпринимателям предоставляется специальная личная льгота, снижающая их налогооблагаемый доход. Размер вычета носит регрессивный характер и изменяется в зависимости от величины полученной налогооблагаемой прибыли [33].

В Италии при регистрации в качестве ИП субъект хозяйствования имеет право в течение первых трех лет деятельности платить вместо стандартного налога на прибыль льготный замещающий налог в размере 10% прибыли.

В Чехии доходы ИП облагаются ПН в размере 15%. В налоговом законодательстве введена максимальная годовая налогооблагаемая база для индивидуальных предпринимателей в размере 48-кратного размера средней заработной платы в народном хозяйстве. В расходы не включаются отчисления на пенсионное и медицинское страхование [34].

В Словении при уплате ПН индивидуальные предприниматели могут требовать уменьшения налогооблагаемой базы на 20% расходов на инвестиции в развитие и совершенствование своего производства, причем это изъятие может увеличиваться до 30% и 40% в разных регионах страны [34].

В Румынии ИП уплачивают налог на «валовой доход», в который включаются доходы от торговой деятельности, использования прав на интеллектуальную собственность. В категорию плательщиков включены такие лица свободных профессий, как адвокаты, медики, нотариусы, финансовые аудиторы, архитекторы и другие, имеющие лицензию. При этом действует плоская шкала налога 16% от дохода [34].

В США индивидуальные предприниматели, имеющие меньшие доходы, платят налоги по более низкой ставке в соответствии с установленной шкалой ставок подоходного налога с физических лиц (от 15% до 39,6%) [33]. В этом случае увеличение ставок ПН может существенным образом повлиять на количество функционирующих в народном хозяйстве предпринимателей, которые чувствительно реагируют на такие изменения [35].

В Австралии ИП, являющиеся гражданами страны, не платят ПН на первые 6 тыс. долларов, которые они зарабатывают [36].

В Японии разработана система вычетов из облагаемого ПН. В случае использования недвижимого имущества в предпринимательских целях применяются льготы, частично освобождающие от налога на имущество. Для стимулирования деятельности ИП функционирует система экономического страхования, в которой предусмотрен перечень неприкосновенной собственности, не подлежащей распродаже в случае банкротства.

Как в Республике Беларусь, так и за рубежом наблюдается значительное расхождение между количеством зарегистрированных и ведущих бизнес на рынке ИП.

В правильно организованной экономической системе допустимо временное, до 2 лет и более, прекращение активной деятельности существующего де-юре субъекта предпринимательства. Так, во Франции из всех вступающих на рынок предприятий в течение года около половины были зарегистрированы ранее и просто не вели деятельность или прекратили ее по каким-либо причинам [37].

Вместе с тем в Австрии предприятие автоматически лишается лицензии в том случае, если в течение двух-трех лет после регистрации оно так и не приступило к активной деятельности. В Чехии в целях сокращения «мертвых душ» был введен так называемый минимальный налог, который обязаны уплачивать зарегистрированные в реестре предприятия, из года в год показывающие в годовом балансе нулевую или отрицательную прибыль [28].

С учетом специфики развития рыночных преобразований в Беларуси целесообразно рассмотреть возможность применения у нас подобных мер. Для дальнейшего совершенствования гражданского законодательства требуется также принять во внимание наличие схожей нормы по запрету на регистрацию лица в качестве индивидуального предпринимателя в течение трех лет со дня принятия решения об ее аннулировании по иным причинам.

Данные собираемой и публикуемой госорганами статистики сектора ИП, свидетельствующие об его удельных весах в основных экономических показателях и динамике развития за ряд лет, могут стать основой разработки соответствующих планово-программных документов и проведения более эффективной политики государственной поддержки субъектов МСП. Перспективным видится подход, основанный на оценке участия ИП в ВВП с учетом выручки от реализации товаров, работ (услуг), необходимой для формирования одного и того же объема ВВП, в сравнении с аналогичным показателем прочих субъектов малого и среднего предпринимательства. Также ориентиром может быть объем ВВП в расчете на 1 работника субъектов МСП.

Начиная с 2011 г. Национальный статистический комитет публикует в открытом доступе данные о валовом внутреннем продукте ИП [38]. Его учет имеет важное значение для определения значимости роли ИП в экономике, а также в сравнении с прочими субъектами МСП. Рассмотрим удельный вес ВВП в выручке субъектов МСП (табл. 1).

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Средние организации	21,7	26,6	26,5	30,0	30,8	30,9	28,0	27,7	28,9
Малые организации	15,2	18,1	19,2	20,8	18,2	18,2	16,2	15,5	15,9
Микро организации	18,3	21,2	22,1	22,5	22,3	18,4	17,2	19,0	20,2
Индивидуальные предприниматели	58,1	53,9	59,7	51,7	44,1	44,8	53,3	37,6	46,0

Таблица 1. Удельный вес ВВП в выручке от реализации товаров, работ (услуг) субъектов МСП Республики Беларусь в 2011–2019 гг., %.\*

\* Рассчитано автором на основе данных статистических сборников: «Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь», 2011–2020 гг.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что ИП являлись абсолютным лидером среди субъектов МСП по рассматриваемому показателю. Для большей наглядности представим это на графике (рис. 1).

Таблица, составленная на основе данных статистики за тот же период по иному показателю: объем ВВП в расчете на 1 занятого, напротив свидетельствует о преобладании юридических лиц – субъектов МСП (табл. 2). Хотя разница не является принципиально существенной (рис. 2)

Анализ представленной информации позволяет сделать вывод, что создание условий для увеличения выручки ИП при прочих равных условиях станет действенным фактором увеличения ВВП как субъектов МСП, так и всей экономики.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
В средних организациях	4,6	11,2	11,6	14,1	16,1	17,5	18,6	22,3	25,1
В малых организациях	6,3	10,4	12,5	14,9	17,7	19,5	20,5	23,9	25,7
В микро организациях	4,3	9,1	10,1	13,0	14,1	13,1	17,3	21,9	20,6
У индивидуальных предпринимателей	3,4	7,6	10,2	10,1	9,6	10,7	14,6	12,0	18,2

Таблица 2. ВВП в расчете на 1 занятого работника субъектов МСП Республики Беларусь в 2011–2019 гг., тыс. руб.\*

\* Рассчитано автором на основе данных статистических сборников: «Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь», 2011–2020 гг., (2011–2015 гг. – с учетом деноминации)

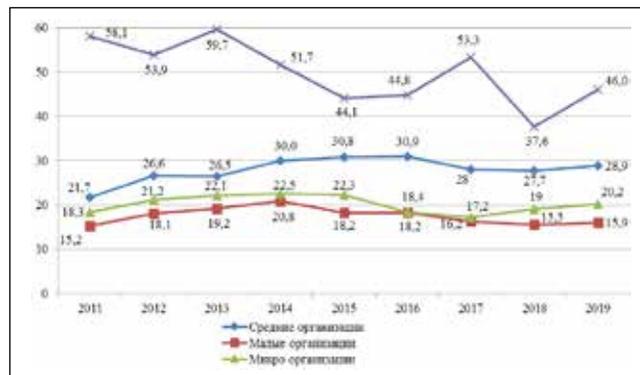


Рис. 1. Удельный вес ВВП в выручке от реализации товаров, работ (услуг) в разрезе субъектов МСП Республики Беларусь в 2011–2019 гг., %

Стимулирование оттока в сектор ИП рабочей силы, напротив, может не иметь положительного эффекта как в части увеличения ВВП субъектов МСП, так и всей экономики. В этом аспекте необходимо создавать необходимые условия для повышения производительности труда одного работника сектора ИП.

Также необходимы более детальные исследования в разрезе видов экономической деятельности, так как их ВВП должен существенно отличаться. По этой причине заинтересованным госорганам, прежде всего Министерству экономики, целесообразно в перспективе реализовывать свою политику, направленную на поддержку субъектов МСП.

Законодательство, регулирующее хозяйственную деятельность ИП в Республике Беларусь, в основных положениях соответствует нормативному правовому регулированию стран с рыночной экономикой. Вместе с тем имеется ряд существенных разли-

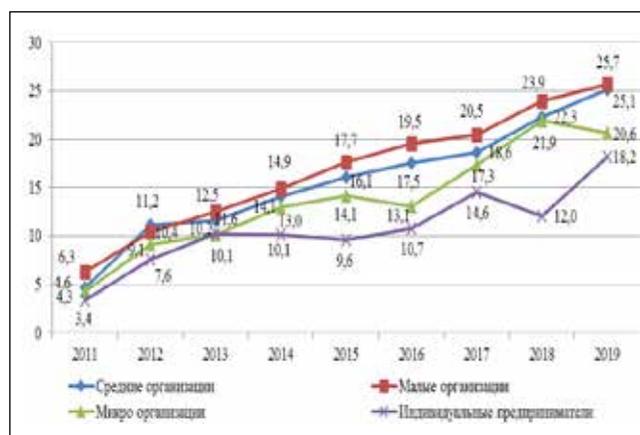


Рис. 2. ВВП в расчете на 1 занятого работника в разрезе субъектов МСП Республики Беларусь в 2011–2019 гг., тыс. руб.

чий, не позволяющих говорить о равных условиях ведения бизнеса предпринимателями у нас в стране и за рубежом, замедляющих динамику дальнейшего развития сектора индивидуального предпринимательства в Беларуси. На основании изложенного представляется целесообразным предусмотреть:

- *установление в гражданском законодательстве возможности использования ИП «делового наименования» бизнеса (опыт Бельгии, Словении, Великобритании);*
- *введение обязательного страхования профессионального риска индивидуальных предпринимателей (опыт Франции);*
- *создание стимулов для перехода ИП в иные организационно-правовые формы ведения бизнеса (опыт Казахстана);*
- *совершенствование системы налогообложения на основе корректировки объема налоговых выплат по единому налогу в соответствии с получаемым доходом (опыт Казахстана, Австралии, Италии);*
- *внесение изменений и дополнений в законодательство, позволяющих госорганам инициировать вопрос об аннулировании государственной регистрации индивидуального предпринимателя за неосуществление хозяйственной деятельности в течение определенного периода (опыт Австрии).*

В отечественном законодательстве отсутствует определение понятия «индивидуальный предприниматель». В Законе Республики Беларусь «О поддержке малого и среднего предпринимательства» установлено, что «индивидуальные предприниматели, зарегистрированные в Республике Беларусь» относятся к субъектам малого предпринимательства. В данном случае имеет место только отсылочная норма к нормативно-правовому регулированию порядка регистрации субъектов хозяйствования.

На основании изложенного возможно следующее определение: индивидуальное предпринимательство – это «хозяйственная деятельность физического лица, зарегистрированного в соответствии с законодательством, направленная на получение дохода, осуществляемая непосредственно при его участии на собственные и (или) заемные средства, при условии полной материальной ответственности за ее результаты».

Внесение изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «О поддержке малого и среднего предпринимательства», в том числе предложенное определение индивидуальной предпринимательской деятельности, станет основой для формирования законодательства, способствующего улучшению

качества регуляторной среды функционирования данного сектора, повышению его вклада в экономику и должного учета его роли в прогнозных показателях социально-экономического развития. ■

■ **Summary.** The article describes the legal regulation of individual entrepreneurship in the Republic of Belarus and other countries. Differences in the legislation and opportunities for its improvement. The social and economic significance of individual entrepreneurship. The issues of taxation of individual businesses and methods of assessing their income are considered. Increasing the participation of individual entrepreneurs in the formation of GDP and possible legislative changes.

■ **Keywords:** small and medium-sized businesses, individual entrepreneurship, regulatory legal regulation, criteria for the identification of individual entrepreneurship, state registration, taxation of small businesses, contribution to GDP.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-5-51-55>

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

24. Бехтерев Ю. Странное ноу-хау белорусской модели // Директор. 2007. №8(98). С. 27–29.
25. Войткевич Е. Сколько нужно собрать «бумажек», чтобы стать предпринимателем в США? // НЭГ. 2003. №12.
26. Maitland-Walker J. Guide to European company laws, Third Edition. – London, 2007.
27. Watson N., John J. Downes. Study on Regulatory Regimes in Selected Professional Services in EU Member States // Interim Report, June 2009, pp. 137, 154, 161, 162, 176.
28. Государственная поддержка малого предпринимательства в странах Центральной и Восточной Европы / отв. ред. Р.С. Гринберг. – М., 2006.
29. Закон Республики Узбекистан от 25.05.2000 г. №69-П «О гарантиях свободы предпринимательской деятельности», ст. 6.
30. Small companies, the self-employed and the tax system a discussion paper. December 2004. P. 10.
31. Валевиц Ю. Налогообложение малого бизнеса: международный опыт и ситуация в Беларуси. – Институт приватизации и менеджмента, 2004.
32. Борлакова А.Р. Индивидуальное предпринимательство как объект государственного регулирования: институциональные условия и механизмы поддержки на этапе восстановительного роста экономики региона. – Ростов-на-Дону, 2007.
33. Юзайтис Д. Проект Тасис «Поддержка развития малого предпринимательства» // МСП, обзор специальных налоговых режимов – опыт разных стран. 2000. Ноябрь. С. 14, 16.
34. Налоговая политика в социально-экономическом развитии стран с переходной экономикой / под. ред. Р.С. Гринберга. – СПб., 2011.
35. Chittenden Francis and Sloan Brian Report for the Small Business Service, Taxation and small businesses: a review of the literature // Manchester Business School. 2006. November. P. 22.
36. Guide for small business operators, Tax basics for small business, Information about your tax obligations and entitlements // Australian Government, Australian Taxation Office. P. 66.
37. Маршене М. Менеджмент малых и средних предприятий. – Минск, 1998.
38. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Словарь современной экономической науки. – М., 1996.

Полный список использованных источников размещен

 [SEE http://innosfera.by/2021/05/small\\_businesses](http://innosfera.by/2021/05/small_businesses)

Статья поступила в редакцию 22.10.2020

# КОД РЕШЕНИЯ



Введение обязательной маркировки молочной продукции идентификационными метками для лучшей прослеживаемости товаров – задача, которую отечественным предприятиям предстоит решить в этом году. Совет Евразийской экономической комиссии определил эту практику как обязательную на всей территории ЕАЭС, а затем она была закреплена в нашей стране Указом Президента №9. Для белорусских производителей это означает оперативное введение новшеств в устоявшиеся технологические процессы. Однако универсального решения здесь нет: уж слишком разные по оснащению, масштабам, специфике предприятия молочной отрасли. Искать индивидуальные подходы помогают специалисты Брестского государственного технического университета, где недавно появилась отраслевая лаборатория систем идентификации и промышленной робототехники.

Плюсов у маркировки товаров идентификационными кодами много: она помогает бороться с контрафактом, вести налогообложение и точный учет товаров, знать, сколько и каких позиций производится и куда они продаются, позволяет не тратить лишних средств на анализ рынка, исходя из которого можно принимать решения по экспорту или торговле внутри страны. До 1 июня соответствующие знаки должны появиться на сырах и мороженом, до 1 сентября – на изделиях со сроком хранения более 40 суток (сливочном масле, молоке и прочих), до 1 декабря – со сроком хранения до 40 суток, например йогуртах, кефире, твороге.

## Прямым путем

Внедрение новой системы для целой отрасли – задача непростая и многокомпонентная. Во-первых, нужна собственно генерация цифровых кодов на уровне страны. У нас ее будет проводить национальный оператор системы маркировки «Издательство «Белбланкавыд» («Электронный знак») и затем предоставлять коды предприятиям, которые, в свою очередь, должны снабдить ими каждую единицу товара. А вот как это реализовать на конкретном заводе с его особенными технологическими цепочками, спектром изделий, определенным уровнем автоматизации и цифровизации, и помогает понять руководитель новой отраслевой лаборатории БрГТУ Сергей Лапич.

Он поясняет, что есть три способа нанесения кодов маркировки на различные виды продукции: типографский, в виде этикеток и прямой, когда производитель закупает оборудование и осуществляет эту операцию сам. У каждого из них свои плюсы и минусы. В случае с типографией именно она берет на себя обязательства по качеству нанесения кода на пленке, обеспечению заданного класса точности, а это важно, ведь в случае несоответствия продукт будет считаться контрафактом и не должен попадать в торговлю. Но есть нюанс – пленку в типографии надо заказывать заранее, а если будут сбои в поставке, очереди, то предприятию грозит простой и убыток сырьевых ресурсов. Кроме того, при этом способе производитель заранее должен знать, в каком месте будет располагаться код, как будет осуществляться его чтение, но он и сам может не владеть этой информацией.

