



ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ  
ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ  
ЭКОНОМИКИ

12

ФОРСАЙТ  
И ЕГО  
ВОЗМОЖНОСТИ

42

ЦИФРОВИЗАЦИЯ  
СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ОТРАСЛИ

57

ИННОВАЦИИ  
В РАННЕМ СССР:  
КОМУ И ЧЕМ МОГУТ ПОМОЧЬ

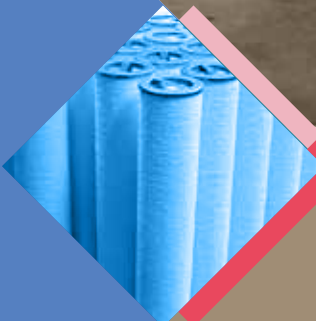
66

# Наука и инновации

№1 (239)  
ЯНВАРЬ 2023

научно-  
практический  
журнал

АСПЕКТЫ  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ



ISSN 1818-9857



ISSN 2412-9372 (online)



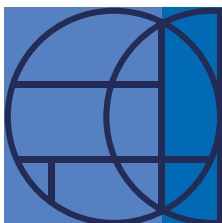
# ЦЕНТР ИСПЫТАНИЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

ИНСТИТУТА ФИЗИКИ  
НАН БЕЛАРУСИ

Имеет статус научного  
метрологического центра  
в области измерений параметров  
и характеристик лазерно-оптической  
техники

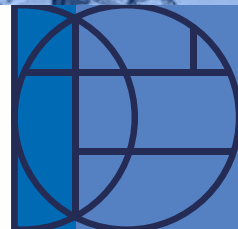
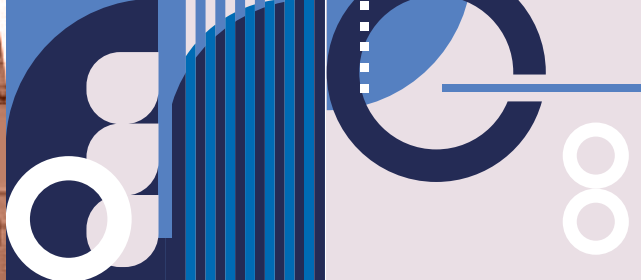
Аккредитован на соответствие требованиям  
ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 (ISO/IEC 17025:2017, IDT)  
как испытательная лаборатория  
и как калибровочная лаборатория

Внесен в единый реестр  
испытательных лабораторий (центров)  
Таможенного союза



20 лет  
на рынке





## Научные направления:

Разрабатывает научную основу метрологического обеспечения лазерной и оптоэлектронной техники в Республике Беларусь, развивает Систему обеспечения единства измерений Республики Беларусь в области лазерной техники, оптоэлектроники и оптики.

Занимается созданием национальных эталонов единиц величин, испытательного и измерительного оборудования, необходимых для проведения испытаний лазерной и оптоэлектронной техники, ее компонентов и калибровки средств измерений характеристик изделий лазерной техники и оптоэлектроники, в том числе для волоконно-оптических систем связи и передачи информации.

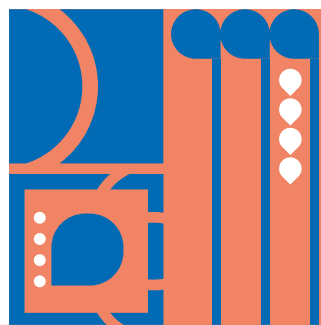
Осуществляет подготовку государственных стандартов, гармонизованных с международными нормами, разрабатывает методики измерений и калибровки средств измерений в области лазерной техники, оптоэлектроники и оптики.

**Испытательная лаборатория** специализируется на проведении испытаний источников оптического излучения (в том числе лазерных) и измерении характеристик лазерного излучения – и изделий.

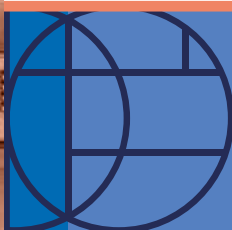
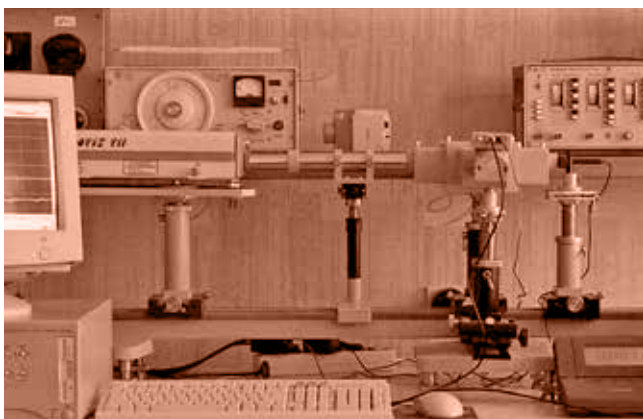
**Калибровочная лаборатория** специализируется на проведении калибровок средств измерений лазерной и оптоэлектронной техники.

Проводим измерения  
всех характеристик  
лазерного излучения

Гарантия точности  
и достоверности  
измерений



УНП 100217336



г. Минск, пр. Независимости, 68-2 каб. 371  
Телефон: +375 (17) 270-85-08  
Факс: +375 (17) 270-88-79  
[http://ifan.basnet.by/?page\\_id=143](http://ifan.basnet.by/?page_id=143)  
E-mail: ifanbel@ifanbel.bas-net.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 – председатель совета	А.Е. Дайнеко
П.А. Витязь – зам. председателя	А.И. Иванец
С.А. Чижик – зам. председателя	Н.С. Казак
Ж.В. Комарова	А.В. Кильчевский
В.Ф. Байнев	Э.И. Коломиец
А.И. Белоус	С.А. Красный
В.Г. Богдан	М.В. Мясникович
С.В. Гапоненко	О.Г. Пенязков
В.Л. Гурский	Ф.П. Привалов
	С.П. Рубникович
	О.О. Руммо
	С.В. Харитончик
	И.П. Шейко
	А.Г. Шумилин

#### Главный редактор:

Жанна Комарова

#### Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович	Татьяна Жданович
Наталья Минакова	Юлия Василюшина

#### Дизайн и верстка:

Алексей Петров

#### Адрес редакции:

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

#### Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)

00 753 (индивидуальная)

Формат 60х84 1/8. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,8.  
Тираж 523 экз. Цена договорная.  
Подписано в печать 18.01.2023.