В случае с этикетированием коды можно печатать на заводе, при помощи спецоборудования. Но здесь есть опасения, что при большой загруженности предприятие рискует не справиться с заданным объемом, ведь за смену с его линий может сойти и миллион единиц продукции.

— Поэтому большая часть компаний приходит к тому, что надо ориентироваться именно на прямое нанесение, внедрять технологии непосредственной печати кода маркировки на тот или иной упаковочный материал в процессе производства. Еще в сентябре в университете совместно с Министерством по налогам и сборам, курирующим эту тему, был проведен семинар для молочников, на котором мы поделились годовым опытом работы в этой области с «Савушкиным продуктом», одним из первых начавшим внедрять такой способ. Многие предприятия заинтересовались нашими решениями. Мы выступаем за индивидуальный подход. Не привязываемся к конкретному оборудованию или его поставщику, а отталкиваемся от технологии, которая наиболее применима к тому или иному виду упаковки. Заводы нам предоставляют материалы, с которыми будут работать, и мы апробируем все возможные способы нанесения в поисках оптимального варианта. Образцы, полученные в процессе лабораторных исследований, отсылаем в Центр систем идентификации, сравниваем наши результаты, чтобы сделать заключение о соответствии с ГОСТ-стандартом, – вводит в курс дела Сергей Лапич.

Опытные проекты, которые уже реализованы, показали: при работе с молочными продуктами немало специфичных моментов. Материалов используется множество: бумага, кашированная фольга, полиэтиленовая пленка, матовые, глянцевые поверхности – и на каждый тип код ложится по-разному. Но в любом случае нужно обеспечить и качество и сохранность метки в течение требуемого периода. К сложностям стоит отнести и поведение поверхности, которая часто не статична – вспомним, например, молоко в мягких пакетах или бумажные пачки творога. Ассортимент молочной продукции очень широк, позиции разные, каждая со своими требованиями к хранению – вплоть до заморозки. Без индивидуального подхода никак. Скажем, если мороженое – в стаканчике, имеет смысл наносить код еще при размотке материала, ведь итоговая форма пачки подвижна, а вот в случае с эскимо можно печатать метку и на упа-

кованный продукт, с использованием аппликатора, не деформирующего поверхность.

— Мы занимаемся разработкой технологий нанесения, подходящих именно конкретному производству, рассматривая проблему комплексно. Ведь важен и вопрос стоимости размещения одного кода на поверхности товара. Разные методы отличаются по цене. Представим, что предприятие выпускает в сутки больше сотни тысяч единиц... Конечно, при выборе более дешевых подходов экономия будет внушительная. Плюс требуется и обслуживание оборудования, которое подразумевает подготовку специалистов. Ее в компаниях не ведут, и это еще одна задача – обучение технологиям, которые будут применены, – делится Сергей Лапич.

Это лишь часть вопросов, которые помогают решить специалисты университета. Ведь для корректного функционирования системы идентификации важно не только правильно промаркировать продукт, но также упаковать, зафиксировать коды, доставить в ритейл. Здесь также не обойтись без инноваций.

### Исключая человеческий фактор

Одна из них – комплекс коллаборативных роботов для упаковки – была продемонстрирована на последнем Белорусском промышленном форуме и вызвала немалый интерес. Это ноу-хау помогает автоматизировать процесс с учетом новых требований, которые появятся с введением промаркировки.

— Если раньше можно было просто отгрузить партию в 3 тыс. штук, то теперь на каждой единице товара будет проставлена уникальная метка, и нужно перечислить, какие именно коды вы отправили. При этом обозначить их как «от и до» – нельзя, ведь не факт, что они будут идти по порядку. На фасовке или ином этапе может быть брак, что-то выпадет, перемешается. В процессе упаковки коды нужно отсканировать и сохранить в системе. То есть на производстве фактически нужно выстроить новую информационную систему, чтобы вести учет. Тогда при поставке в торговую сеть четко прослеживается, какие единицы продукции и с какими кодами отданы. Здесь своя большая техническая проблема, –

не скрывает Валерий Касьяник, руководитель научно-практической лаборатории «Промышленная робототехника» БрГТУ.

В некоторых случаях на мелкосерийном производстве ее можно решить достаточно просто – у работника появляется специальный сканер в руках и он, выполняя операцию по упаковке, попутно считывает каждый код. Но этот метод подходит только для крупных продуктов, количество которых невелико, например головок сыра. А что делать, если идет о глазированных сырках, мороженом и прочей «мелочевке», где скорость – тысячи изделий в час, и упаковщикам надо успевать складывать их в коробки? Нагрузить их еще и сканированием невозможно, тем более что цена ошибки тут высока: неправильно прочитанная метка нарушит всю структуру учета, и в систему заказчика пойдут недостоверные данные, вследствие чего товар будет считаться контрафактом.

— *Технический университет, и в частности наша лаборатория, предлагает решение этой проблемы с применением коллаборативных роботов (коботов). Это более дешевая, инновационная технология, в отличие от традиционных роботов, дающая существенные преимущества по гибкости и окупаемости проекта для предприятия. Дело в том, что коботы, благодаря ограничению физических возможностей, специальным сенсорам и программному обеспечению, могут по международному стандарту безопасности (ISO TS:15066) работать вместе с человеком и, соответственно, при их внедрении не требуются дорогостоящие системы защиты. Они компактны, перемещаются с определенной скоростью и имеют грузоподъемность, которая совместима с работой человека и даже при столкновении с работником его жизни и здоровью не угрожают. В то же время они облегчают труд упаковщика, он становится оператором, который управляет процессом и следит за агрегацией кодов. И, главное, кобот может обеспечить гарантированно правильное быстрое считывание кодов, убирая фактор риска, который приносил бы на этой операции человек,* – перечисляет плюсы инновационного подхода Валерий Касьяник.

Лаборатория промышленной робототехники сотрудничает с компаниями-интеграторами, представляющими ведущих мировых производителей коботов, и нацелена на разработку технологий с их участием. Это взаимовыгодное парт-

нерство: студенты получают возможность пользоваться самым современным оборудованием и создавать новые, уникальные технические решения для автоматизации производств, а компании таким образом решают проблему подготовки инженеров и получают технологии, которые могут продвигать. Коллаборативные роботы уже работают на «Савушкин Продукт», идет сотрудничество с другими предприятиями пищевой отрасли.

В целом же университетом проведено цифровое моделирование внедрения систем маркировки для ряда молочных заводов по всей Беларуси, и, конечно, не всегда именно роботы становятся оптимальным вариантом.

— *Необходимость введения маркировки для молочной продукции поднимает много вопросов на разных уровнях – от каждого предприятия до всей страны, ведь надо обеспечить считываемость кодов на всех этапах, осуществлять контроль всей цепочки поставок. Готовых технологий, одинаковых для всех, в пищевой отрасли нет и быть не может. Даже если на двух предприятиях используется одна и та же линия, то как минимум размещена она иначе. Где-то можно расположить робота определенной конфигурации, а где-то места нет. Можно, конечно, сделать и типовое решение, но оно значительно удорожит производство. Поэтому мы проводим для предприятий цифровое моделирование производственной линии с учетом скоростей движения продукции, транспортных средств, применяемых технологий, строительных объемов помещения, расположения инженерной инфраструктуры. И это позволяет в разы снизить стоимость внедрения новшеств. Стараемся предложить несколько технических решений, чтобы представители завода могли выбрать наиболее подходящее, опираясь на возможности своего персонала. Здесь университет выступает скорее как организация, предлагающая методологическое решение задачи,* – резюмирует Николай Шешко, начальник научно-исследовательской части БрГТУ, кандидат технических наук, доцент.

Опыт продвижения инноваций, накопленный двумя лабораториями, позволяет разрабатывать методологию внедрения промышленной маркировки и систем идентификации с различным уровнем масштабирования – и такая работа будет вестись и далее совместно с национальным оператором. ■

Юлия ВАСИЛИШИНА

# Геоэкономические ПРИОРИТЕТЫ БЕЛАРУСИ



Фото Юлии Васильченко

**Андрей Гавриков,**  
аспирант Института социологии  
НАН Беларуси,  
магистр социологических наук

**С**овременный этап развития мировой экономики характеризуется усилением тенденций интернационализации, переплетением национальных экономических структур, производственных процессов, повышением уровня экономической открытости государств и их взаимозависимости. Основные факторы, на которых строятся конкурентоспособность промышленно развитых гигантов, – это научно-технологические достижения и внедрение их в максимально короткие сроки. Усиливается экономическое противостояние между отдельными государствами, а также их интеграционными объединениями, направленными на экономическое доминирование в регионе. Вопросы изучения экономического присутствия страны или союза на определенных рынках занимает новое синтезное научное направление – геоэкономика.

Это наука о перераспределении мирового дохода и ресурсов для определения государственной стратегии развития с учетом факторов глобализации и регионализации. Главная геоэкономическая цель государства – повышение конкурентоспособности национальной экономики на мировых рынках, ее процветание и безопасность [1].

Если геополитика, работающая над решением проблем национальной безопасности, рассматривает соседние страны как возможных соперников,

то геоэкономика, нацеленная на развитие экономики государства, напротив, видит в ближайших соседях прежде всего потенциальных партнеров [2].

Главный аналитический инструмент геоэкономики как науки – геоэкономический баланс, который, в свою очередь, напрямую связан с мировым обменом и экономическим разделением стран в сфере влияния. Обмен товарами и услугами, вызывающий движение капиталов, приводит к наднациональным объединениям в виде экономических союзов. Важным фактором выступает смещение геоэкономических потоков и государственное регулирование национальных экономик в результате кризисов, военных конфликтов, экономических санкций одних стран в отношении других, политических разногласий и т.д. По этой причине экономистами был выделен транснациональный эквивалент денег – геофинансы.

Геофинансы – синтез мировых финансовых средств и информационной технологии, результат либерализации законодательного регулирования [3].

Одна из основ экономического развития Республики Беларусь и ее геоэкономического взаимодействия – внешние инвестиции капитала и кредиты. Хотя в краткосрочной перспективе такое инвестирование считается положительным процессом, иностранные займы и дотации содержат в себе ряд экономических рисков, поскольку ставят национальную экономику в прямую или косвенную зависимость от решений, принимаемых за рубежом, что уменьшает геоэкономическую самостоятельность.

С конца XVIII в. наблюдается глобализация мирового экономического развития, предпосылками которой стали, во-первых, технологическая революция в области информации, связи и транспорта, а во-вторых, рост третичного сектора, представленного сферой услуг. В результате наблюдается своеобразное «стирание» границ, при котором экономическое

пространство выходит за рамки территории какого-либо государства. Глобализация мирового хозяйства ведет к увеличению масштабов и темпов движения капиталов, росту международной торговли, возникновению постоянно работающих в реальном времени мировых финансовых рынков. Технологический прогресс, способствующий созданию новых информационных систем, позволил увеличить скорость обращения капитала. Это обстоятельство вызвало разрушение старых экономических систем.

Растущая глобализация экономики – сложный и противоречивый процесс. С одной стороны, она облегчает хозяйственные отношения между государствами, создает условия для их доступа к передовым технологиям, обеспечивает экономию ресурсов, стимулирует мировой прогресс. С другой – несет негативные последствия: потерю странами своих ресурсов, разорение малого бизнеса, распространение конкуренции в том числе и на слабых участников рынка, снижение уровня жизни и др.

Для Республики Беларусь, которая также столкнулась с таким новым явлением, как глобализация, теперь не представляется возможным сохранять старые принципы развития без учета мировых тенденций. С одной стороны, это стимулирует увеличение экономической активности, способствует доступу на новые рынки сбыта; с другой – приводит к зависимости от мировых векторов развития и ограничению экономического суверенитета [5].

Геоэкономическая политика нашей страны ориентирована на создание полицентричного мира. Республика поддерживает и развивает тесные связи с Российской Федерацией и другими странами Содружества, а также с рядом государств Европы, арабского Востока, Китая и многими другими. Внешняя политика основывается на принципах партнерства и взаимовыгодного сотрудничества со всеми странами при сохранении национального суверенитета [4].

Основополагающий интерес Беларуси заключается в создании современной рыночной экономики. Для этого необходимо присутствие на мировых рынках отечественных конкурентоспособных товаров и услуг, государственная поддержка инноваций. Это важнейшая задача стратегии нашей внешней политики. Сегодня геоэкономическое состояние нашей страны весьма проблематично. Существенными барьерами для экспорта выступают международные стандарты качества и сертификации продукции и услуг, таможенные тарифы, квоты, а также нерасположенность значительной части политиче-

ской и бизнес-элиты зарубежных стран к экономическому диалогу [6].

В 90-е гг. XX в. возникла необходимость сформировать основы внешней политики Республики Беларусь. Были разработаны различные пути к решению этой проблемы. Базис предлагаемых концепций – вопрос, под каким углом рассматривать место и роль страны на мировой арене. Разумеется, анализ был основан на имеющихся в распоряжении ресурсах, наличие (либо отсутствие) которых выступало в качестве предпосылок для той или иной геоэкономической ориентации Беларуси. К этим ресурсам прежде всего следует отнести ее современное географическое положение, демографические и социальные, экономические, военно-стратегические, информационные и внешнеполитические возможности.

Так как значение данных факторов велико, подробнее остановимся на каждом из них.

**Географическое положение.** Наша страна отличается выгодным географическим положением: расположена на пересечении европейских транспортных путей, имеет возможность использовать эту локацию как для стимулирования развития национальной экономики, так и для усиления своих позиций в региональной политике.

Стоит отметить, что Беларусь – важный транзитный коридор при активной торговле европейских стран с Россией. Ухудшение ее дипломатических и экономических отношений с Евросоюзом и США сопровождалось уменьшением потока товаров на территорию РФ и введением секторальных санкций (которые действуют и сейчас со стороны ЕС и США). Россия начала проводить политику импортозамещения и увеличивать товарооборот в Азиатско-Тихоокеанском регионе (рис. 1), что, в свою очередь, неблагоприятно отразилось на Беларуси.

В то же время наша страна – не единственный транспортный коридор между Россией и Европой. Альтернативой для европейских государств могут стать республики Балтийского региона и Украина (при условии улучшения их дипломатических отношений с РФ). Поэтому необходимо проводить грамотную политику в отношении налогового сбора с транзитных путей. Стремление правительства получать дополнительную прибыль путем увеличения транзитных налогов может привести к смещению основных транспортных потоков на территории соседних стран [8].

**Демографические и социальные ресурсы.** В Республике Беларусь, по данным Национального статистического комитета, в январе 2021 г. проживало 9 349,6 тыс. человек на территории

в 207 600 км<sup>2</sup> [9]. В стране отсутствует проблема перенаселения, однако выражена недостаточность трудовых ресурсов, особенно в сфере рабочих специальностей.

Численность занятого населения по всем видам экономической деятельности составила 4334,2 тыс. чел., пенсионеров – 2485,8 тыс. чел., еще 1278,1 тыс. пришлось на учащихся и студентов [9]. С точки зрения геоэкономики, данная проблема может быть решена несколькими путями:

- *увеличением рабочих ресурсов с помощью легальной внешней иммиграции; однако это несет потенциальную угрозу этнонациональных конфликтов при компактном расселении новоприбывших, социальной напряженности в случае, если иммигранты будут низкоквалифицированными рабочими или лицами с сомнительным прошлым (с чем столкнулись страны ЕС и США в 2015–2020 гг.) и падения реального дохода коренного населения при согласии приезжих выполнять ту же работу за меньшие деньги;*
- *ростом рождаемости в Республике Беларусь. В 2019 г. в стране родилось на 14,5 тыс. детей меньше, чем в 2018 г. – 116,7 тыс. [9]. Трудоспособное население стареет, а большинство семей ограничивается рождением 1 или 2 детей. Такая ситуация требует значительной корректировки государственной политики в данной сфере, кардинальных реформ по стимулированию естественного прироста населения.*

**Военно-стратегические ресурсы.** Республика Беларусь обладает боеспособной армией. Так, на 1 марта 2016 г. она насчитывала 14 502 офицера, 6850 прапорщиков, 25 671 солдата и сержанта, 3502 курсанта, а также 16 407 лиц гражданского персонала [10].

В последние годы Беларусь позиционировала себя как нейтральное государство и выступала в качестве площадки для многосторонних переговоров во время вооруженных конфликтов. Это благоприятно сказывалось на установлении торговых отношений со странами-участниками Международного валютного фонда и Всемирной торговой организации.

Огромное значение для безопасности республики имеет также ее членство

в таких международных структурах, как СНГ (Содружество Независимых Государств), ОБСЕ (Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе) и ООН (Организация Объединенных Наций). В рамках уставных документов предусмотрен механизм защиты их участников от вооруженной агрессии со стороны одного либо нескольких государств. Но необходимо признать, что нашим основным военным партнером выступает Российская Федерация, участие которой в геополитических конфликтах также сказывается на соответствующем отношении к нам стран, входящих в ЕС, и США.

**Экономические ресурсы.** По такому базовому показателю, как ВВП, наша страна значительно уступает многим государствам. По данным Национального банка Беларуси, ВВП республики неоднороден и растет достаточно медленно. На рис. 2 представлена динамика этого показателя в 2017–2018 гг.

В 2020 г. национальный ВВП упал на 0,9% после роста на 1,1% годом ранее. Согласно прогнозу социально-экономического развития страны, напротив, он должен был вырасти на 0,3%. Однако, несмотря на прогнозы правительства, ВВП пошел вниз, по итогам года снизившись на 2,6% по сравнению с 2015 г. В 2016 г. объем ВВП в текущих ценах составил 94 949,0 млн руб. (в масштабе цен, действующих с 1 июля 2016 г., или в сопоставимых ценах 97,4% к уровню 2015 г.) [12]. Тем не менее темп роста ВВП на 5 лет прогнозируется правительством в диапазоне 103,1–105%, что более чем в 2 раза выше показателя прошлой пятилетки. Такие цифры обозначены в постановлении Совета министров «О реализации задач социально-экономического развития Республики Беларусь» [12].

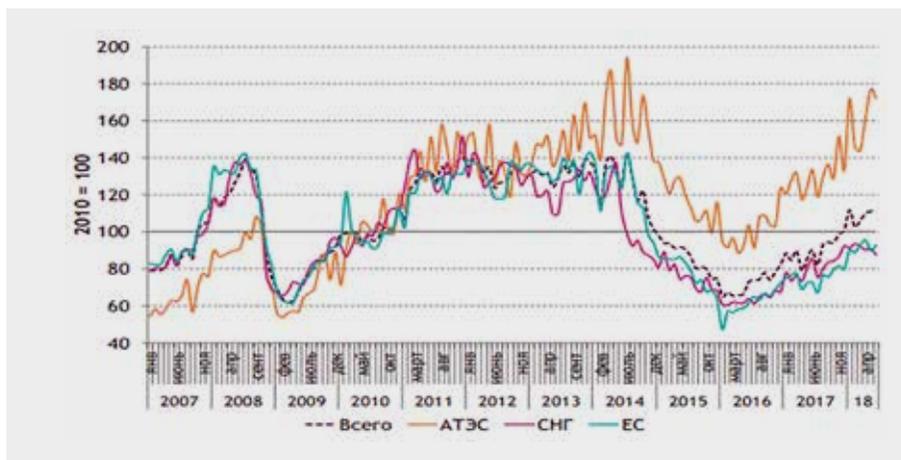


Рис. 1. Динамика экспорта России по группам стран, 2008–2018 гг. Источник: Thomson Reuters, расчеты Аналитического центра [7]

Еще одной тенденцией в экономическом развитии, оказавшей решающее влияние на определение места и роли нашей страны в геоэкономической политике, стала приоритетная ориентация на торговлю с Россией. В связи с этим нельзя не отметить зависимость отечественной экономики от российских энергоресурсов, которые составляют значительную часть белорусского импорта и реэкспорта. Помимо Российской Федерации к числу ведущих внешнеторговых партнеров Беларуси относятся Нидерланды и наши географические соседи, доля торговли с которыми при этом заметно меньше, чем с восточной соседкой (таблица).

На наш взгляд, основной причиной возникновения этой тенденции явилась низкая конкурентоспособность белорусских товаров на западных рынках, которая стала следствием как изношенности отечественных производственных мощностей и невозможности внедрения по этой причине новейших технологий, так и изначальной ориентации на российский рынок, дальнейшее освоение которого не требовало дополнительных издержек.

**Информационные ресурсы** государства – важный геоэкономический фактор. К нему можно отнести документы и их массивы в информационных системах страны, а также возможность их использования как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Фактор их производства возрастает. Свидетельством этого является то, что информационные ресурсы становятся товаром, совокупная стоимость которого на рынке сопоставима со стоимостью традиционных товаров.

В XXI в. Республика Беларусь стала одним из многочисленных государств, на информационное пространство которых оказывают влияние как национальные, так и зарубежные средства массовой информации. При этом белорусские печатные СМИ и радиостанции доминируют на отечественном информационном рынке. Однако в сфере теле-

визии лидирующие позиции занимают российские масс-медиа, ограничить влияние которых на формирование общественного мнения нашей страны национальные телеканалы пока не в состоянии. Доступ к зарубежным информационным ресурсам осуществляется путем использования сети Интернет, из которой, по данным Института социологии НАН Беларуси на 2020 г., получает информацию 81,4% населения [13].

Все системы связи в стране находятся под государственным контролем, который реализуется через занимающее монопольное положение на информационном рынке АО «Белтелеком» [14]. Невысокий уровень экономического развития определяет и достаточно скромное присутствие нашей страны в мировом информационном пространстве. Белорусские печатные и электронные СМИ до сих пор не имеют постоянных корреспондентских пунктов за рубежом, а объем радиовещания на территорию других государств крайне невелик, особенно по сравнению с соседними Россией и Польшей.

**Внешнеполитические ресурсы.** Одним из важнейших геоэкономических ресурсов являются функции дипломатии, успехи которой приводят к весомой роли государства на международной арене, его участию в экономических объединениях и военно-гуманитарных союзах. На данный момент Республикой Беларусь установлены дипломатические отношения со 150 странами мира. В различных государствах действуют 58 наших зарубежных официальных представительств. С целью глобального сотрудничества и национального развития Беларусь активно участвует в деятельности ЮНЕСКО (специализированного учреждения ООН по вопросам образования, науки и культуры), МОТ (Международной организации труда), ЮНИДО (организации ООН по промышленному развитию), МАГАТЭ (Международного агентства по атомной энергии), ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), МВФ (Международного валютного фонда), Всемирного банка, ВОИС (Всемирной организации интеллектуальной собственности) и других международных структур.

Приоритетным направлением внешнеэкономической деятельности как геоэкономического императива республики остается укрепление двустороннего и многостороннего сотрудничества с государствами – участниками СНГ. Беларусь выступала за пре-

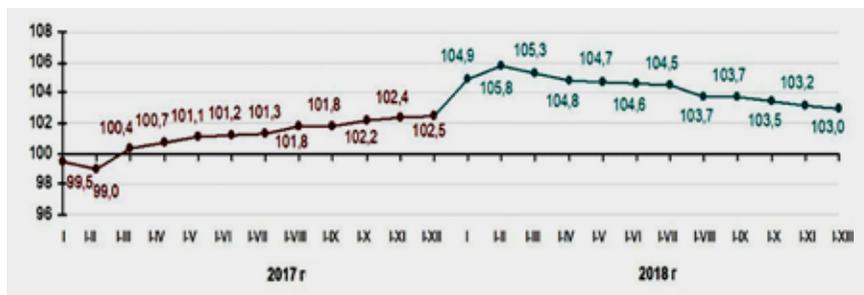


Рис. 2. Динамика ВВП Беларуси в 2017–2018 гг. [11]

вращение Содружества в региональную организацию с высоким уровнем экономической и политической интеграции. В этих целях наша страна становилась политическим и экономическим регулятором в период различного рода конфликтов в рамках данного интеграционного объединения. Однако практика показала, что СНГ превратился в клуб организаций встреч глав государств, где конкретные проблемы остаются лишь декларативными. Такая тенденция ослабляет геоэкономическое значение СНГ для Беларуси, особенно учитывая то, что его в 2008 г. покинула Грузия, а Украина находится на стадии выхода. Наиболее тесно наша страна интегрировалась в другое региональное экономическое объединение – Евразийский экономический союз (ЕАЭС), в который входят также Россия, Казахстан, Киргизия и Армения. Находясь в ЕАЭС, Беларусь смогла воспользоваться и преимуществами зоны свободной торговли, включающей Вьетнам, КНР, Иран и Кубу.

Традиционно тесными продолжают оставаться рабочие связи республики с ООН. В 1995 г. Беларусь присоединилась к программе НАТО «Партнерство ради мира», а в 1996 г. вступила в Центрально-Европейскую Инициативу. С 1998 г. в Минске функционировала консультативно-наблюдательная группа ОБСЕ (в феврале 2003 г. преобразована в Офис ОБСЕ с ограниченными функциями). В этом же году наша страна вступила в Международный парламентский союз. Республика Беларусь содействует укреплению Организации Договора о коллективной безопасности по всем направлениям ее деятельности: развитию сотрудничества в области борьбы с наркотрафиком, нелегальной миграцией, международной организованной преступностью; предотвращению чрезвычайных ситуаций; усилению внешнеполитической координации государств – членов Организации; налаживанию конструктивного взаимодействия ОДКБ с другими международными объединениями.

Наряду с очевидными достижениями, во внешней политике Беларуси обозначились определенные проблемы. После состоявшегося 24 ноября 1996 г. референдума по вопросу о внесении изменений в Конституцию страны был прерван процесс ее вступления в Совет Европы.

Таким образом, перед страной стоит сложный выбор. Глобализация для нее – противоречивое явление: с одной стороны, это увеличение экономической активности и новые рынки сбыта; с другой – зависимость от мировых векторов развития и ограничение экономического суверенитета. Все еще высоким остается риск оказаться в роли лишь поставщика сырьевых, трудовых и интеллектуаль-

Страна	Доля в общем экспорте, %
Россия	31,5
Нидерланды	17,3
Украина	8,0
Латвия	7,8
Германия	4,6
Польша	3,9
Великобритания	3,8
Литва	1,7

Таблица. Страны – основные торговые партнеры Беларуси по экспорту в 2018 г. Составлено на основе данных Национального Банка Республики Беларусь 2020 г.

ных ресурсов для других государств, отличающихся более развитыми экономическими и социально-политическими условиями.

Тем не менее Беларуси были установлены двусторонние отношения с ведущими странами мира, налажено тесное экономическое и политическое сотрудничество с соседними государствами, созданы необходимые условия для расширения международных связей в различных регионах, расширено представительство в интернациональных организациях, что является хорошим началом геоэкономического присутствия страны на международном экономическом поле. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Боброва В. В. Мировая экономика: учеб. пособие / В. В. Боброва, Ю. И. Кальвина. – Оренбург, 2004.
- Кочетов Э. Г. Геоэкономика и конкурентоспособность России: научно-концептуальные основы геоэкономической политики России / Э. Г. Кочетов. – М., 2010.
- Ю. М. Осипов. Экономическая теория на пороге XXI века: Финансовая экономика / Ю. М. Осипов, В. Г. Белоліпецкіі, Е. С. Зотова. – М., 2001.
- М. Г. Ясоевев., Е. А. Власевский. Геоэкономическая безопасность Республики Беларусь. // Е. А. Власевский, М. Г. Ясоевев. Региональная физическая география в новом столетии: (к 55-летию кафедры физической географии мира и образовательных технологий): сб. научных статей. Вып. 10 / БГУ, Географический фак., БГПУ им. М. Танка, фак. естествознания; под общ. ред. Я. К. Еловичевой. – Минск, 2017. С. 91–97.
- Дайнеко А. Е. Геоэкономические приоритеты Республики Беларусь / А. Е. Дайнеко. – Минск, 2011.
- Разработать предложения по защите национального рынка Республики Беларусь в условиях формирования единого таможенного пространства в соответствии с правилами ВТО: отчет о НИР (заключ.) / Науч.-исслед. экономич. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь; рук. темы А. Е. Дайнеко. – Минск, 2009.
- UNBISnet: UN Bibliogr. Inform. System // <https://www.thomsonreuters.com/en/products-services/government.html>.
- Ахмедов Д. С. Геоэкономические ресурсы развития экономики приграничного региона / Евразийский международный научно-аналитический журнал. Проблемы современной экономики. 2016. №4 (40) // <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=3842>.

Полный список использованных источников размещен

 <http://innosfera.by/2021/05/geo-economics>

# ВЫХОД БЕЛОРУССКИХ ЭКСПОРТЕРОВ НА РЫНКИ АРГЕНТИНЫ И БРАЗИЛИИ



**Павел Шведко,**  
заведующий  
сектором экономики  
зарубежных стран  
Института экономики  
НАН Беларуси



**Екатерина Тавень,**  
научный сотрудник  
Института экономики  
НАН Беларуси

**Б**разилия и Аргентина – крупнейшие страны Латинской Америки – представляют собой перспективную площадку для белорусских экспортеров в различных секторах. Это обусловлено рядом факторов: емкий внутренний рынок; доступность пригодного для эксплуатации сырья; диверсифицированная экономика, в меньшей степени подверженная влиянию мировых кризисных явлений; стратегическое географическое положение, обеспечивающее удобный выход к другим государствам континента.

## АРГЕНТИНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Страна наделена исключительно плодородными землями и обладает хорошим потенциалом для получения энергии из возобновляемых источников, является ведущим производителем продовольственных товаров благодаря масштабной сельскохозяйственной промышленности и развитой отрасли животноводства. Однако историческая неустойчивость темпов роста и аккумуляция институциональных барьеров препятствовали процветанию

государства. Хотя еще 100 лет назад Аргентина входила в число самых богатых стран мира, на протяжении большей части XX в. ее экономика испытывала трудности из-за периодических кризисов, постоянного дефицита бюджета и текущего счета, высокой инфляции, растущего внешнего долга и оттока капитала.

С 2015 г. правительство проводит реформы, направленные на корректировку денежно-кредитной политики для привлечения новых инвесторов, отмену контроля над капиталом, установление плавающего курса аргентинского песо, упразднение экспортного контроля для некоторых товаров, сокращение субсидий на электроэнергию, введение налоговых льгот в рамках ключевых экспортных отраслей, например сельского хозяйства [1].

К преимуществам ведения экономической деятельности с Аргентиной можно отнести:

- \* *улучшение условий ведения бизнеса;*
- \* *развитое промышленное производство;*
- \* *наличие богатых запасов сельскохозяйственных (страна входит в пятерку крупнейших мировых поставщиков сои и кукурузы), энергетических (2-е место по запасам сланцевого газа и 4-е по нефти, избыток источников для солнечной и ветровой энергетики) и минеральных (литий, медь, золото и серебро) ресурсов;*
- \* *более высокий уровень квалификации рабочей силы по сравнению с региональными показателями;*
- \* *членство в торговом блоке МЕРКОСУР.*

Темпы роста экономики Аргентины продолжают снижаться, поскольку доверие потребителей остается слабым, а уровень инфляции, составивший в 2019 г. более 50%, вызывает серьезную обеспокоенность [2]. Среди других недостатков для ведения внешнеторговой и инвестиционной деятельности можно выделить: уязвимость перед колебаниями цен на сельскохозяйственную продукцию и зависимость от погодных условий; сохранение макроэкономических дисбалансов и слабую институциональную базу; значительный дефицит бюджета и счета текущих операций, большую часть долга, номинированного в иностранной валюте; неразвитость инфраструктуры, особенно в сельской местности.

Аргентина – относительно закрытый рынок для международной торговли, на долю которой приходится не более 25% ВВП. Вместе с тем правительство страны пытается уменьшить степень протекционизма. Так, экспортные пошлины на сельскохозяйственные продукты, в том числе говядину, пшеницу и кукурузу, были упразднены, а на соевые бобы – частично снижены. Импортятся пре-

имущественно автомобили и прочие транспортные средства, автозапчасти, электрооборудование для телефонной связи, нефтяной попутный газ и другие газообразные углеводороды, нефтепродукты и битуминозная нефть [3]. Бразилия является ведущим торговым партнером Аргентины, за ней следуют США, Китай, Чили, Вьетнам и ЕС.