#### 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 №10.

© «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

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИМПЕРАТИВЫ

Владимир Гусаков

### Проблемы и предложения по устойчивому развитию национальной экономики в период международной турбулентности..... 4

В материале речь идет о мерах, которые позволят адаптировать существующую систему управления экономикой Беларуси к реалиям нового мирохозяйственного уклада и запустить новый этап модернизации реального сектора.

## ТЕМА НОМЕРА: АСПЕКТЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Василий Гурский

### Импортозамещающая индустриализация экономики Беларуси: предпосылки и перспективы..... 12

Автор исследует понятие, экономическую сущность и задачи политики импортозамещения, анализирует современные тенденции в этой области в Республике Беларусь и за рубежом.

Павел Гринчук, Валерий Константинов

### О проблемах развития отечественных технологий цементации конструкционных сталей..... 19

В статье анализируется состояние и перспективы развития базовой технологии повышения долговечности деталей – химико-термической обработки.

Иван Вегера, Виталий Залесский

### Инновационные технологии и промышленное оборудование для индукционного нагрева в машиностроении..... 24

Представлены преимущества перспективных методов термического упрочнения и комплексный алгоритм разработки новых технологий скоростного индукционного нагрева и термообработки.

Наталья Ломохова

### Инновационные разработки и импортозамещение..... 29

В обзоре представлены наиболее важные разработки ученых Национальной академии наук, созданные с целью импортозамещения.

## ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

Александр Виноградов

### Форсайт и его возможности для инновационного и технологического прогнозирования..... 42

Рассматриваются особенности эффективного современного инструмента прогнозирования – метода форсайта, применяемого для разработки долгосрочных прогнозов инновационного и технологического развития в разных странах мира, в том числе в Республике Беларусь.

Юрий Комар, Андрей Белов, Снежана Борейко

### Типология стран по уровню финансового обеспечения научной и научно-технической деятельности..... 47

Приводится эмпирическая типология стран мира по показателям в области научно-технической и инновационной деятельности, определяется положение в ней Беларуси и стран ЕАЭС, а также меры, необходимые для повышения их позиций в Глобальном индексе инноваций.

Наталья Синявская

**Трансформация национальной модели слияний и поглощений****с использованием «стратегии штанги»** ..... 53

В статье предлагается трансформация современной белорусской национальной модели слияний и поглощений, предполагающей консолидацию платежеспособных и неплатежеспособных организаций, путем применения теории двух разделенных крайностей.

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Екатерина Господарик, Юе Тайшан

**Цифровизация как фактор повышения конкурентоспособности строительной отрасли** ..... 57

Проведен анализ состояния мирового рынка строительных услуг и динамика конкурентных позиций мировых лидеров – Китая и ЕС, а также Республики Беларусь, даны предложения по трансферу китайского опыта цифровизации строительного комплекса в нашу страну.

Владимир Савченко, Сергей Поддубко

**Высокоавтоматизированные и беспилотные автомобили: основные тренды. Часть 2** ..... 62

Очерчена актуальная задача поиска путей и методов передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах во время движения при смене парадигмы вождения с автоматического на ручное, представлены работы Объединенного института машиностроения НАН Беларуси в данном направлении.

## ИНФОЛИНИЯ

Александр Козлов

**Инновации в раннем СССР: кому и чем могут помочь в XXI в. идеи столетней давности?** ..... 66

Кризисный менеджмент, инновационное развитие, механизмы стимулирования труда, привлечения интеллектуальных ресурсов – эти термины не принадлежат к ушедшей эпохе начала XX в., и тем не менее ряд новшеств того времени мог бы быть полезным сегодня. О них – в этой статье.

## ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Александр Судник, Ирина Вознячук, Дмитрий Дубовик

**Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси** ..... 72

Приводятся основные риски создания зеленых насаждений в непосредственной близости от автодорог, основанные на результатах многолетних исследований состояния и трансформации растительных сообществ вдоль них, а также ключевые положения, которые необходимо учитывать при разработке проектной документации и предварительной подготовке территории.

Дарья Богатенкова, Ольга Вшивкова, Александр Мелешко

**Эффективность метода мультиплексной ПЦР в реальном времени при определении коротких изоформ гена IKZF1 (Ikaros)** ..... 79

Статья посвящена разработке быстрого метода прогнозирования рецидивов В-клеточного острого лимфобластного лейкоза методом мультиплексной ПЦР в реальном времени, позволяющего выявлять экспрессию 3 прогностически значимых транскриптов в одной реакции.



Беларусь оказалась в непростой геополитической ситуации. С одной стороны, пандемия коронавируса требует немалых бюджетных, в том числе валютных средств для ее сдерживания и преодоления, с другой — нарастающее санкционное давление затрудняет экспорт товаров и привлечение иностранных инвестиций. Вместе с тем перед страной стоят непростые задачи реализации Программы социально-экономического развития, принятой в соответствии с установками Всебелорусского народного собрания, а также задач, поставленных Президентом в Послании белорусскому народу и Парламенту.

Для достижения намеченных целей необходимы немалые капиталовложения в модернизацию экономики и создание нового технологического уклада (по типу «Индустрия 4.0»), выход всех отраслей на заданные темпы развития, подъем уровня жизни общества.



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

Задачи не просто большие, но и судьбоносные.

Ухудшают ситуацию новые вызовы и угрозы независимости страны, выражаемые в развязанной Западом гибридной войне с использованием разных методов давления, прекращение торговых отношений, дестабилизация обстановки, санкции и угрозы.

Но тупиковых ситуаций не бывает. В экономике всегда находятся альтернативные решения.

Принятые на референдуме 27 февраля 2022 г. изменения и дополнения в Конституцию позволяют Беларуси уверенно двигаться дальше, выстраивая свою модель социально-экономического развития, которая не только отвечает новейшим условиям рациональной организации, но и строго учитывает национальные интересы и потребности всех слоев общества в условиях меняющегося мирохозяйственного уклада.

# ПРОБЛЕМЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

## ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ В ПЕРИОД МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Не либерализация рыночной экономики под желания иностранного капитала, а рост реального сектора, и в первую очередь товарного конкурентоспособного производства, дающего возможность стабилизировать темпы экономической динамики, является ведущим мотивом и индикатором белорусского пути развития. Главное здесь – интересы самой страны, незыблемость суверенного права проводить самостоятельную политику, взаимовыгодность внутренней и внешней торговли и финансово-экономических отношений. Экономический контур модели – оптимизация инвестиций в развитие производственной и непроизводственной сферы и сбалансированный рост валового внутреннего продукта с учетом максимизации его добавленной стоимости. Политический контур основывается на фундаментальности институтов государственности как регулятора социальной и экономической активности, а также интегратора различных групп и слоев населения на основе общих целей роста благосостояния и качества жизни общества. Необходимые для этого мотивационные установки призван дать и идеологический контур, особенно это важно в настоящее время в связи с необходимостью повышения роли

идеологической сплоченности белорусского общества. Его общей платформой должна стать концепция социального консенсуса и многоцелевого синтеза, предусматривающая сочетание традиционных народно-исторических (христианских) ценностей, идеалов социальной справедливости, национальных интересов и инновационных технологий.

Для того, чтобы Беларусь смогла в полной мере реализовать потенциал своей социально-экономической модели и ускорить свое развитие, необходимо минимизировать влияние западных санкций. Для этого необходимо адаптировать существующую систему управления экономикой к реалиям нового мирохозяйственного уклада, а также запустить новый этап модернизации реального сектора на основе нового технологического уклада в контексте четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0».

А теперь более конкретно о перспективах развития экономики Республики Беларусь в связи со структурными изменениями мировой экономики.

Основными драйверами роста в условиях жесткого внешнего давления должны стать:

- *модернизация реального сектора за счет инвестиций*

*в высокотехнологичные производства в рамках нового инвестиционного цикла;*

- *стимулирующая денежно-кредитная и бюджетно-налоговая политика;*
- *расширение внутреннего спроса, в том числе за счет роста доходов населения;*
- *освоение новых зарубежных рынков, направлений и форм внешней торговли;*
- *импортозамещение в стратегически важных отраслях;*
- *углубление международной экономической интеграции на евразийском пространстве;*
- *наращивание торгово-экономического и производственно-технологического взаимодействия с Россией, Китаем и другими странами и центрами – драйверами экономического развития.*

Правительством Республики Беларусь принят комплекс мер по стабилизации работы различных отраслей и предприятий, а также экономики страны в целом, которые призваны смягчить последствия перехода к новому технологическому укладу и санкционного давления на Беларусь. Это меры финансового, кредитного, ресурсного и мотивационного порядка, которые способствуют нейтрализации негативных последствий и поддержанию

экономической активности отраслей и субъектов хозяйствования всех форм. Меры эти своевременные, но не исчерпывающие. Формирование нового мирохозяйственного порядка происходит в условиях гонки научных достижений, инноваций и технологий, в противоречии с реальными возможностями и целесообразностью, тотального влияния коронавирусной пандемии, усиливающегося санкционного давления и экономического противостояния мировых центров силы. Идет передел рынков и сфер влияния в мировой экономике. В этой связи каждая страна ищет для себя приемлемые меры для сохранения суверенитета и обеспечения экономической безопасности. Беларуси также надо своевременно вырабатывать и реализовать комплекс мер по сохранению положительных темпов социально-экономического развития как в период глобальных мирохозяйственных трансформаций, включая санкционное давление, так и в посткризисный период.

Исходя из международного и отечественного опыта, первое, что необходимо сделать, – это ввести контроль за вывозом капитала (прибыли частных предприятий, вновь созданных стоимостей и др.), в том числе белорусской валюты, за рубеж. Также для снижения давления на курс белорусского рубля усилить меры по ограничению перетока рублевых средств в валютные путем повышения привлекательности вкладов и накоплений в белорусских рублях. Частично это сделано, но недостаточно.

Необходимо основательно пересмотреть всю структуру импорта товаров, и в первую

очередь сырья, для производства которого в Беларуси имеются все возможности. Например, к чему ежегодно закупать за рубежом немалые объемы соевого шрота из трансгенной сои для балансирования кормов для животных по белку на сумму до 400 млн долл., если в самой стране есть все условия выращивания белкового сырья, причем более качественного, безопасного и дешевого. Аналогично и по другим видам сырья. Все максимально должно производиться в Беларуси.

Это не только экономия валютных средств, но и мощный импульс развития различных направлений национальной экономики (расширение занятости, рост национального дохода и др.).

В качестве образца построения эффективной системы валютного и финансового контроля в целях обеспечения заданного экономического роста можно использовать опыт Китая. Кстати, Беларуси надо основательно обратиться к изучению китайской практики в различных сферах, поскольку именно Китай обеспечивает опережающий рост экономики в нынешних непростых форс-мажорных обстоятельствах, тогда как практически весь остальной мир впал в стадию стагнации.

Известно, что ощущая спад деловой активности в 2020 г., вызванный обрушением мировой торговли, власти разных стран расширили централизованную поддержку, в том числе кредитование своей экономики, чтобы смягчить сокращение производства и торговли, предотвратить банкротство и создать инвестиционную базу для последующего ускоренного

ее инновационного развития. Однако эффективность этих мер сильно различается по странам в зависимости от возможностей национальной системы государственного регулирования экономики. Отдельные развитые страны, чтобы поддержать свою экономику, пошли на беспрецедентные меры – резкое сокращение стоимости коммерческих кредитных ресурсов для национальных субъектов хозяйствования, в том числе предоставление беспроцентных кредитов для жизненно важных отраслей и предприятий. Не надо никого убеждать, что такие меры – это спасение экономики и создание ресурсного плацдарма для ее последующего роста. Во всем мире процентные ставки по кредитам стремятся к нулю. Дешевые, почти бесплатные деньги – простой действенный механизм властей в развитых странах для поддержания экономики.

Сегодня, в условиях массированного санкционного давления, в том числе на банковскую систему страны, а также учитывая активную эмиссию доллара США, евро и других ключевых валют, следует уточнить цели монетарной политики Национального банка Республики Беларусь в направлении стимулирования восстановления экономического роста и поддержания уровня жизни населения и рассмотреть возможность увеличения денежного предложения в национальной валюте для целевого финансирования модернизации стратегически важных предприятий реального сектора, а также возможность целевого кредитования населения на покупку отечественных товаров под 0% годовых.