Формирование более благоприятного экономического климата побуждает аргентинский агросектор активнее инвестировать в новое оборудование. Растет спрос на инновационные технологические решения в области сельскохозяйственного производства, земледелия и модернизации молочной промышленности. Так, например, аргентинский рынок ирригационных систем в последние годы динамично развивается ввиду расширения земельных угодий, предназначенных для пропашных культур. Ежегодные продажи в подсекторе запчастей и деталей достигают примерно 12% от общего объема рынка. Постепенно внедряются новые технологии, нацеленные на минимизацию использования сельскохозяйственных ресурсов при сохранении высокой урожайности, полагаясь на иностранных поставщиков в отношении ключевых электронных компонентов для производства отечественного оборудования.

Пищевая промышленность выступает в качестве одного из главных видов деятельности, способствующей росту экономики Аргентины, и на ее долю приходится около 30% всего экспорта страны. В основном импортируются ингредиенты, собственное производство которых неразвито или его объемы недостаточны для локальных предприятий. Сюда относятся: декстрины, пептоны, молочная сыворотка; сушеные овощи, сухофрукты и орехи; специи и травы; картофельные хлопья, гранулы и пеллеты; пшеничный, кукурузный и картофельный крахмал; экстракт корня солодки; экстракты из овощей, мяса и рыбы; пектиновые вещества; глицерин, глюкоза и фруктоза; меласса; дрожжи; белковые концентраты и текстурированные белковые вещества; желатин; сливки, заменители молока и сахара; казеин и альбумины; ингредиенты для функциональных продуктов питания и биологически активные добавки.

В Латинской Америке Аргентина считается вторым по величине рынком медицинских устройств. Однако лишь 25% их объема производится внутри страны, а на импортные изделия приходится порядка 75% объема рынка. Расширяется спрос на диагностическое, рентгеновское телемедицинское и лабораторное оборудование, ортопедические имплантаты, хирургические расходные материалы и инструменты, диагностические

реагенты, стенты, кардиостимуляторы, специализированные катетеры и канюли.

По запасам углеводородов Аргентина входит в тройку стран-лидеров. Согласно оценкам, извлечению подлежат 27 млрд баррелей сланцевой нефти и 23 трлн куб. м сланцевого газа [4]. По мере развития данного сектора будет возрастать потребность в новом оборудовании и специализированных услугах, касающихся геологических исследований, технологий по разрыву пластов, бурения и охраны окружающей среды.

Решение правительства субсидировать добычу этих полезных ископаемых сопровождалось стимулом для активизации использования возобновляемых источников энергии, на которые сегодня приходится 7% энергетического комплекса Аргентины (по сравнению с 1% в 2017 г.). Перспективы для сотрудничества представлены в следующих подсекторах:

- \* ветровая и солнечная энергетика (ветряные турбины, вспомогательное оборудование для электростанций и подстанций, инверторы, трансформаторы, энергонакопители, измерительные приборы);
- \* получение энергии из биомассы (парогазовые турбины, камеры сгорания, системы прямого сжигания, приборы для обогрева теплым воздухом, теплообменники, газификаторы, инжекционные шнеки);
- \* малые гидроэлектростанции (турбины, генераторы, трансформаторы);
- \* биогаз (микротурбины, биореакторы полного смешения, варочные котлы).

Год	Экспорт товаров, млн долл.	Импорт товаров, млн долл.	Внешнеторговый оборот, млн долл.	Сальдо внешней торговли, млн долл.
2010	23,0	193,3	216,3	-170,3
2011	60,2	167,1	227,3	-106,9
2012	8,0	188,2	196,2	-180,2
2013	1,0	221,4	222,4	-220,4
2014	4,8	6,1	10,9	-1,3
2015	9,7	57,0	66,7	-47,3
2016	13,8	56,8	70,6	-43,0
2017	7,8	118,0	125,8	-110,2
2018	31,1	101,3	132,4	-70,2
2019	1,8	51,4	53,2	-49,6

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Аргентинской Республикой в 2010–2019 гг. *Источник: [3]*

Благодаря совершенствованию законодательной базы и более стабильной финансовой среде новые возможности для иностранных компаний открываются в аргентинской горнодобывающей отрасли: в ближайшие годы 10 проектов на общую сумму 10 млрд долл. перейдут на этап строительства [4]. Аргентина обладает хорошим производственным потенциалом в этой области, и спрос предъявляется преимущественно на дробилки, вибрационные сетки, химикаты, строительную технику и транспортные средства.

В стране традиционно существует два типа каналов сбыта: через крупных розничных торговцев с определенной долей рынка или через множество специализированных операторов, которые стремятся защитить свои ниши. При этом цена и условия финансирования относятся к решающим факторам покупки тех или иных товаров. Иностранные экспортеры должны учитывать, что продукция местного производства и импортируемая из других стран МЕРКОСУР будет иметь преимущество в цене благодаря низкой ввозной пошлине.

Таким образом, хотя Аргентина является одной из крупнейших экономик Латинской Америки, деловой климат в государстве остается относительно неблагоприятным. Для решения данной проблемы правительство намерено имплементировать соответствующую программу, делающую акцент на финансовой и фискальной стабильности, укреплении рынка труда и осуществлении институциональных реформ. Это позволит создать эффективную базу для развития внешнеторгового сотрудничества с белорусскими компаниями в таких секторах, как инфраструктура, энергетика, здравоохранение, сельское хозяйство и горнодобывающая промышленность.

## ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА БРАЗИЛИЯ

Основные сильные стороны экономики Бразилии – богатые запасы природных ресурсов и развитый сектор услуг, на который приходится 72% ВВП. Доля промышленности в ВВП составляет 23%, а сельского хозяйства – 5%. Помимо этого Бразилии удалось сформировать внушительные валютные резервы (около 380 млрд долл.), покрывающие 20 месяцев импорта, сбалансировать текущий счет, который в настоящее время сводится с незначительным дефицитом, и обеспечить низкое отношение внешнего долга к ВВП, поскольку большая его часть номинирована в национальной валюте. Возникновение кризиса платежного баланса, как в Аргентине, маловероятно в случае Бразилии. К преимуществам

ведения экономической деятельности с этой страной можно отнести:

- \* *хорошо диверсифицированное промышленное производство и развитое сельское хозяйство;*
- \* *рост числа представителей среднего класса;*
- \* *динамичный приток прямых иностранных инвестиций;*
- \* *разнообразие полезных ископаемых.*

Несмотря на сокращение безработицы, государство продолжает сталкиваться с социальными проблемами и имеет один из самых высоких показателей неравенства в мире: наиболее обеспеченные 5% населения обладают таким же доходом, как остальные 95% [5]. Также существуют большие различия и между регионами. Среди других недостатков Бразилии для ведения внешнеторговой и инвестиционной деятельности можно выделить:

- \* *уязвимость перед колебаниями мировых цен на сырьевые товары;*
- \* *значительный дефицит бюджета и стремительный рост государственного долга;*
- \* *высокий уровень налоговой нагрузки и большое число бюрократических формальностей;*
- \* *неэффективную деловую среду и неразвитую инфраструктуру;*
- \* *недостаток квалифицированных кадров;*
- \* *политическую и социальную напряженность.*

Хотя на внешнюю торговлю приходится лишь 24,1% ВВП, Бразилия входит в число 25 крупнейших экспортёров и импортёров мира. К основным импортным позициям относятся нефтяные масла, запчасти и аксессуары для тракторов и автомобилей, электронные интегральные схемы, уголь и аналогичные виды твердого топлива, фармацевтические препараты [3]. Главными торговыми партнерами выступают Китай, США, Япония, страны МЕРКОСУР и ЕС.

Стоимостной объем бразильской пищевой промышленности в 2019 г. оценивался в 179 млрд долл., благодаря чему страна входит в число крупнейших мировых игроков в этом секторе [6]. На нее также приходится порядка 10% ВВП государства. При этом импорт полуфабрикатов и в целом сельхозпродукции зафиксировался на уровне 2,8 и 9,7 млрд долл. соответственно. К наиболее популярным категориям товаров относятся мясо-молочная продукция, напитки, крупы, рафинированный сахар, обработанные фрукты и овощи, шоколад и прочие кондитерские изделия. По данным Бразильской ассоциации производителей пищевых продуктов (ABIA), данная отрасль будет расти в среднем на 2–3% вплоть до 2022 г.

Среди перспективных экспортных позиций можно выделить: пищевые жиры и различные масла (рапсовое, подсолнечное, кукурузное); соевое масло и его фракции; приправы; дрожжи; комбикорма; ингредиенты с высокой степенью переработки (ферменты, пептоны, белковые концентраты); крафтовое пиво и ингредиенты для его производства; сухое молоко и молочные сыворотки.

Белорусским экспортёрам следует учитывать, что при выходе на бразильский рынок их продукт, скорее всего, будет относиться к категории премиальных из-за низкой стоимости товаров местного производства, импортных тарифов и обменного курса. Пищевая промышленность Бразилии хорошо развита, а присутствие крупных транснациональных компаний обуславливает высокий уровень конкуренции, стимулируя спрос на инновационную продукцию. В дополнение к ожиданиям потребителей относительно качества и стандартов продукты питания также должны соответствовать многочисленным техническим спецификациям.

Национальный банк экономического и социального развития Бразилии (BNDES) одобрил программу поддержки инвестиций на сумму 30 млрд долл. в систему обеспечения общественной безопасности, что предполагает приобретение государственными и муниципальными органами транспортных средств и оборудования, например бронезилов, голографических прицелов и пр.

Бразилия считается наиболее емким рынком продукции медицинского назначения в Латинской Америке, располагая 6,5 тыс. больниц и 18 тыс. диагностических лабораторий и тратя 9,1% ВВП

Год	Экспорт товаров, млн долл.	Импорт товаров, млн долл.	Внешнеторговый оборот, млн долл.	Сальдо внешней торговли, млн долл.
2010	705,5	157,3	862,8	548,2
2011	1244,1	365,0	1 609,1	879,1
2012	801,7	150,0	951,7	651,7
2013	518,6	128,7	647,3	389,9
2014	709,5	38,3	747,8	671,2
2015	521,2	124,5	645,7	396,7
2016	441,0	69,2	510,2	371,8
2017	439,9	57,9	497,8	382,0
2018	585,3	21,0	606,3	564,3
2019	584,2	23,5	607,7	560,7

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Федеративной Республикой Бразилия в 2010–2019 гг. *Источник: [3]*

на здравоохранение [7]. Порядка 80% медицинских изделий импортируются. Особый спрос присутствует по линии препаратов для лечения хронических заболеваний (артериальное давление, диабет), стоматологического оборудования, лекарственных, витаминных и спортивного питания, стентов и катетеров. Стоимостной объем бразильского рынка биоматериалов, используемых в сердечно-сосудистой и ортопедической терапии, составляет 1,8 млрд долл. Ожидается, что к 2022 г. он вырастет на 18%.

В регионе Латинской Америки страна выступает в качестве крупнейшего рынка электроэнергии. Здесь производится и распределяется больше электроэнергии, чем во всех ее южноамериканских соседях в совокупности. Согласно информации Министерства шахт и энергетики Бразилии, спрос на электроэнергию со стороны более 79 млн бытовых, коммерческих и промышленных потребителей будет увеличиваться на 4% ежегодно в течение следующих 5 лет, что обеспечит потребность в дополнительных 79 ГВт общей установленной мощности и 70 тыс. км линий электропередачи [7]. Для достижения поставленной задачи предполагается использование инвестиционных средств в размере 142 млрд долл.

Перспективные возможности для иностранных поставщиков, в том числе и белорусских, открываются по таким направлениям, как:

- \* измерительные приборы;
- \* системы управления и автоматизации;
- \* устройства регистрации и сбора данных;
- \* оборудование для мониторинга и тестирования;
- \* дистанционно управляемые транспортные средства;
- \* высокоэффективные турбины;
- \* ремонт и техническое обслуживание;
- \* метеорологическое оборудование;
- \* решения в области микросетей;
- \* энергосберегающие технологии;
- \* накопители энергии;
- \* управление распределением электроэнергии;
- \* инфраструктура для электромобилей.

Ведение бизнеса в Бразилии требует глубокого знания локальной деловой среды, включая осведомленность о наличии значительных прямых и косвенных расходов и повышенных сборов за счет:

- \* *сбытовых издержек, бюрократических формальностей, экологических нормативов, законов об интеллектуальной собственности, сложного налогового и трудового кодексов;*

- \* *значительных затрат на логистику ввиду отсутствия эффективной инфраструктуры;*
- \* *высоких тарифов и непрозрачных таможенных процедур.*

Для получения долгосрочного доступа к бразильскому рынку решающее значение имеют частые визиты с целью установления локального присутствия (в виде филиала или через агента/дистрибьютора). Хотя некоторые компании осуществляют закупки напрямую у иностранных производителей, в большинстве случаев необходимо использование услуг местного агента или дистрибьютора. Поскольку Бразилия – большая страна, для которой характерны региональные различия в экономических показателях, состоянии инфраструктуры, правилах внутренней торговли и системах налогообложения, найти одного специалиста, способного обеспечить полное национальное покрытие, зачастую бывает трудно.

Таким образом, Бразилия является крупнейшей экономикой в Южной Америке, на которую приходится около 50% ВВП всего континента. Однако ведение внешнеторговой и инвестиционной деятельности затрудняется обременительными бюрократическими формальностями и сложными таможенными процедурами. Ослабление регулирования в некоторых отраслях и модернизация налоговой системы должны оказать положительное воздействие на устойчивость темпов роста страны и создать возможности для иностранных компаний по выходу на бразильский рынок, который прежде был достаточно закрытым. **■**

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The World Bank in Argentina / The World Bank // <https://www.worldbank.org/en/country/argentina/overview>.
2. Argentina / Euler Hermes Global // [https://www.eulerhermes.com/en\\_global/economic-research/country-reports/Argentina.html](https://www.eulerhermes.com/en_global/economic-research/country-reports/Argentina.html).
3. Trade Map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre // <http://www.trademap.org/Index.aspx>.
4. Doing business in Argentina: Argentina trade and export guide / Department for International Trade // <https://www.gov.uk/government/publications/exporting-to-argentina/doing-business-in-argentina-argentina-trade-and-export-guide>.
5. Brazil: Country risk / Groupe Société Générale // <https://import-export.societegenerale.fr/en/country/brazil/economy-country-risk>.
6. Brazil: Exporter Guide / USDA Foreign Agricultural Service // [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Exporter%20Guide\\_Sao%20Paulo%20ATO\\_Brazil\\_4-4-2019](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Exporter%20Guide_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_4-4-2019).
7. Exporting to Brazil / Department for International Trade // <https://www.great.gov.uk/markets/brazil/>.

# ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ – ИННОВАЦИОННОЕ БУДУЩЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

**Анна Шутова,**  
ведущий научный сотрудник лаборатории прикладной биохимии Центрального ботанического сада НАН Беларуси,  
кандидат биологических наук, доцент

**Светлана Шиш,**  
научный сотрудник лаборатории прикладной биохимии Центрального ботанического сада НАН Беларуси

**Нелли Гетко,**  
главный научный сотрудник лаборатории оранжерейных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси,  
доктор биологических наук

**Галина Шамшур,**  
научный сотрудник лаборатории оранжерейных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси

**Елена Спиридович,**  
завлабораторией прикладной биохимии Центрального ботанического сада НАН Беларуси,  
кандидат биологических наук, доцент

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, около 7 млн смертей в год связаны с загрязнением воздушной среды – причиной развития основных неинфекционных (таких как патология сердечно-сосудистой системы), респираторных и онкологических заболеваний.

Термин «синдром больного здания» (SBS) [1] используется в современном мире для описания ситуаций, в которых люди, находясь в помещении, испытывают симптомы расстройства здоровья (головную боль, раздражение глаз, носа или горла, сухой кашель, головокружение, тошноту, трудности с концентрацией внимания, чувство усталости), которые могут наблюдаться по отдельности либо в сочетании друг с другом и причину которых установить не удастся [1]. Ухудшение самочувствия может ощущаться как на всем пространстве здания, так и в определенных его локациях. Степень проявления недомогания зависит от времени воздействия неблагоприятного фактора.