Банковская система должна действовать в контексте целей



и задач страны. Они напрямую должны быть направлены на поддержание экономики, и прежде всего реального сектора как генератора вновь созданных стоимостей, в том числе и для банковских учреждений. Сейчас во всем мире – даже там, где ранее провозглашалась независимость банков от государства, – банковские структуры не имеют права действовать вразрез с общей политической государственности. И именно оно помогает предотвратить банкротство самих банков в сложнейших экономических и пандемических условиях, а банки, в свою очередь, призваны обеспечивать стабильное развитие национальной экономики.

Постепенное, регулируемое наращивание денежного предложения, наряду с реализацией названных выше мер по стабилизации финансовой и экономической системы, необходимо рассматривать как важнейшее условие поддержания внутреннего спроса – стимулирование инвестиционной и инновационной активности. Ведь не секрет, что недостаточные темпы развития отечественной экономики вызваны не только отставшей производительностью труда, но и хронической недоинвестицией экономики, которая уже продолжительное время недоинвестируется вследствие острого недостатка кредитов и инвестиций на технологическое переоснащение. Белорусская экономика нуждается в существенном расширении денежного предложения для поддержания сбалансированности внутреннего рынка, подъема инновационной и инвестиционной активности в связи с необходимостью неотложной модер-

низации и выхода на траекторию опережающего развития.

Объем денег в экономике зависит от множества факторов и варьирует от страны к стране. Известно, что насыщенность национальной экономики ликвидными активами характеризуется уровнем монетизации экономики. В развитых странах коэффициент монетизации денежной массы (агрегат M2 – наличные деньги, чеки, вклады до востребования и денежные вклады предприятий и населения в банках) к валовому внутреннему продукту (ВВП) колеблется в широких пределах 70–200%. В странах с развивающейся экономикой коэффициент монетизации экономики ниже, чем в странах с развитой экономикой. В странах Восточной Европы коэффициент монетизации составляет около 60–80%. Самый высокий ее уровень наблюдается в Японии – стране практически с нулевой инфляцией – 291% в 2020 г. На втором месте Китай, коэффициент монетизации экономики которого в 2020 г. составил 224%, одновременно это самая быстрорастущая экономика мира. Напомним, что рост ВВП по паритету покупательной способности Китая за последние 20 лет – более чем 6,6 раза. Коэффициент монетизации экономики России последние 10 лет также постоянно рос, что выражалось в опережающем увеличении денежной массы относительно ВВП. На конец 2020 г. данный показатель составлял немногим более 50%. Анализ свидетельствует о том, что коэффициент монетизации растет в большинстве стран. В Беларуси по агрегату M2 он

существенно уступает показателям других государств.

Рост денежного предложения в Беларуси позволил бы увеличить ресурсный потенциал банковской системы и способствовал бы расширению кредитной поддержки реального сектора экономики и государственных программ, реализуемых для достижения целей социально-экономического развития страны. Однако деньги должны быть вложены в производство, реально работать и только через инвестиции и заработную плату попадать в экономику. Тогда рост денежной массы будет сопровождаться ростом произведенной продукции, улучшением финансового положения предприятий и реальных доходов населения. Это даст возможность существенно увеличить внутренний спрос в стране. Дело в том, что в Республике Беларусь внутренний спрос остается относительно небольшим, главным образом по причине низкой плотности населения. В условиях санкционных ограничений роль внутреннего спроса в обеспечении экономического роста для нашей страны существенно повышается.

Для осуществления масштабных задач, намеченных программой социально-экономического развития Республики Беларусь до 2025 г., необходимы соответствующие средства. И они в стране есть. Надо сказать, что денежно-кредитная политика в Беларуси отличается крайней осторожностью и направлена главным образом на недопущение инфляции. Высокие процентные ставки и до предела ужатое денежное предложение в определенной мере способствуют стабилизации

денежно-кредитной системы, однако не способствуют экономическому росту. Политика сдерживания денежного предложения сдерживает и экономический рост в стране, затрудняет инвестирование в обновление основных фондов, ухудшает финансовое положение предприятий реального сектора, препятствует внедрению инноваций.

Осторожность политики Национального банка во многом обусловлена условиями межбанковского взаимодействия с зарубежными и международными банками, которые были важным источником внешних займов. Стремление сохранить хороший международный рейтинг белорусской банковской системы удерживало наш Национальный банк в рамках требований международных финансовых структур и рейтинговых агентств. Необходимо признать, что Национальному банку это удалось даже в условиях пандемии и на начальных этапах санкционной войны, развязанной западными странами. Даже в 2020 г. рейтинги белорусских банков не ухудшились, когда эти негативные явления неожиданно навалились на экономику страны. Однако следование в русле требований международных финансовых структур и хороший рейтинг не помогают в условиях новых вызовов. Введенные в 2022 г. санкции существенно ограничивают возможности не только международного кредитования для белорусских банков, но и межбанковские расчеты, по крайней мере, с европейскими и американскими банками. Трудности, связанные с этим, понятны, но появляется и окно возмож-

ностей. Введенные ограничения одновременно развязывают нам руки для проведения денежно-кредитной политики в интересах нашего реального сектора.

Опыт 2020–2022 гг., да и предыдущих мировых финансовых кризисов, убедительно доказал, что жесткая денежно-кредитная политика существенно усложняет жизнь предприятиям реального сектора. Также следует учитывать тот факт, что риски ухудшения финансового состояния организаций реального сектора связаны с рисками сокращения поступлений в бюджет и внебюджетные фонды.

Крайне сложные внешние условия требуют принятия действенных мер со стороны государства по стимулированию экономического развития страны. Так, для предотвращения отставания деловой и инвестиционной активности следует широко применять инструменты целевого кредитования перспективных отраслей и жизненно необходимых предприятий. В этой связи, например, необходима выработка специнструментов рефинансирования коммерческих банков под суперльготные проценты для последующего некоммерческого кредитования критически важных для развития страны в условиях разворачивающегося мирового кризиса секторов (медицина, инновационная промышленность, высококачественное продовольствие и пр.) с условием целевого использования средств, а также для кредитования инвестиций в предприятия в связи с освоением новейших технологий и видов производства, в том числе в рамках национальных проектов по специнвестконтрактам.

Важнейшим фактором, сдерживающим рост экономики Беларуси, является закредитованность предприятий реального сектора. Немалая часть прибыли предприятий от реализации продукции уходит на обслуживание кредитов, превращая их в убыточные. Значительная часть бюджетных средств тратится на погашение процентов по кредитам, выданным на льготных условиях. Страдает от этого и банковский сектор. Задолженность предприятий связывает средства банков, которые могли бы быть направлены на кредитование новых заемщиков. Все это препятствует дальнейшей модернизации экономики, не позволяет предприятиям инвестировать в развитие новых высокотехнологичных производств, вымывает оборотные средства, заставляя отказываться от выгодных экспортных контрактов.

Одной из серьезных проблем является высокая долговая нагрузка на реальный сектор экономики (для примера можно рассмотреть сельское хозяйство). Крупные долги, по сути, парализуют нормальную работу предприятий, не дают встать на ноги для налаживания конкурентоспособного производства и сами по себе становятся безнадежными и невозвратными. Поэтому когда-то эту проблему придется решать кардинально, и чем раньше, тем лучше (во избежание потерь ресурсов и кадров). Полагаю, что данный порядок не сможет создавать серьезного инфляционного эффекта, но станет существенным механизмом активации деловой сферы.

Выход из этой ситуации, предлагаемый сторонниками

либерально-рыночной, про-западной позиции, – обанкротить предприятия и распродать их активы по частям, что очень устраивает западных конкурентов и международные корпорации, но совершенно не приемлемо для нас, так как противоречит интересам страны, белорусского народа и трудовых коллективов. Есть и другой выход. Реструктурировать долги государственных предприятий реального сектора, превратив их в беспроцентные долгосрочные облигации.

Для этого уже создана соответствующая институциональная основа. Указом Президента Республики Беларусь от 14.07.2016 г. №268 «О создании и деятельности открытого акционерного общества «Агентство по управлению активами» образована организационная структура, деятельность которой направлена на создание условий для комплексного реформирования и финансового оздоровления сельскохозяйственного производства. Агентству по управлению активами предоставлены полномочия осуществлять эмиссию облигаций. Разработан механизм секьюритизации (Указ Президента Республики Беларусь от 11.05.2017 г. №154 «О финансировании коммерческих организаций под уступку прав (требований)»). Указом Президента Республики Беларусь от 15.11.2021 г. №391 «О стабилизации финансового состояния организаций» расширен функционал ОАО «Агентство по управлению активами» и предоставлено право приобретать у банков за счет продажи облигаций собственной эмиссии задолженность организаций реального сектора экономики в целях оптимизации их дол-

говой нагрузки. Приобретение Агентством активов осуществляется на основе комплексного анализа всех аспектов деятельности организаций, задолженность которых подлежит реструктуризации. Ежегодный лимит приобретения активов устанавливается Советом Министров Республики Беларусь совместно с Национальным банком. Однако принятых мер пока недостаточно. Необходимо существенно расширить и ускорить процесс оздоровления предприятий реального сектора.

В этой связи важно задействовать эмиссионный механизм, но обязать банки направлять средства, полученные от государства в счет погашения долгов государственных предприятий, только на кредитование модернизации реального сектора. Проведение масштабной секьюритизации позволит существенно оздоровить финансовое положение предприятий реального сектора, а значит, и всей экономики, существенно улучшится кредитный портфель банков, расширится их возможность кредитования реального сектора, повысится денежное предложение, то есть внутренний спрос, появятся новые рабочие места, возрастут доходы населения. При этом эмиссионные деньги не смогут уйти на покупку валюты, а должны будут отрабатывать в процессе создания производственных мощностей и выпуска продукции. Деньги будут выплачиваться за вновь созданную добавленную стоимость: машины и оборудование, здания и сооружения, программный продукт, выполненную работу. Соответственно, такая эмиссия не может вызвать инфляцию. Оздоровление эко-

номики позволит существенно ускорить экономический рост и выйти из периода санкций, не потеряв, а значительно укрепив свои рыночные позиции.

Развитые страны в периоды кризиса экономики не колеблясь задействуют механизмы покупки долговых обязательств предприятий государством. В последнее время, например, Европейский центральный банк эмитирует огромные суммы под покупку государственных обязательств стран зоны евро, а в антикризисных целях – даже долгов и облигаций системообразующих корпораций и объединений. Причем денежная эмиссия (совершенно открытая) под государственные обязательства осуществляется на сроки до 30–40 лет, в течение которых купленные государством долги (бумаги) хранятся у него на специальном балансе, а расчищенные счета отраслей, предприятий и корпораций, как и выпущенные под них деньги, работают на экономику. Так же поступает и американская ФРС (Федеральная резервная система).

Конечно, к сказанному надо обязательно добавить необходимость перехода всей производительной и социальной инфраструктуры к экономии непроизводительных затрат (без этого любые инвестиции не дадут должного эффекта), существенному повышению производительности труда (известно, что только производительность решает исход конкурентоспособности), сквозному росту качества производимой продукции (качество должно стать неотъемлемой чертой, брендом и маркой любого белорусского товара), а также опережающему наращиванию экспорта

по сравнению с внутренним потреблением (только так можно обеспечить удовлетворение растущего спроса на валютные инвестиции и выравнивание технологий с ведущими зарубежными конкурентами).

Для снижения зависимости белорусской экономики от санкций Европейского союза и США и их союзников, обеспечения максимальной устойчивости в условиях гибридной войны целесообразно выработать неотложные меры по дедолларизации и деевроизации экономики. Например, сократить использование доллара и евро во внешнеэкономических и инвестиционных операциях крупных государственных предприятий и корпораций, рекомендовать то же самое частным предприятиям и объединениям. Постепенно перейти на оплату основных торговых контрактов в рублях. Во избежание негативного влияния конъюнктуры мировых цен на взаимную торговлю назрела необходимость перевода расчетов за топливно-энергетические товары (газ, нефть и др.) в национальные валюты государств – членов ЕАЭС в связи с формированием общего энергетического рынка. А для снижения внешних шоков колебаний нефтяных цен целесообразно перейти к долгосрочным контрактам на поставки нефти и газа в рамках всего Евразийского союза. Также следует ограничить хождение доллара и евро внутри страны. Первый шаг в этом плане уже сделан. С нового 2023 г. евро исключается из корзины валют для определения курса национальной белорусской валюты. Это правильно. Но надо идти дальше. В кратчайшие сроки необходимо создать платеж-

ную систему в национальных валютах государств – членов ЕАЭС на базе Евразийского банка развития и Межгосбанка СНГ со своей системой обмена банковской информацией, оценки кредитных рисков, котировки курсов обмена валют.