Что же это за фактор? В современном проектировании зданий внимание сосредоточено на решении энергетических проблем – путем улучшения показателей теплоизоляции, герметичности, разработки энергоэффективных систем вентиляции. Нередко у таких мер и возникает своеобразный «побочный эффект» в виде SBS. Чаще всего данное явление наблюдается

в офисах, рассчитанных на 10 и более рабочих мест, особенно в помещениях, где установлено много компьютеров. Поскольку синдром больного здания становится все более серьезной угрозой для здоровья и продуктивности целых профессиональных групп, установление его причин с целью устранения и профилактики – одна из самых актуальных исследовательских задач.

Решением проблемы может быть использование вертикальных систем озеленения в экологическом дизайне помещений с одновременным размещением разнообразных растений, обладающих повышенной биофильтрацией и фитонцидной активностью.

Применяющийся для вертикального озеленения ассортимент лиан в настоящее время ограничен, а на формирование плотной поверхности с помощью таких растений требуется много времени. Как эффективная альтернатива традиционным способам создания «зеленых стен» могут рассматриваться приемы вертикального озеленения на основе различных войлочных и модульных систем. Для сплошных, глухих стен и фасадов часто рекомендуется войлочная система; для фитостен также применяется модульная система, в целом обладающая большей устойчивостью и наиболее удобная для оформления выступающих частей здания.

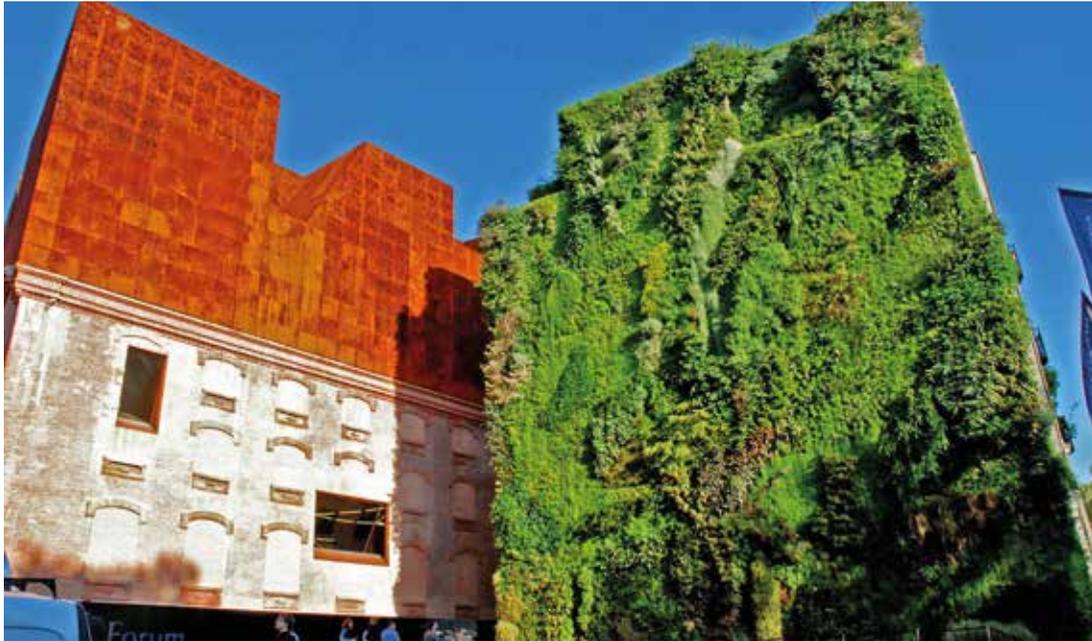
О таких способах озеленения наши далекие предки знали еще за 600 лет до нашей эры, когда в древнем Вавилоне было воздвигнуто одно из 7 чудес света – Висячие сады Семирамиды, имевшие вид террас, увитых плетистыми розами. В истории России одним из первых подобных примеров был «верховой сад» Московского Кремля. Вертикальное озеленение в современной интерпретации было изобретено Стенли Харт Уайтом в американском университете Urbana-Champaign штата Иллинойс в 1931–1938 гг.; по крайней мере, именно он получил первый в мире патент на вертикальную фитостену, концептуализированную как «новый тип сада для решения проблем современного ландшафтно-паркового дизайна». В это же время в США были разработаны методы выращивания растений на стенках из мха для культивирования овощей в теплицах. И хотя они не нашли применения в промышленном овощеводстве европейских стран, эти технологии оказались полезными в декоративном растениеводстве. Современным инноватором в этой области выступает ботаник Национального исследовательского центра Франции Патрик Бланк, пред-

ложивший способ выращивания вертикальных садов на основе синтетического «ковра» с кармашками, заполненными минимальным количеством почвенного субстрата для растений [2].

Все большее распространение получает модульная технология вертикального озеленения, которая имеет ряд преимуществ перед моховыми и ковровыми. Агротехнические приемы выращивания растений на вертикальной поверхности, созданные на основе этой или других аналогичных технологий, открывают широкие возможности использования их в оздоровлении интерьеров. Модульные системы применимы в эстетических, экологических, экономических, образовательных целях и могут быть успешным решением разнообразных задач как в условиях открытого пространства (рис. 1), так и внутри помещений (рис. 2).

В последнем случае речь идет прежде всего о положительном влиянии растительности на качество воздушной среды, что связано с эффективным устранением ее загрязнителей. В процессе биофильтрации двуокись углерода и токсичные соединения эффективно поглощаются как растениями, так и субстратом. Традиционно зеленые стены рассматриваются как «пассивный» биофильтр, но новые технологии движутся к интеграции живых стен (как в помещениях, так и вне их) в системы кондиционирования и вентиляции зданий. Результат этих изысканий получил название «активной живой стены» [3], в которой принудительный поток воздуха проходит через живой зеленый слой и может быть подан во внутреннее пространство помещения. Использование растений для улучшения состояния окружающей среды становится ключевым фактором в разработке современных строительных технологий, которые не только направлены на эстетическое воздействие, но и могут являться средством решения экологических задач, таких как естественное охлаждение воздуха, повышение его влажности, уменьшение перепадов температуры внутри зданий. Вертикальные системы наиболее эффективны в экологическом дизайне закрытых помещений: модули, расположенные на стене, позволяют разместить в них большое разнообразие видов, обладающих определенной активностью по отношению к патогенной и непатогенной микрофлоре.

Вертикальное озеленение внешних поверхностей оказывает существенное влияние на тепловые характеристики зданий [4] посредством



*Рис. 1.* Галерея искусств CaixaForum Madrid (Мадрид, Испания) привлекает посетителей фитостеной высотой 24 м из 15 тыс. растений 250 видов, спроектированной Патриком Бланком. Это один из фито-арт-объектов Европы. Фото из портфолио Патрика Бланка ([verticalgardenpatrickblanc.com](http://verticalgardenpatrickblanc.com))



*Рис. 2.* Фитостена площадью 93 м<sup>2</sup> в офисе British Gas (Оxford) действует как акустический буфер и естественный фильтр для улучшения качества воздуха. Фото из портфолио компании Biotecture (<https://www.biotecture.uk.com>)



*Рис. 4.* Опытный участок, на примере которого проводится оценка перспективности использования модульных технологий вертикального озеленения для оздоровления воздушной среды зданий. Общая площадь – приблизительно 6 м<sup>2</sup>. Центральный ботанический сад НАН Беларуси



*Рис. 3.* Вертикальное озеленение в открытом пространстве, установленное на основе модульной системы с использованием разработанного ассортимента декоративных растений. Центральный ботанический сад НАН Беларуси



Рис. 5. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. в вертикальном озеленении. Центральный ботанический сад НАН Беларуси



Рис. 6. Сорта пеларгонии коллекции оранжерейных растений мировой тропической и субтропической флоры для вертикального озеленения. Центральный ботанический сад НАН Беларуси

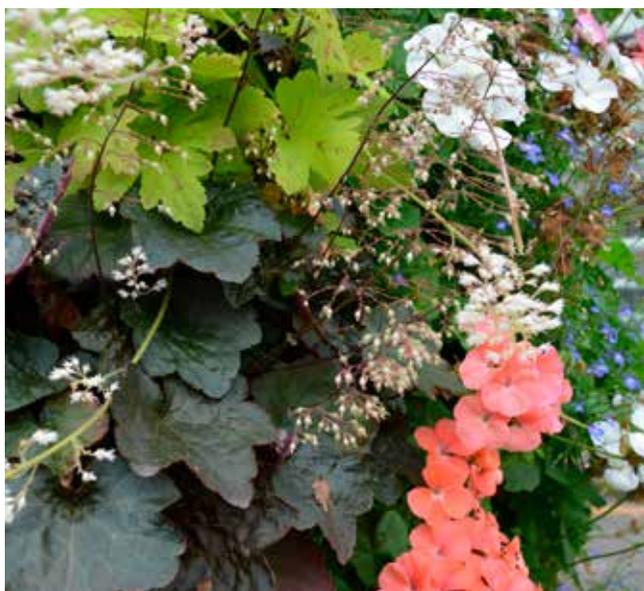


Рис. 7. Вертикальное озеленение в открытом пространстве на основе модульной системы с использованием разрабатываемого ассортимента декоративных растений: сорта гейхеры и гейхереллы в сочетании с красивоцветущими растениями. Центральный ботанический сад НАН Беларуси

сочетания 4 основных механизмов: перехвата солнечной энергии растительностью; теплоизоляции, обеспечиваемой насаждениями и субстратом; испарительного охлаждения, возникающего в результате эвапотранспирации; сопротивления ветровой нагрузке.

К трудностям использования данной технологии в открытом грунте в условиях Беларуси относятся низкие зимние температуры, приводящие к промерзанию корневых систем растений в контейнерах; неоднократное чередование циклов заморозания и оттаивания в течение осенне-зимнего сезона, снижающее их зимостойкость; иссушающее действие ветров в осенний и весенний периоды, приводящее к обезвоживанию растений; несбалансированные по составу почвенные субстраты, способствующие развитию у них стресса, и т.д. Кроме того, практически не имеется сведений по ассортименту травянистых красивоцветущих и декоративно-лиственных представителей флоры, которые могут эффективно применяться для этих целей в нашей стране.

Основные требования, предъявляемые к растениям в вертикальном озеленении – яркость, выразительность, эстетичность не только цветков и соцветий, но и вегетативной части. Предпочтение отдается декоративным (по возможности сохраняющим это качество наиболее продолжительное время), низкорослым сортам и видам с компактной кроной или возможностью формировать ее с помощью обрезки, способным образовывать плотный напочвенный покров и листовую мозаику, хорошо переносящим городские условия (соле-, антропогенно- и газоустойчивым) и культивирование в ограниченном пространстве (засухо- и жаростойким, зимостойким).

Жизненная форма растения – один из главных факторов, определяющих поведение в условиях ограниченного объема контейнера [5]. Часто неудовлетворительно показывают себя полукустарники, стержневые и кистекорневые виды, лучше – ползучие и стolonные. По отношению к влаге предпочтительнее ксерофиты и мезоксерофиты.

В Центральном ботаническом саду НАН Беларуси в течение ряда лет ведется разработка технологии вертикального озеленения на основе модульной системы (рис. 3). С помощью данной технологии (включающей ассортимент специально подобранных растений, почвенные субстраты, оптимизированные для конкретных их групп, технологические карты посадки и ухода, а также практические рекомендации по куль-

тивированию отдельных таксонов в зависимости от необходимого эффекта) можно озеленять закрытые помещения различного назначения – офисы, торговые центры, объекты общественного питания, оздоровительные комплексы, квартиры и дома, а также сезонно открытые пространства вне зданий. Специально для этих целей формируется ассортимент растений, в том числе нетрадиционных, который в дальнейшем будет предлагаться потребителям. Сконструирован опытный участок интерьерного вертикального озеленения, где проведена оценка перспективности использования модульных технологий для оздоровления воздушной среды зданий (рис. 4). Особое внимание уделено антимикробной активности растений и их аккумулялирующей способности по отношению к токсичным соединениям – основным загрязнителям воздуха в помещениях. Применены современные методы оценки антибактериальных свойств зеленых насаждений, базирующиеся на анализе и выявлении в составе летучих компонентов эфирных масел листьев субстанций, активных по отношению к бактериальной флоре воздушной среды.

Ассортимент формируется на основе уникальных коллекций ЦБС НАН Беларуси. Одна из них, имеющая 87-летнюю историю, состоит из 2 тыс. наименований оранжерейных растений мировой тропической и субтропической флоры. Комплексные многолетние исследования особенностей их адаптивного потенциала позволяют рекомендовать многие виды и сорта для использования в вертикальном озеленении. Например, в интерьерах для этого подходят популярные оранжерейные и комнатные растения, требующие для роста небольшого объема субстрата, умеренного полива и освещения.

**Колеус** (*Coleus* Lour.) – род растений семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Ранее насчитывал около 150 видов, однако в результате исследований и углубленной ревизии родов включен в состав рода Шпороцветник (*Plectranthus* L'Hér.), объединяющий в настоящее время более 320 видов растений.

**Колеус Блюма** (*Coleus blumei* (L.) Benth.) – популярный вид, отличающийся удивительным многообразием форм и расцветок листьев. Родина – тропические районы Африки и Азии. Растения обычно используются в сезонных регулярных цветниках и композициях с замысловатым узором, составленным из растений с различной окраской листвы. Четкость рисунка и ровная фактура композиций поддерживаются при

помощи стрижки. Из коллекционного материала ЦБС для вертикального озеленения в интерьерах могут быть рекомендованы низкорослые, компактно облиственные сорта: Ferry, Tammy, White Line, Twist and Twirl, Small Wood Drive и многие другие, хорошо адаптированные в оранжерейной и комнатной культуре.

**Плектрантус ароматный** (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.) (рис. 5) – вид, обладающий исключительной ценностью как ароматическое растение. Родом он из тропиков и теплых регионов Африки, Азии и Австралии. Листья этого растения не только декоративны и ароматны, но и обладают рядом полезных фармакологических свойств [6]. С успехом может дополнить вертикальные композиции декоративно-лиственных сортов колеуса.

**Пеларгония** (*Pelargonium* L'Her. ex Ait.) – род семейства Гераниевые (*Geraniaceae*). Насчитывает свыше 250 видов. Естественной произрастает в Южной Африке. Светолюбивые многолетние травянистые или полукустарниковые растения, легко переносящие недостаток влаги, размножаются семенами и черенками, неприхотливы при выращивании и в оранжереях, и в домашних условиях.

Для вертикального озеленения перспективны компактные, декоративные, ароматные виды, а так же миниатюрные формы и сорта пеларгонии группы Ангелы **Angeleys** (по классификации Royal Horticultural Society). В составе коллекции ЦБС они представлены следующими вариациями: Бабочка, Блюбери, Бургундия, Ralf, а также некоторыми мутантными формами, характеризующимися необычной морфоструктурой листьев (рис. 6). Высокодекоративный эффект придаст композициям и суккулентный представитель данного рода *Pelargonium* × *xerophyton* в сочетании, например, с лианами и каудексными формами.

Род **Гейхера** (*Heuchera* L.) относится к семейству Камнеломковые (*Saxifragaceae* Juss.) и насчитывает около 70 видов, распространенных в Северной Америке. Декоративно-лиственные гейхеры благодаря разнообразию, яркой и насыщенной цветовой гамме стали известными, модными и необыкновенно популярными. Современные сорта и гибриды растения, эффектные, неприхотливые, зимостойкие, несложные в уходе, отлично зарекомендовали себя в вертикальном озеленении (рис. 7).

В создании зеленой вертикальной модульной структуры заложен огромный потенциал,

который может быть реализован с использованием новейших конструкций и технологий ухода за растениями. Это прежде всего системы капельного орошения, комплексные удобрения пролонгированного действия, новые синтетические компоненты субстратов, которые предстоит еще испытать, как и новейшие материалы для создания фитостен. Все это позволит значительно расширить ассортимент тропических и субтропических видов для внутреннего вертикального озеленения в условиях Беларуси. Наиболее детально в плане аккумулирующей способности листьев по отношению к атмосферным загрязнителям ароматической природы исследованы многочисленные виды и сорта тропической флоры: *Aglaonema*, *Draceana*, *Ficus*, *Phylodendron*, *Spathiphyllum*, *Tradescantia*, многие пальмы [7–8]. Однако выбор растений для вертикальных конструкций в интерьерах зависит от конкретных микроклиматических факторов. Достойное место в системах внутреннего вертикального озеленения или в сочетании с ним должны занять полезные субтропические виды семейств Рутовые (*Rutaceae*), Миртовые (*Mirtaceae*), Лавровые (*Lauraceae*) [9, 10].