Это же самое необходимо сделать во взаимной торговле с КНР, на которую возлагается надежда по замещению внешнеторгового оборота со странами, реализующими антибелорусские санкции. Белорусские банки могут подключиться к Системе международных расчетов Народного банка КНР и обмениваться через нее информацией с китайскими партнерами, совершая платежи и расчеты. Целесообразно создать сеть специализированных кредитных и финансовых организаций, работающих исключительно в белорусских рублях и юанях, неуязвимую для внешних санкций.

В условиях нарастающего хаоса и турбулентности на мировых рынках необходимо предусмотреть создание системы защиты от угроз экономической безопасности, которая, наряду с уже изложенными инструментами, должна располагать защитными контурами регулирующих и хозяйственных систем. Например, защитный контур регулирующей системы должен гарантировать поддержку реального сектора и недопущение его банкротства в случае неизбежных рисков и угроз. Это может быть реализовано через специальные программы поддержки системообразующих предприятий, а в случае необходимости – выкупа их акций с целью недопущения перехода контроля к зарубежным инвесторам.

Для защиты стратегических активов в экономике и обеспечения выпуска продукции жизнеобеспечения (продовольствие, энергия, транспорт и пр.) государство должно быть готово взять на себя основные функции по их нормальному функционированию и даже прямому государственному управлению важнейшими объектами.

При любом сценарии дальнейшего разворачивания глобального кризиса, включая санкционные меры, Беларусь должна сохранить возможность самостоятельной политики. Наличие необходимого ресурсного и оборонного потенциала, сильной власти и организации экономики дает для этого все возможности. Даже при усилении санкционного давления Беларусь, руководствуясь политикой добрососедства и хорошо управляя внутренними ресурсами, имеет все необходимые условия не только для устойчивого выживания, но и для поэтапного развития. Поэтому в международных отношениях Беларуси важно ориентироваться исключительно на собственные интересы. При самых неблагоприятных сценариях, проводя курс на обеспечение своих потребностей, Беларусь сможет стабилизировать свое положение в международном экономическом пространстве и разделении труда. Внутренняя же стабилизация зависит от эффективности и оперативности регулятивных мер и механизмов, вырабатываемых соответствующими органами государственного управления. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Глазьев С. Ю. Доклад о глубинных причинах нарастающего хаоса и мерах по преодолению экономического кризиса // <https://www.eijournal.ru/jour/article/view/803/280>.

# АСПЕКТЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ





# Импортозамещающая индустриализация экономики Беларуси:

## предпосылки и перспективы



**Василий Гурский,**  
главный ученый секретарь  
НАН Беларуси, доктор  
экономических наук

Политика импортозамещения, предполагающая расширение доли отечественных товаров на внутреннем рынке в целях оптимизации импорта, проводится в Республике Беларусь на постоянной системной основе и обоснованно считается одним из важнейших факторов суверенитета страны. Благодаря этому обеспечена продовольственная безопасность, налажена глубокая переработка сельскохозяйственной продукции, модернизированы системообразующие предприятия промышленности, создаются новые высокотехнологичные производства, построена собственная атомная электростанция, усовершенствована вся система энергообеспечения страны, активно развиваются наука и образование. Ограничительные действия, предпринятые отдельными западными странами в отношении России и Беларуси в 2022 г., придали новый импульс импортозамещению, убедительно доказав дальновидность и обоснованность проводимой экономической политики.

### Сущность и задачи политики импортозамещения

Импортозамещение направлено на организацию и развитие в стране производства продукции (товаров и услуг), которые прежде поставлялись из-за рубежа. Проблематика импортной зависимости была впервые проанализирована в 1950-х гг. Г. Пребишем и Х. Зингером, сформулировавшими положение о существовании долговременной тенденции ухудшения условий торговли для стран, экспортирующих сырье, а ввозящих промышленные товары. На этой основе был сформулирован принцип «центр – периферия», который показал импортозависимость развивающихся стран от технологически развитого «центра» [1]. Впервые понятие «импортозамещение» было использовано в 1960-е гг. Организацией Объединенных Наций (ООН) в целях отражения существующих сложностей в государствах, ранее бывших колониями, а также для обозначения эко-

номической политики в развивающихся странах, нацеленной на рост индустриализации посредством протекционистских инструментов, которые являются защитой национальных игроков от конкурентов [2]. Теоретические аспекты обоснования процессов импортозамещения широко рассматривались в исследованиях представителей неокейнсианской школы – П. Самуэльсона, Дж. Хикса, М. Фелдстайна, М. Бруно, Ф. Модильяни, Д. Патинкина, которые во второй половине XX в. представили модель экономического развития государства через процессы вытеснения импортных товаров отечественными.

Импортозамещение определяется и как инструмент вовлечения страны в мировую хозяйственную сферу, а также повышения темпов экономического роста посредством расширения внутреннего рынка промышленной продукции. Как отмечал Д. Итуэлл, «большинство стран, которые достигли высоких результатов в промышленности, в большей или меньшей степени прошли период замещения импорта от более развитых соседствующих стран», и подчеркивал, что «импортозамещение представляет собой естественный процесс, который реализуется на различных этапах в тех или иных странах, а политика импортозамещения анализируется в рамках решения проблем национального экономического роста, который замедляется лимитом платежного баланса, в результате чего следует либо расширять экспорт, либо снижать долю импорта» [3]. Обратим внимание, что основная цель импортозамещения – не сокращение импорта, а развитие собственного производства, рост ВВП, создание новых рабочих мест и повышение благосостояния населения.

Основные преимущества импортозамещения заключаются в повышении уровня занятости и устойчивости экономики. Вместе с тем страны, проводящие политику импортозамещающей индустриализации, зачастую сталкиваются с растущей потребностью импортировать иные виды сырья, машин и запасных частей для новых производств. Объективно, чем более развита страна, тем больше она нуждается в импорте. Поэтому работу в импортозамещающих отраслях промышленности необходимо сочетать с развитием экспортно-ориентированных сфер деятельности. Широко распространено мнение, что политика импортозамещения и стимулирования экспорта противоположны по своей сути и, как правило, представлены в качестве альтернативных стратегий. На наш взгляд, это утверждение

неверно и искусственно навязывается отдельными странами. Многие экономисты признают, что модель замещения импорта и стимулирование экспорта не являются взаимоисключающими альтернативами, а скорее дополняют друг друга [4].

Сформулируем основные задачи политики импортозамещения:

- развитие отечественного производства (создание новых рабочих мест, освоение новых технологий, повышение локализации в цепочках добавленной стоимости, углубление переработки сырья, увеличение доли высокотехнологичных производств в структуре экономики);
- обеспечение национальной экономической безопасности (снижение зависимости от санкционной политики недружественных стран, положительный внешнеторговый баланс).

## Современные тенденции в политике импортозамещения

Теории политики импортозамещения были разработаны еще в середине прошлого века. Так, в Латинской Америке в 60-х гг. XX в. сформировались новые отрасли экономической деятельности: появились собственная технологическая база, дополнительные рабочие места, предприятия получили возможность конкурировать на международном уровне, выходить на новые рынки, используя собственные технологии [5]. Однако начиная с 1970-х гг. политика импортозамещающей индустриализации стала объектом острой критики со стороны развитых стран, которые теряли рынки сбыта своей продукции. В конце 1980–1990-х гг. многие государства стали отказываться от политики импортозамещения в пользу односторонней либерализации торговли (Боливия, Чили, Гана, Индонезия, Марокко, Нигерия, Пакистан, Перу, Сенегал, Тунис и др.). Возможно, именно по этой причине уровень их промышленного развития затормозился.

У передовых в экономическом плане стран несколько иной подход. Условно их можно разделить на два типа: с производящей экономикой и обществом потребления. Для первых (Китай, Германия, Беларусь) характерна эффективно работающая высокотехнологичная промышленность и сфера услуг, нацеленная прежде всего на обслуживание потребностей реального сектора. Характерно, что в последние десятилетия XX в. страны ЕС столкнулись с усилением деиндустриализации, вызванной массовым переносом крупных

промышленных производств в Китай и Юго-Восточную Азию, что, в свою очередь, привело к повышению безработицы, замещению труда капиталом и изменению торговой специализации в пользу услуг. Отдельные теоретики поспешили назвать этот процесс постиндустриальной стадией развития общества. Однако сфера услуг не обладает таким мультипликативным эффектом, как промышленность, для нее не свойственен высокий уровень капиталом- и наукоемкости. Отсюда наметившееся замедление европейских стран в экономическом и научном развитии. Принятая в 2000 г. Лиссабонская стратегия, по сути, ознаменовала смену парадигмы промышленного развития ЕС и «переход от пассивной к активной промышленной политике» [6]. Согласно документу, повышение уровня жизни и снижение безработицы могут быть достигнуты только при условии роста эффективности и конкурентоспособности промышленного производства. Деиндустриализацию, наблюдавшуюся в 2003–2007 гг., особенно тяжело переживала Германия, а инструментом выхода из кризиса 2008–2010 гг. выступила новая промышленная политика, усилившая государственную поддержку немецких автомобилестроителей.

Для обществ потребления (США, Великобритания) характерна иная ситуация. В этих странах наблюдается постоянное увеличение внешнего долга, а экономический рост достигается прежде всего за счет сферы услуг. Такого рода экономическая политика подразумевает развитие не промышленных, а иных (как правило, финансовых) технологий, а также усиление зависимости национальной экономики от динамики мировых финансовых рынков. Именно поэтому Великобритания активно получает китайские кредиты, которые тратятся на приобретение продукции, произведенной в КНР. В последние годы, правда, делаются попытки ограничить китайский импорт и стимулировать инвестиции в развитие собственного производства.

В экономике США основную долю ВВП (77,3%) формирует сфера услуг. Почти четверть (22,3%) приходится на сектор финансов. Соединенные Штаты являются лидером по экспорту услуг (бизнес-услуги, финансовые услуги, услуги связи). Значительная доля национального дохода формируется за счет спекуляций обязательствами (ценными бумагами) на сырьевых, валютных и фондовых биржах. При этом реальных товаров производится намного меньше, чем потребляется.

Импорт значительно превышает экспорт. Отрицательный платежный баланс покрывается за счет растущего внешнего долга (в 2021 г. – более 20,5 трлн долл.) и экспорта «зеленых бумажек».

Важная тенденция, характерная для промышленного развития США со второй половины XX в., как и для европейских стран, – перемещение капиталов и производств в страны с низкой стоимостью рабочей силы (Китай, другие страны Юго-Восточной Азии). Никакой постиндустриализации здесь не было, просто корпорации стремились снизить издержки за счет более дешевых ресурсов и слабого контроля за выборами в окружающую среду. Правительство США, почувствовав угрозу от перекоса между реальным сектором и сектором услуг в структуре экономики, в 2010 г. взяло курс на американскую «реиндустриализацию» (возвращение производств в страну). В 2021 г. был подписан указ президента США «Покупай американское» («Buy American»), предусматривающий проведение федеральных закупок товаров, продуктов, материалов и услуг, произведенных преимущественно в США. То есть сегодня даже американская промышленная политика направлена на «неоиндустриализацию» экономики, импортозамещение и обеспечение национальной безопасности.

## Политика импортозамещающей индустриализации в Республике Беларусь

В нашей стране исторически сложилась и динамично развивается производящая структура экономики, в которой реальному сектору принадлежит решающая роль. Хотя в ВВП Беларуси сфера услуг занимает более 49%, у нас формируется не сервисная, а сбалансированная производящая экономика, где сфера услуг базируется на развитой промышленности и сельском хозяйстве. При этом современная социально-экономическая модель Беларуси характеризуется высокоэффективным материальным производством, базирующимся на достижениях отечественной и передовой зарубежной науки и техники, отличающимся рачительным использованием местных и привозных минерально-сырьевых ресурсов, независимой внешнеэкономической политикой, основанной на приоритете национальных интересов, высоким уровнем открытости экономики, развитой внешней тор-

говлей и интеграционными отношениями, позволяющими привлекать недостающие ресурсы, развитой системой социальной защиты населения, образования, медицинского обслуживания.