Для тиражирования растений в больших объемах, необходимых при создании вертикального озеленения, перспективно использование биотехнологических подходов [11]. Созданные на их основе коллекции особое значение приобретают в случае плохой размножаемости семенами, черенками или делением. Сегодня такая коллекция из 250 образцов асептических хозяйственно-ценных культур имеется в отделе биохимии и биотехнологии ЦБС НАН Беларуси. В ее состав включены представители 26 семейств цветковых растений, принадлежащих к 66 родам; видовой состав включает 90 видов природной флоры и 160 культурных сортов и гибридов [12, 13]. Одна только асептическая коллекция гейхеры Центрального ботанического сада содержит 5 сортов.

Технология вертикального озеленения инновационна не только для Беларуси, но и для всего мира, поскольку нигде пока не разработаны научные основы использования растений для оздоровления воздушной среды зданий. Однако в связи с возрастающим вниманием к данной проблеме эта технология (либо ее отдельные элементы) может широко применяться при озеленении вновь построенных производственных, общественных и частных зданий. Это приведет к улучшению здоровья и качества жизни населения, снижению

потерь от временной нетрудоспособности, то есть будет иметь выраженный социальный и экономический эффект. Расширение ассортимента растений для вертикального озеленения в условиях Беларуси с помощью методов биотехнологии позволит сделать его более доступным. Надеемся, что возможность внедрения экологического и эстетического способа оздоровления людей привлечет интерес специалистов, занимающихся проектированием зданий различного назначения. ■

Работа выполнена в рамках международного научного проекта ГКНТ – Индия №Б19ИНДГ-001.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Burge P.S. Sick Building Syndrome / P.S. Burge // *Occup Environ Med*. 2004. V.61. P. 185–190.
2. Гессе Д.Д. Современные агротехнологии выращивания декоративных растений в вертикальных конструкциях / Д.Д. Гессе, Ю.А. Кукуджанов // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2016. №1. С. 52–62.
3. Vertical Greening Systems and Sustainable Cities / L. Perez-Urrestarazu [et. al.] // *Journal of Urban Technology*. 2015. V. 22. №4. P. 65–85.
4. Experimental Investigation on the Energy Performance of Living Walls in a Temperate Climate / U. Mazzali [et. al.] // *Building and Environment*. 2013. V. 64. P. 57–66.
5. Девятерикова С.Л. Эколого-биологическое обоснование выбора травянистых многолетников для контейнерного озеленения: сб. «Особенности экспонирования коллекций декоративных растений». – М., 2011. Вып. 2. С. 61–69.
6. Arumugam G. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: Botanical, Phytochemical, Pharmacological and Nutritional Significance / G. Arumugam, M.K. Swamy, U.R. Sinniah // *Molecules*. 2016. V. 21. №4. P. 369.
7. Simonich S.L. Organic pollutant accumulation in vegetation / S.L. Simonich, R.A. Hites // *Environmental Science & Technology*. 1995. V.29. P. 2905–2914.
8. Ugrehelidze D. Uptake and Transformation of benzene and toluene by plant leaves / D. Ugrehelidze, F. Korte, G. Kvesitadze // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1997. V. 37. P. 24–29.
9. Сравнительный анализ летучих компонентов листьев гибридов и сортов лимона (*Citrus limon* (L.) Burm.f.), культивируемых в условиях оранжерей / Н.В. Гетко [и др.] // *Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук*. 2014. №2. С. 5–10.
10. Состав летучих компонентов и антимикробная активность эфирных масел представителей сем. Lauraceae Juss. в оранжерейной культуре / Н.В. Гетко [и др.] // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. 2016. Т. 6. №6. С. 91–97.
11. Решетников В.Н. Биотехнология растений и перспективы ее развития / В.Н. Решетников, Е.В. Спиридович, А.М. Носов // *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46. №1. С. 3–18.
12. Асептическая коллекция и банк ДНК Центрального ботанического сада НАН Беларуси как эффективные инструменты сохранения редких растений / Е.В. Спиридович [и др.] // *Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук*. 2017. №3. С. 117–128.
13. Спиридович Е.В. Ботанические коллекции: документирование и биотехнологические аспекты использования / Е.В. Спиридович. – Минск, 2015.



# ЛУЧШИЕ СОРТА СИРЕНИ

ИЗ КОЛЛЕКЦИИ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО  
БОТАНИЧЕСКОГО САДА

**Наталья Македонская,**  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории интродукции  
древесных растений  
Центрального  
ботанического сада  
НАН Беларуси,  
кандидат  
биологических наук

**Игорь Гаранович,**  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории интродукции  
древесных растений  
Центрального  
ботанического сада  
НАН Беларуси,  
кандидат  
биологических наук,  
доцент

**Тамара Шпитальная,**  
завлабораторией  
интродукции древесных  
растений Центрального  
ботанического сада НАН  
Беларуси, кандидат  
биологических наук

**Владимир Титок,**  
директор Центрального  
ботанического сада  
НАН Беларуси,  
член-корреспондент  
НАН Беларуси,  
доктор биологических  
наук

**Д**ревесные растения в озеленении городов Беларуси – важная составляющая ее культурной дендрофлоры. Огромное богатство и разнообразие растительного мира, уникальные биологические свойства отдельных видов, их способность произрастать в экстремальных условиях дают возможность создавать не только оригинальные элементы ландшафтного дизайна, но и устойчиво функционирующие растительные комплексы, в максимальной степени выполняющие средообразующую и средоулучшающую функции. В решении этой задачи важную роль играет интродукция растений, адаптированных к неблагоприятным условиям городской среды [1]. В озеленении населенных пунктов все большее место отводится красивоцветущим кустарникам, обладающим такими достоинствами, как декоративность и обилие цветков, разнообразие их окраски, различные сроки и продолжительность цветения, простота возделывания, сравнительно небольшие затраты на содержание, возможность формирования оригинальных цветочных композиций.

Ухудшение экологической обстановки современных городов привело к необходимости создания в их черте зеленых насаждений, обеспечивающих быстрый декоративный эффект в сочетании с долговечностью и высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям. Особенно тщательно необходимо подбирать деревья и кустарники, образующие основу таких посадок. В вопросах озеленения приоритетная роль отводится неприхотливым, устойчивым, высокодекоративным растениям.

Всем этим требованиям отвечают многочисленные сорта сирени, правильный подбор которых гарантирует длительный декоративный эффект композиций, а с учетом того, что сирень – один из лидеров в мире флоры по способности очищать воздух [1], еще и помогает оздоровлению городов и их населения. Это декоративное растение относится к одному из родов семейства маслиновых, который насчитывает около 30 видов. Для культивирования в условиях Беларуси особое значение имеет сирень обыкновенная, ставшая основой для выведения большинства (нескольких тысяч) известных сортов. Важной задачей выступает интродукция сирени как

целенаправленное введение новых видов и сортов в культуру отечественной дендрофлоры [2–4].

Благодаря сохранению сортового многообразия в коллекции сирени НАН Беларуси имеется возможность формирования широкого ассортимента наиболее устойчивых сортов, тиражирования их для использования в зеленом строительстве. Многолетними сортоиспытаниями сирени в ЦБС НАН Беларуси охвачено более 300 таксонов, рекомендовано для культивирования 200 сортов различного происхождения [4]. Их ассортимент подобран для различных типов зеленых насаждений с учетом сроков цветения и внешнего вида растений, функционального назначения и санитарно-гигиенических характеристик объекта, подлежащего озеленению. При всем разнообразии сортов сирени их объединяет одно общее качество – выразительность, благодаря которой она органично вписывается в широкий спектр приемов в озеленении, таких как солитеры, группы, аллеи, композиции и живые изгороди [5].

За полтора столетия селекции в мире было выведено около 2300 сортов сирени, происходящих от нескольких видов [6]. Прошли испытание в коллекции ЦБС НАН Беларуси и включены в ассортимент 171 сорт сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*), 13 – гиацинтоцветной (*S. xhyacinthiflora*) и 16 гибридов сирени волосистой (*Villosae Group* и *S. xprestoniae*).

Критерием различия сортов служат форма, размер и окраска цветков и соцветий, сроки цветения кустов, а также их габитус. Выделяют сорта с простыми и махровыми цветками, которые могут быть крупными (более 25 мм в диаметре), средними (15–20 мм) и мелкими (5–10 мм). Соцветия-метелки бывают разных очертаний, плотности и величины. Декоративные достоинства гораздо больше зависят от соцветий, чем от отдельных цветков, при этом любые недостатки полностью компенсируются обильностью цветения.



**Минская красавица.** Многоствольный раскидистый куст. В возрасте 10 лет достигает 2,6 м. Листья типичные сердцевидные с заостренной вершиной, слегка глянцевые, зеленые. Соцветия – многочисленные, пышные, 2–5-вершинные метелки, широкопирамидальной формы. Бутоны удлинённые темно-розовые. Цветки простые бело-розовые, к концу цветения – белые с телесным оттенком. Лепестки плосковогнутые в начале цветения, к концу – закрученные в виде пропеллеров. Диаметр цветка 2–2,5 см. Аромат сильный, приятный. Сорт среднераннего срока цветения (начало – 16–20 мая, продолжительность 14–18 дней). Цветение ежегодное, стабильное, продуктивность до 150 метелок в кусте. Периодичности нет. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая. Сорт склонен к образованию поросли.



**Рококо.** Многоствольный куст высотой 2,5 м в возрасте 10 лет, с раскидистой кроной средней загущенности. Листья сердцевидные с заостренной вершиной, слегка глянцевые, зеленые. Соцветия – некрупные, очень плотные, 2–3-вершинные метелки широкопирамидальной формы. Бутоны округлые темно-розовые. Цветки махровые, некрупные, с открытым центром, светло-розовые, к концу цветения бело-розовые. Лепестки плосковогнутые, к концу цветения закрученные. Аромат сильный, приятный. Сорт среднего срока цветения (18–22 мая, 14–18 дней). Цветение ежегодное, стабильное, продуктивность до 100 метелок в кусте. Периодичности нет. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая. Склонен к образованию поросли.



**Фиалка Монмартра.** Малоствольный куст со сжатой кроной средней загущенности. Достигает 2,7 м в возрасте 10 лет. Листья сердцевидные с заостренной вершиной, слегка глянцевые, темно-зеленые. Соцветия – 1–2-вершинные метелки, узкоконические, плотные, с разветвлениями. Бутоны удлинённые темно-фиолетовые. Цветки простые фиолетовые с размытыми лиловыми краями. Цветок правильной симметричной формы с ладьевидными лепестками и темным крестообразным центром. Контрастно заметны яркие золотистые тычинки. Аромат сильный, приятный. Сорт среднепозднего срока цветения (20–24 мая, продолжительность 14–16 дней). Цветение ежегодное, стабильное, продуктивность до 50 метелок в кусте. Периодичности нет. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая. Куст практически не возобновляется порослью.

За редким исключением, сортовые сирени – высокие растения (5–6 м), однако встречаются кусты и среднерослые (4–6 м), и компактные (до 2–3 м). При необходимости их высоту независимо от сорта можно снизить до 2–3 м, умело применяя омолаживающие и формирующие обрезки. В таком случае соцветия будут формироваться на уровне человеческого роста, и наблюдать особенности растения будет намного проще.

Все сорта классифицированы на 7 цветковых групп, из которых 6 – с сиреневой окраской венчика разной насыщенности (фиолетовые, мажентовые, пурпурные, лиловые, розовато-лиловые, голубовато-лиловые); еще одна включает все разновидности белой сирени. Оттенок лепестков, выступающий отправной точкой этого сложного деления, определяется основным пигментом – антоцианом, благодаря которому растения легче переживают всевозможные стрессы и приспосабливаются к условиям конкретного местообитания. Окраска цветков

меняется вместе с концентрацией пигмента, которая зависит не только от стадии их распускания, но и от условий выращивания куста: кислотности почвы, освещенности, влажности, температуры.

Одним из определяющих критериев при выборе сорта для озеленения служат сроки цветения. Они бывают как сверхранние (с 1-й половины мая), так и поздние, раскрывающие свои бутоны в конце июня – начале июля. Тем не менее основной состав ассортимента сирени представлен среднецветущими (во 2–3-й декаде мая).

Длительность цветения рекомендуемых сортов из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси составляет 45–60 дней. Здесь прошли сортоиспытание и включены в ассортимент 13 ранних сортов сирени гиацинтоцветной (*S. xhyacinthiflora*). Они высокодекоративны, устойчивы, обильно зацветают в последнюю декаду апреля – первую декаду мая, отличаются рекордной продолжительностью цветения и сохранения



**Княгиня Ирина.** Многоствольный куст полукруглой формы высотой 2,5 м в возрасте 10 лет и раскидистой кроной средней загущенности. Листья сердцевидные с заостренной вершиной, слегка глянцевого, зеленого цвета. Соцветия – 2–3-вершинные метелки, пирамидальной формы, разреженные. Бутоны удлиненные темно-розовые. Цветки полумахровые розовые, к концу цветения бело-розовые. В соцветиях помимо полумахровых с закрытым центром встречаются как простые, так и многолепестковые цветки с открытым центром. Лепестки плосковогнутые. Аромат сильный, приятный. Сорт раннего срока цветения (14–18 мая, 14–16 дней). Цветение ежегодное, стабильное, до 150 метелок в кусте. Периодичности нет. Активно возобновляется порослью. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая.



**Синеглазка.** Многоствольный куст, в возрасте свыше 10 лет высотой 2,5 м, с раскидистой кроной средней загущенности. Листья сердцевидные, с заостренной вершиной, слегка глянцевого, зеленого цвета. Соцветия – прямостоячие метелки с 1–2 вершинами, пирамидальные, рыхлые, с разветвлениями. Бутоны удлиненные светло-лиловые. Цветки простые, с длинной лиловой трубчатой и заметным ее фиолетовым зевом, к концу цветения окраска значительно меняется до белой с лиловым оттенком, с ярким глазком. Сорт среднепозднего срока цветения (20–24 мая, 14–16 дней). Цветение обильное, ежегодное, стабильное, продуктивность до 150 метелок в кусте. Периодичности нет. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая.



**Белоснежка.** Многоствольный куст высотой 2,5 м (в возрасте 10 лет) и раскидистой кроной средней загущенности. Листья сердцевидные с заостренной вершиной, слегка глянцевого, зеленого цвета. Соцветия – 2–3-вершинные метелки пирамидальной формы, ажурные, многочисленные. Бутоны округлые светло-розовые. Цветки простые, небольшие в начале цветения с легким розовым оттенком. Лепестки плосковогнутые, с клювиком. Аромат средний, приятный. Куст красивой полукруглой формы. Сорт среднего срока цветения (15–20 мая, продолжительность 14–16 дней). Цветение ежегодное, стабильное, продуктивность до 200 метелок в кусте. Периодичности нет. Активно возобновляется порослью. Зимостойкость и засухоустойчивость высокая.

декоративности (до 20 дней), что особенно уместно в сезон дефицита ярких красок в природе. Для озеленения предлагается 2 махровых сорта: Berryer – с лиловыми цветками и Evangeline – с розоватыми; обширный ассортимент с простыми лиловыми цветками (Blue Hyacinth, Clarke's Giant, Pascal, Asessippi, Buffon, Pink Spray, Fénelon), 2 – с красно-лиловыми (Esther Staley, Mirabeau) и единственный – с белыми (White Hyacinth). Фавориты среди ранних сортов, для которых характерно регулярное обильное цветение крупными соцветиями, – Buffon и Esther Staley, а также уникальная разновидность сирени обыкновенной Мулатка с густо-фиолетовыми бутонами и крупными простыми дымчато-розовыми цветками с шоколадным оттенком.

С 1980 г. в ЦБС НАН Беларуси введены в культуру 16 сортов волосистой сирени (*Villosae Group S. xprestoniae*). Будучи позднецветущими (25 мая – 15 июня), они особо заслуживают внимания в зеленом строительстве из-за возможности продления декоративного эффекта ландшафта. Своим внешним видом и ароматом эти растения сильно отличаются от разновидностей сирени обыкновенной, к тому же они зимостойки, неприхотливы, устойчивы, обильно и продолжительно цветут. Рекомендуются для посадки лучшие сорта поздних гибридов с розовым венчиком: Celia, Esterka, Jaga, Jagienka, Lucetta, Telimena; с малиновым – Hiawatha, James Macfarlane, Redwine, Royalty, Ottawa и фиолетовым – Danusia, Francisca, Goplana, Guinevere, Calphurnia.

Традиционно популярная в озеленении сирень обыкновенная представлена в ассортименте 171 современным и классическим сортом всех 7 цветковых групп. Для удобства можно предложить простое их деление на светло-сиреневые (лиловые, голубоватые, розоватые), темно-сиреневые (фиолетовые, мажентовые, пурпурные) и белые.

Белой сирени в ассортименте довольно много – 34 сорта, удивительных по красоте и изяществу. Все они имеют разные оттенки, что особенно интенсивно проявляется на стадии бутонов. Лучшие белые сорта с простыми цветками – Flora, Excellent, Candeur, Vestale, Monument, Mme Florent Stepmann, Галина Уланова, Лебедушка; с махровыми – Monique Lemoine, Alice Harding, Mme Casimir Perier, Miss Ellen Willmott, Jeanne d'Arc, Mme Lemoine, Лунный свет, Советская Арктика, Защитникам Бреста, Память о Колесникове, Серебристый ландыш. В десятке наиболее популярных в мире на 1-м месте – знаменитая Красавица Москвы с розовато-лиловыми бутонами и жемчужно-белыми цветками. Одни из лучших крупноцветковых белых сортов – махровая

Monique Lemoine и простая Flora. Большие стройные ажурные соцветия Alice Harding, Mme Casimir Perier, Miss Ellen Willmott, Jeanne d'Arc делают эти растения с белоснежной окраской цветков хорошим дополнением к любой композиции.

Еще 55 рекомендуемых сортов относятся к темно-сиреневым – фиолетовым, мажентовым и пурпурным. Наиболее «красные» среди них – мажентовые, то есть лилово-красоватые: с простым цветком – Monge, Anne Shiach, Danton, Hugo de Vries, Frank Paterson, Fürst Bülow, Laplace, Night, Pasteur, Sarah Sands; пользующиеся особым спросом махровые сорта – Président Loubet, Mrs Edward Harding, Charles Joly, Gaizinkalns, Paul Hariot, Étoile de Mai, Katherine Havemeyer. У сложной пурпурной группы сирени в окраске преобладают не только красные, но и фиолетовые тона (Изобилие, Тарас Бульба, Огни Донбасса). В жаркую погоду насыщенные оттенки пурпурных сортов быстро выгорают на солнце. Одними из лучших среди них признаны Frank Paterson, Заря Коммунизма – благодаря своим плотным соцветиям и густому цветку. Фиолетовые разновидности сирени немногочисленны, но особо востребованы в озеленении; они представлены в ассортименте обильноцветущими сортами Ludwig Spaeth, Cavour, De Miribel, Mood Indigo, Sensation, Lady Lindsay, Комсомольцы 20-х годов, Суворовец. Очень популярны Sensation с бело-окаймленным венчиком и малочисленные махровые (Président Poincaré, Le Nôtre, Maximowicz, Ville de Troyes, Violetta) за ровный красивый цвет и крупные плотные соцветия. Многие фиолетовые сорта также выгорают на солнце, особенно в ясную погоду.

Традиционно больше всего (89) представлено светло-сиреневых (лиловых, голубоватых, розоватых) вариантов. Эта окраска особенно подвержена влиянию внешних условий. Лучшие сорта зарубежной селекции с голубоватым простым цветком – Firmament Madame Charles Souchet; с махровым – Abel Carrière, Ami Schott, Aucubaefolia, Maréchal Lannes, Duc de Massa, Émile Gentil, Jules Simon, Olivier de Serres, Président Grévy, Président Viger; селекции стран СНГ – Зоя Космодемьянская, Останкино, Русь, 40 лет комсомола. В самой «жизнерадостной» группе розоватых сиреней эффектно смотрятся как простые сорта (Lucie Baltet, Madame Rosel, Peerless Pink, Pink Mist, Гортензия, Аленушка, Юбилейная, Невеста, Мулатка, Никитская), так и махровые (Président Fallière, Belle de Nancy, Drushba, Général Pershing, Mme Antoine Buchner, Montaigne, Jean Bart, Андрюша Громов, Маршал Василевский, Богдан Хмельницкий, Олимпиада Колесникова,

И.В. Мичурин). Устойчивы к выгоранию яркие лиловые лепестки у Hugo Koster, Gilbert, Glory, Christophe Colomb, Алексей Маресьев, Аэлита, Аметист, Капитан Гастелло, Мечта. Лучшие представители лиловых тонов с махровыми цветками – Dresden China, Dr Maillot, Dr Troyanowsky, Émile Lemoine, Gismonda, Léon Gambetta, Michel Buchner, Полина Осипенко, Надежда, Небо Москвы, Утро Москвы, Память о С.М. Кирове, Память о Вавилове, П.П. Кончаловский, Великая Победа.

Коллекция сирени включает 36 сортов селекции Л.А. Колесникова, отличающихся красотой и обилием ароматных соцветий, сроками и продолжительностью цветения. Они присутствуют во всех цветовых группах, но не вписываются полностью ни в одну из-за переменчивости окраски. Разнообразие формы цветков – также их яркая отличительная черта. Эти уникальные сорта рекомендованы к широкому применению. Популярны и востребованы Красавица Москвы, Память о Колесникове, Советская Арктика из группы белых махровых сиреней; среди голубоватых и лиловых отмечены Надежда, П.П. Кончаловский, Память о Кирове, Небо Москвы. Обладатели невероятно красивых цветков и эффектных тяжелых соцветий – Мечта, Радж Капур, Михаил Шолохов. Среди сортов с насыщенной ярко-пурпурной окраской есть лидеры – Красная Москва со стройными, плотными и очень прочными соцветиями; Заря коммунизма, Индия, Кремлевские куранты – с крупными, тяжелыми, поникающими, глубокого пурпурно-красного цвета с фиолетовым переливом. В группе розоватых выделяются Невеста, Гортензия, напоминающие формой и окраской розовое облако.

При озеленении мемориалов, памятных мест в рамках проекта «Сирень Победы» особую роль играют «военные» сорта, достойные своих громких имен. Это Алексей Маресьев, Капитан Гастелло, Валентина Гризодубова с цветками-«пропеллерами». Эффектны Маршал Жуков, Маршал Василевский и представители белорусской селекции – Партизанка, Вера Хоружая, Константин Заслонов, Защитникам Бреста.

Значительное место в ассортименте ЦБС НАН Беларуси занимают 16 известных сортов селекции Н.В. Смольского и В.Ф. Бибиковой 1964 г., давно и прочно вошедшие в каталоги многих стран, но только в 2019 г. официально зарегистрированные и включенные в Государственный реестр сортов Беларуси [7].

Перспективны и новые результаты работы наших селекционеров: Минская красавица, Рококо, Кня-

гиня Ирина, Фиалка Монмартра, Метель-Завируха, Синеглазка, Белоснежка (рис. 1–6). Разнообразные по окраске, белорусские сорта отличаются неприхотливостью и обилием ароматных соцветий, различными сроками и продолжительностью цветения. Многочисленны лиловые вариации с простыми цветками: Партизанка, Константин Заслонов, Нестерка, Свитязянка, Вера Хоружая, Зорка-Венера. Достойны внимания обильно цветущие пурпурные – Памяти А.Т. Смольской, Полесская легенда, Павлинка. Эффектны своими легкими белыми соцветиями с простыми цветками, в изобилии покрывающими кусты, Успех, Лебедушка, Хорошее настроение, Метель-Завируха. Широкое внедрение 23 сортов отечественной селекции в практику зеленого строительства Беларуси позволит обогатить средствами интродукции культурную дендрофлору городов и поселков страны и сохранить национальные селекционные достижения.

Сортовые сирени обладают рядом достоинств: помимо исключительной декоративности это и небольшие затраты по их содержанию, и возможность создавать оригинальные комбинации цветовой гаммы. Рекомендовано широко использовать сортовое разнообразие данного вида в цветущих декоративных композициях, наличие которых, наряду с оригинальными стилевыми и цветовыми решениями в ландшафтной архитектуре, позволит повысить эстетическое качество городских ландшафтов нашей страны. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ассортимент декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси и рекомендации по оптимизации условий выращивания саженцев. – Минск, 1997.
2. Каталог древесных растений основных коллекционных фондов Беларуси. – Минск, 2013.
3. Македонская Н.В. Результаты интродукции рода *Syringa* L. в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси и перспективы их использования / Н.В. Македонская / Цветоводство: История, теория, практика: Материалы VII Междунар. науч. конф. – Минск, 2016.
4. Ассортимент древесных растений для озеленения Беларуси. – Минск, 2019.
5. Vrugtman F. Lilacs: A Gardener's Encyclopedia by John L. Fiala / F. Vrugtman / Oregon. Timber Press. 2008.
6. Государственный реестр сортов Беларуси. – Минск, 2019.

# Декоративные сорта хвойных растений белорусской селекции



**Владимир Торчик,**  
 академик-секретарь Отделения  
 биологических наук НАН Беларуси,  
 доктор биологических наук,  
 член-корреспондент;  
 dendro@tut.by

**О**сновной источник формирования ассортимента декоративных древесных растений для зеленого строительства в Беларуси – интродукция наиболее устойчивых видов и сортов из числа новинок мировой селекции.

Обусловлено это небольшим разнообразием древесных растений природной флоры: около 80 видов [1, 2], из которых только 25 представляют интерес для зеленого строительства [3]. Более того, многие из них оказались недостаточно устойчивыми в условиях городов и промышленных предприятий.

Следует заметить, что наиболее востребованными всегда были хвойные виды растений, а в последние десятилетия особую популярность приобрели и их декоративные формы, которые, наряду с высокой жизнеспособностью, отличаются низкорослостью, компактной корневой системой, оригинальной формой кроны, окраской хвои и другими качествами, позволяющими использовать их для украшения населенных пунктов и частных владений. В мировой практике современного декоративного садоводства насчитывается более 1500 наименований растений [4–6]. Некоторые из них получили распространение и в Беларуси.

Однако длительный (от 10 до 15 лет) период оценки степени устойчивости к новым условиям, разработки технологии выращивания посадочного материала и рекомендаций по использованию в озеленении не всегда способствует достижению первоначальной цели. Как правило, за это время на рынке появляются более эффектные сорта, что требует проведения новых многолетних исследований. К тому же, несмотря на качественный предварительный поиск перспективных сортов, по результатам изучения их способностей к адаптации не все из них рекомендуются для озеленения.

Наилучший способ обновления ассортимента растений в этих целях – организация селекционных работ по выведению отечественных декоративных сортов, изначально устойчивых к местным условиям.

В такой селекции применяют несколько подходов: отбор среди сеянцев экземпляров, отличающихся рядом признаков от исходного материнского растения; вегетативное размножение возникающих на растениях мутаций; воздействие на семенной или вегетативный материал физическими или химическими мутагенами. Цель работы – формирование перспективного фонда декоративных форм хвойных видов на основе семенного и вегетативного материала спонтанных соматических мутаций и отбора сеянцев с нетипичными признаками при семенном размножении.

Исследования, начатые в 1999 г., были направлены на поиск мутаций «ведьмина метла» на одной из главных лесообразующих пород – сосне обыкновенной. При выявлении таких образований с растений собирался вегетативный материал для прививки, а при обнаружении семяношения заготавливались и шишки. При этом наряду с лесными массивами обследовались и деревья городских и придорожных посадок.



**Сосна обыкновенная «Бонсай»**

(*Pinus sylvestris* «Bonsaj») – медленнорастущее растение, форма кроны близка к широко-колонновидной. Осевой побег выражен. В возрасте 12 лет высота 210 см, диаметр кроны в нижней части – 110–120 см. Побеги светло-коричневые, расположены относительно рыхло, на концах ветвление более плотное. Годичный прирост в высоту – 13–15 см. Хвоя серо-зеленая, широкая, длиной 12–15 см, плотно расположенная на побегах прироста последнего года. Декоративна формой кроны, окраской хвои, характером ветвления.



**Сосна обыкновенная «Вожык»**

(*Pinus sylvestris* «Vozhyk») – карликовая форма с конусовидной кроной. Имеет выраженный осевой побег. В возрасте 12 лет высота растения 70 см, диаметр в нижней части – 60 см. Годичный прирост – 5–6 см. Побеги светло-коричневые. Хвоя светло-зеленая, узкая, слегка изогнутая, длиной 4–5 см. Почки красно-коричневые, вытянутые, длиной 1–1,5 см. Декоративна окраской, формами кроны и хвои.



**Сосна обыкновенная «Пирамид»**

(*Pinus sylvestris* «Piramid») – карликовая форма с конической кроной. Ветвление плотное. Осевой побег явно выражен. В возрасте 12 лет достигает высоты 85 см и диаметра в нижней части кроны 55–60 см. Годичный прирост – 10–12 см. Побеги светло-коричневые. Хвоя зеленая, изогнутая, узкая, длиной 5–6 см, густо расположенная на побегах, зимой желто-зеленая. Декоративна формой кроны, окраской и конфигурацией хвои.



**Сосна обыкновенная «Восходящая»**

(*Pinus sylvestris* «Woshodjaschaia») – карликовая форма с подушковидной кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 12 лет высота растения 70 см, диаметр – 110–120 см. Годичный прирост – 10–15 см. Побеги зеленовато-коричневые. Хвоя зеленая, изогнутая, средней ширины, длиной 3–4 см, густо расположенная на побегах. Почки темно-коричневые, вытянутые, длиной 1,0–1,5 см. Декоративна формой кроны, окраской хвои.



**Сосна обыкновенная «Желтоватая»**

(*Pinus sylvestris* «Zheltovataya») – карликовая форма с формой кроны, близкой к округлой. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 12 лет высота растения 95 см, диаметр кроны – 100 см. Годичный прирост – 10–12 см. Побеги светло-коричневые. Хвоя светло-зеленая, узкая, прямая, длиной 5–6 см, густо расположенная на побегах, в осенне-зимний период приобретает яркий золотистый цвет. Почки светло-коричневые, вытянутые, длиной 0,8–1,0 см. Декоративна формой кроны и окраской хвои.



**Пихта белая «Белопестрая»**

(*Abies alba* «Belopestraya») – медленнорастущая форма с ширококонусовидной кроной. Отобрана в посевах пихты белой. Имеет выраженный осевой побег. Ветвление средней густоты. В первые 10 лет растет достаточно медленно, достигая высоты 45 см и диаметра кроны 75 см. Боковые ветви более мощные, равномерно отходящие в стороны под прямым углом. Годичный прирост – 6–9 см. Хвоя жесткая, плоская, не колючая, 0,8–1,6 см длиной, серебристо-зеленая с белыми кончиками, которые более ярко выражены у старой хвои. Декоративна формой кроны и окраской хвои.



**Туя западная «Золотая Светлана»**  
(*Thuja occidentalis* «Svetlana Gold»). Медленнорастущее растение. Форма кроны колонновидная. Осевой побег выражен. Ветвление плотное. В возрасте 17 лет высота растения 360 см, диаметр – 58 см. Годичный прирост центрального побега – 15–20 см, побегов 1-го порядка – 6–8 см. Хвоя линейная, чешуевидная, летом и зимой ярко желтая, в осенний период приобретает желто-зеленую окраску. Получена путем отбора при семенном размножении туи западной «Aurescens». Декоративна благодаря узкоколонновидной форме кроны и желтой окраске хвои.



**Тис ягодный «Первенец»**  
(*Taxus baccata* «Pervenez»). Медленнорастущее растение. Форма кроны широкояйцевидная. Осевой побег отсутствует. Ветвление плотное. В возрасте 15 лет высота растения 205 см, диаметр в средней части растения – 87 см. Годичный прирост побегов в мутовке – 15–20 см. Хвоя плоская, зеленая, густо расположенная на побегах, длиной 2,5–3,0 см. Получен путем отбора при семенном размножении тиса ягодного. Декоративен благодаря воронковидной форме кроны.



**Тис ягодный «Карандаш»**  
(*Taxus baccata* «Karandash»). Медленнорастущее растение. Форма кроны колонновидная. Осевой побег отсутствует. Ветвление плотное. В возрасте 15 лет высота растения 180 см, диаметр – 55 см. Годичный прирост центрального побега в мутовке – 20–25 см, остальных побегов – 8–10 см. Хвоя линейная, зеленая, густо расположенная, длиной 2,5–3,0 см. Получен путем отбора при семенном размножении тиса ягодного. Декоративен благодаря узкоколонновидной кроне.



**Сосна обыкновенная «Слущкая»**  
(*Pinus sylvestris* «Sluckaya») – карликовая форма с асимметричной округлой кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 10 лет высота растения 110 см, диаметр кроны – 100 см. Годичный прирост – 15–17 см. Побеги серо-коричневые. Хвоя серо-зеленая, широкая, слегка изогнутая, длиной 10–11 см, густо расположенная на побегах. Почки серо-коричневые, вытянутые, длиной 1,5–2,0 см. Декоративна формой кроны.



**Сосна обыкновенная «Узденская»**  
(*Pinus sylvestris* «Uzdenskaia») – карликовая форма с округлой, слегка асимметричной кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 12 лет высота растения 65 см, диаметр – 80 см. Годичный прирост – 5–7 см. Побеги коричневые. Хвоя зеленая, узкая, прямая, длиной 2–4 см, зимой желто-зеленая. Почки коричневые, вытянутые, длиной 0,5–1,0 см. Декоративна формой кроны.



**Сосна обыкновенная «Малютка»**  
(*Pinus sylvestris* «Malutka») – карликовая форма с плоскошаровидной, слегка асимметричной кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 9 лет высота кроны 50–55 см, диаметр – 75–80 см. Годичный прирост – 4–6 см. Побеги коричневые. Хвоя зеленая, узкая, прямая, длиной 3–4 см, густо расположенная на побегах. Почки серо-коричневые, вытянутые, длиной 0,5–0,7 см. Декоративна формой кроны.



**Сосна обыкновенная «Чижовская»**  
(*Pinus sylvestris* «Chizhovskaya») – медленно-растущее растение, форма кроны близка к колонновидной. Ветвление плотное. Имеет выраженный осевой побег. В возрасте 13 лет достигает высоты 160 см и диаметра в нижней части 90 см. Годичный прирост – около 18 см. Побеги серо-коричневые. Хвоя серо-зеленая, изогнутая, широкая, длиной 6–7 см. Почки светло-коричневые, сильно засмоленные, вытянутые, длиной 1,5–2,0 см. Декоративна формой кроны.



**Сосна обыкновенная «Элегантная»**  
(*Pinus sylvestris* «Elegantnaya») – карликовая и очень медленно растущая форма с широкояйцевидной компактной кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 15 лет высота кроны 100 см, диаметр в средней части – 90 см. Годичный прирост – 5–7 см. Побеги коричневые. Хвоя серо-зеленая, прямая или слегка изогнутая, длиной 4–5 см, плотно расположенная на побегах. Почки серо-коричневые, вытянутые, длиной 0,7–1,0 см. Декоративна формой кроны и окраской хвои.



**Сосна обыкновенная «Чупа Чупс»**  
(*Pinus sylvestris* «Chupa Chups») – карликовая, очень медленно растущая форма с округлой компактной кроной. Ветвление плотное. Осевой побег отсутствует. В возрасте 12 лет высота и диаметр кроны 45–50 см. Годичный прирост – 2–3 см. Побеги коричневые. Хвоя темно-зеленая, прямая, узкая, длиной 1–2 см, плотно расположенная на побегах. Почки серо-коричневые, короткие, длиной 0,3–0,5 см. Декоративна формой кроны.

Первые результаты исследований [1] подтвердили перспективность использования спонтанных соматических мутаций в селекции декоративных форм сосны обыкновенной. Они позволили выявить более 30 спонтанных соматических мутаций «ведьмина метла» и сформировать из семенного потомства фонд сеянцев, унаследовавших карликовый рост материнских образований.

Дальнейшая оценка этих растений позволила выделить среди них перспективные образцы, которые были переданы на госсортоиспытание и внесены в реестр сортов, разрешенных для выращивания на территории республики. Они отличаются как по габитусу и скорости роста, так и по окраске хвои. Ниже приводится краткая характеристика наиболее типичных из них.

Одновременно проводились работы по отбору сеянцев с нетипичными признаками при семенном размножении. Так, в посевах пихты белой была отобрана форма с белопестрой хвоей, среди сеянцев тиса ягодного – с широкояйцевидным габитусом («Первенец») и близкая к колонновидной («Карандаш»), туи западной – колонновидная с золотистой хвоей («Золотая Светлана»).

Отбор и прививка вегетативного материала спонтанных соматических мутаций «ведьмина метла» позволили получить сорта с формами крон, близкими к шаровидной («Слущкая», «Каролина», «Чупа Чупс», «Узденская»), плоскошаровидной («Малютка»), колонновидной («Чижовская») и яйцевидной («Элегантная»).

К настоящему времени получено 36 сортов декоративных хвойных растений и сформирован фонд перспективных образцов, насчитывающий более 60 сеянцев и вегетативных клонов. Сорта высажены в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси в виде экспозиции, которая не только демонстрирует возможности использования садовых форм в декоративном садоводстве, но и представляет собой экскурсионный объект как для студентов профильных вузов при проведении практических занятий, так и для посетителей ЦБС.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козловская Н.В. Хорология флоры Белоруссии / Н.В. Козловская, В.И. Парфенов. – Минск, 1972.
2. Гельтман В.С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В.С. Гельтман. – Минск, 1982.
3. Шкутко Н.В. Хвойные Белоруссии / Н.В. Шкутко. – Минск, 1991.
4. Bartels A. Geholzvermehrung / A. Bartels. – Stuttgart, 1978.
5. List of Names of Woody Plants – International Standard ENA 2005–2010 / Hoffman, M.H.A. (Ed), Cubey J.J. – Wageningen: Applied Plant Research, 2005.
6. Auders Aris G. Encyclopedia of Conifers / Aris G. Auders, Derek P. Spicer. – Woking, United Kingdom: Royal Horticultural Society, 2012.
7. Торчик В. И. Перспективы использования спонтанных соматических мутаций в селекции декоративных форм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Наука и инновации. 2011. №8 (102). С. 67–70.
8. Торчик В. И. [и др.] Ассортимент декоративных форм древесных растений для зеленого строительства. – Минск, 2018.

*Vladimir Gusakov*

### **Artificial and human intelligence: Which is better? ..... 4**

The author considers the impact of artificial intelligence on humans, points to the need for an open dialogue in society to develop the anticipatory protective measures and safe interaction between IT technologies and humans.

*Tatsiana Filipovich, Vladimir Kulchitsky*

### **Is artificial intelligence natural? ..... 14**

The artificial intelligence development is taking place due to the creative algorithms that are formulated by natural intelligence. Many regularities in the functioning of natural neural networks are the basis for this issue development. Will the ideas of natural intelligence be demanded in future, if the unique functioning algorithms are generated by artificial intelligence?

*Alexander Doudkin, Yauheni Marushko, Valentin Ganchenko*

### **Forecasting time series of spacecraft telemetry based on ensembles of neural networks ..... 16**

The article describes a two-level model of neural network ensembles for predicting multidimensional telemetry time series of spacecraft subsystems. The developed model is implemented in the system for identifying their state by telemetry data for the ground command-measuring complex.

*Boris Lobanov, Vladimir Zhitko*

### **Computer systems for rapid assessment of speech intonation parameters ..... 23**

The article presents the software systems «IntonTrainer» and «Speech Rate Meter», designed for rapid assessment of speech intonation parameters.

*Alexander Andrianov, Rygor Nikalayeu,  
Mikita Shuldau, Ivan Bosko, Alexander Tuzikov*

### **Neural network for predicting potential inhibitors of HIV-1 ..... 28**

There has been developed and used the generative adversarial autoencoder for rational design of potential inhibitors of HIV-1 entry capable of blocking the region of the gp120 protein of the viral shell which is critical for its binding to the target cell.

*Ryhor Prakapovich*

### **Electronic innovation for agriculture ..... 35**

The author describes a prototype of a system for recognizing substandard potato tubers and automatic movement correction of row cultivator system.

*Ekaterina Tuleyko*

### **Innovation and technology in the economy: An overview of trends ..... 41**

The author gives an overview of current innovations and technologies in the economy, the main ways of their recovery after the COVID-19 crisis, including topical areas of staff retraining.

*Olga Meerovskaya*

### **EU Framework Programs as the management and organizational innovation laboratories ..... 46**

The author analyses the effectiveness of the Belarusian scientists participating in the European Union Framework Programs, examines the EU approaches to financing R&D and stimulating innovation.

*Mikhail Popkov*

### **Ways to improve the legal regulation of individual entrepreneurship in the Republic of Belarus. Part 2 ..... 51**

The article considers the problems of individual entrepreneurs' taxation using the foreign practice. It is proposed to make amendments and additions to the legislation, including the definition of the concept of "individual entrepreneur", which is now absent.

*Yulia Vasilishina*

### **Solution code ..... 56**

The article considers the legally provided this year innovation of product labeling with identification tags for better product traceability which was introduced through robotic solutions of the specialists from Brest State Technical University to the dairy enterprises.

*Andrei Haurykau*

### **Geo-economic priorities of Belarus ..... 59**

The article analyses the integration process of Belarus and its economy into the system of world economic relations, the role and place of the country in the global economic system from the geo-economics standpoint.

*Pavel Shvedko, Ekaterina Tavgen*

### **Entry of Belarusian exporters to the markets of Argentina and Brazil ..... 64**

The article considers the perspective areas of the Belarus' foreign trade with the Argentine Republic and the Federative Republic of Brazil development and the specifics of doing business.

*Hanna Shutava, Sviatlana Shysh,  
Nelly Hetko, Halina Shamshur, Alena Spirydovich*

### **Vertical gardening is an innovative future for environmental biotechnology ..... 69**

Vertical gardening is an innovative technology in the world which can be widely used in environmental design and have a pronounced social and economic effect. The article considers its history and development, the ideal assortment of plants for green walls and its adaptation to the Belarusian climate, as well as how biotechnology can help botanists, architects, doctors and others.

*Natalia Makedonskaya, Igor Garanovich,  
Tamara Shpitalnaya, Vladimir Titok*

### **Fragrant haze of spring. The best varieties of lilac from the collection of the Central Botanical Garden of the NAS of Belarus ..... 75**

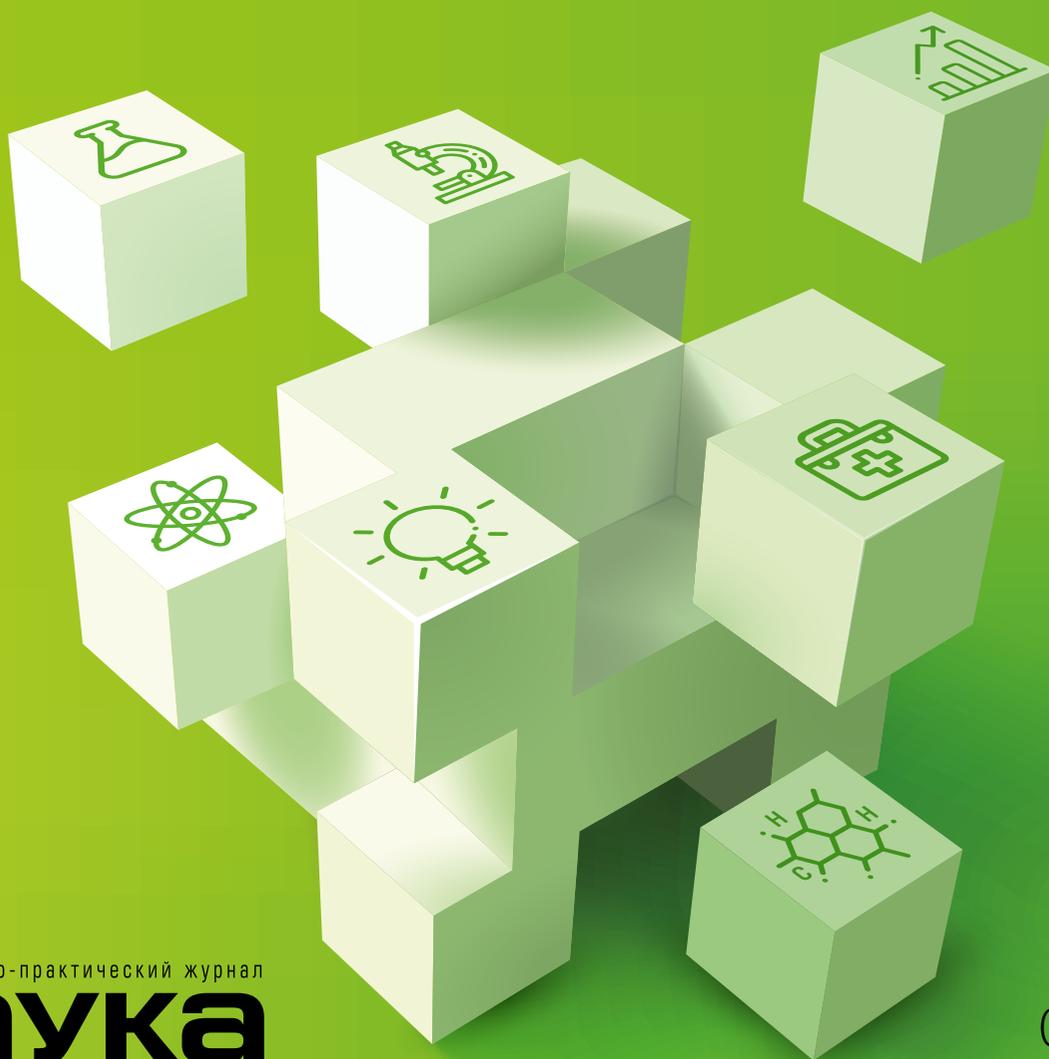
Lilac is one of the leaders in flora world as for its decorativeness, tolerance and ability to purify the city air. An assortment of 200 varieties of different shades and flowering periods, adapted to the conditions of Belarus, is recommended by specialists of the Central Botanical Garden for green construction.

*Uladzimir Torchyk*

### **Decorative varieties of conifers of Belarusian selection ..... 80**

The article presents the botanical characteristics of the first decorative varieties of conifers of Belarusian selection, including those obtained from spontaneous somatic mutations "witch's broom".

# ЗНАТЬ ВСЕ НЕВОЗМОЖНО, НО **МОЖНО** УЗНАТЬ **БОЛЬШЕ**



научно-практический журнал  
**Наука  
и инновации**

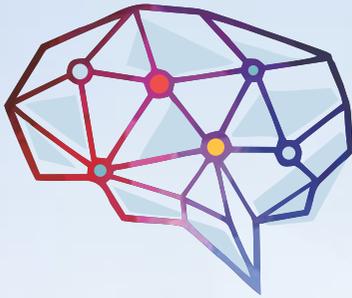
220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129  
тел.: (+375 17) 351-14-46 факс: (+375 17) 379-16-12  
e-mail: [nii2003@mail.ru](mailto:nii2003@mail.ru)

[www.innosfera.by](http://www.innosfera.by)

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

ПОДПИСНЫЕ  
ИНДЕКСЫ:  
00753  
007532





## II КИТАЙСКО-БЕЛОРУССКИЙ МОЛОДЁЖНЫЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

20-21 мая 2021 года Посольство Китайской Народной Республики в Республике Беларусь, Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, Министерство образования Республики Беларусь совместно с Белорусским национальным техническим университетом и Республиканским инновационным унитарным предприятием «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» провели II Китайско-Белорусский молодежный конкурс научно-исследовательских и инновационных проектов.

Конкурс проводится ежегодно с целью повышения инновационной активности студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Беларуси и Китая, а также для содействия активизации молодежного сотрудничества в сфере образования, науки и техники.

В Конкурсе приняли участие более 300 человек с презентациями своих проектов по наиболее перспективным направлениям:

- ◆ Информационные технологии. Big Data. Робототехника. Искусственный интеллект;
- ◆ Материалы и химические продукты. Машиностроение и металлургия;
- ◆ Экология. Рациональное природопользование. Переработка отходов. Энергосбережение. Сельское хозяйство;
- ◆ Медицина. Санитария. Медицинская техника;
- ◆ Образовательные технологии. Инновации в экономике, культуре и искусстве.

Лучшие работы конкурса были отмечены призами Посольства Китайской Народной Республики в Республике Беларусь.