Примечательно, что сбалансированность структуры экономики является важнейшим фактором экономического роста в условиях неопределенности внешнеэкономической среды. Ставка на собственное производство позволяет обеспечить сбалансированность и устойчивость народнохозяйственного комплекса, высокий уровень занятости с акцентом на увеличение удельного веса высокопроизводительных рабочих мест, экономическую, в том числе продовольственную безопасность, избежать сильного расслоения общества и монополизации рынков. Экономика Беларуси открыта для привлечения инвестиций и инноваций, направленных на развитие высокотехнологичного реального сектора.

В настоящее время государственная политика в области импортозамещения предусматривает расширение доли обеспечения внутреннего рынка своими товарами благодаря стимулированию выпуска отечественными производителями продуктов, аналогичных импортным, и созданию новых предприятий, специализирующихся на позициях, которые прежде импортировались. Главный резерв – развитие производств, работающих на местных ресурсах, путем глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, льна, кожи, древесины, торфа и др. При этом важнейшая задача – конкурентное отечественное производство.

В части непосредственного замещения выпадающего импорта в Беларуси действует единая схема работы по импортозамещению, в соответствии с которой определен Перечень потребительских товаров, предлагаемых для освоения их производства, выпуска импортозамещающей продукции и развития ассортимента с учетом конъюнктуры рынка, включающий 2 группы:

- *товары, производство которых осуществляется в республике, но в недостаточном количестве и ассортименте, или которые не полностью удовлетворяют спрос по отдельным параметрам (свойствам);*
- *продукция, которая в стране не производится.*

Приказом Министерства промышленности Республики Беларусь от 18.08.2022 г. №279 «Об организации системы учета заявок по изготовлению запасных частей критического импорта» определены базовые организации для рассмотре-

ния заявок по изготовлению запасных частей критического импорта к технологическому оборудованию. Конкретный перечень определен в приложении к постановлению Министерства экономики Республики Беларусь от 10.05.2022 г. №9 (в редакции постановления Министерства экономики Республики Беларусь от 20.10.2022 г. №14) [7].

Необходимо учитывать, что импортозамещение – это процесс длительный, требующий значительных вложений ресурсов. Поэтому соответствующую политику необходимо проводить постепенно, от простого к сложному, от самого необходимого к менее значимому. Как правило, импортозамещение осуществляется путем углубления переработки собственного сырья (вместо экспорта леса-кругляка – к производству пеллет, ДСП, мебели и другой продукции деревообработки) и через повышение степени локализации на высокотехнологичных предприятиях (вместо отверточной сборки в машиностроении – к производству отечественных узлов и агрегатов). В этом направлении в нашей стране вот уже несколько десятилетий проводится последовательная политика и достигнуты неплохие результаты. Из последних достижений: открытие производства аминокислот на предприятиях Белорусской биотехнологической компании, выпуск микроэлектромеханических систем в Минском НИИ радиоматериалов, производство картофеля фри на Толочинском консервном заводе и др.

Санкции западных стран нарушили сложившиеся производственно-кооперационные и торгово-логистические цепочки. Это потребовало расширить перечень позиций, подлежащих ускоренному импортозамещению. Плановая работа по выпавшим позициям критического импорта началась оперативно и, кроме организации собственного производства, включает налаживание новых транспортно-логистических каналов, упрощение условий поставки параллельного импорта, географическую диверсификацию внешней торговли с упором на восточный вектор, формирование новых производственно-кооперационных цепочек преимущественно в рамках Союзного государства, ЕАЭС и др.

В качестве приоритетной следует рассматривать продукцию, в производстве которой страна имеет либо будет иметь сравнительные преимущества. По данным Министерства экономики Беларуси, уже сформировано более 170 дорожных карт по конкретным позициям, где до 2025 г. мы должны увеличить свою локализацию [8].



Необходимо согласование политики импортозамещения с экспортной стратегией, то есть при организации и развитии производств следует ориентироваться на те из них, которые в дальнейшем, при насыщении внутреннего рынка и обеспечении необходимого уровня конкурентоспособности, смогут экспортировать товары. В этом отношении значимым фактором поддержки выступает участие нашей страны в едином евразийском экономическом пространстве, облегчающем доступ на соответствующие рынки. Логическим развитием для отечественной стратегии импортозамещения должен стать его переход от национального к региональному – в рамках Союзного государства и ЕАЭС. Важнейшим направлением сокращения импорта из недружественных стран является формирование импортозамещающих цепочек в рамках интеграционных объединений СГ, ЕАЭС, БРИКС. Для решения этой задачи перспективна поддержка совместных проектов, реализуемая на межгосударственном и наднациональном уровнях. На данный момент, по данным Министерства экономики Беларуси, уже сформировано порядка 20 интеграционных проектов на 1,5 млрд долл. [8].

При разработке программ Союзного государства и ЕАЭС следует обращать внимание на необходимость долгосрочного стратегического планирования по развитию высокотехнологичных направлений, опережающих время. Среди приоритетных направлений сотрудничества: сельскохозяйственное машиностроение, легкая промышленность, металлургия, химия, автомобилестроение, производство электронно-оптического оборудования, станкостроение, информационные технологии и электроника, новые материалы и химические продукты, экология и рациональное природопользование, профилактика и лечение наиболее распространенных и опасных заболеваний и др.

Возможности финансирования импортозамещающих проектов ограничены, поэтому необходима координация политики импортозамещения с инвестиционной стратегией страны. Это актуализирует задачу по привлечению иностранных инвесторов к развитию импортозамещающих предприятий в Республике Беларусь.

## Роль науки в решении задач импортозамещения

Важнейшим фактором успешной политики импортозамещающей индустриализации явля-

ется развитие собственной науки. «Наука – фундамент нашей государственности», – отметил Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко во время встречи с белорусскими учеными в январе 2022 г. [9]. Ученые НАН Беларуси ориентированы на разработку инновационной и импортозамещающей продукции (услуг) в рамках выполнения Государственной программы импортозамещения, отраслевой научно-технической программы «Импортозамещающая продукция». С 2012 г. ежегодно приказами НАН Беларуси утверждаются перечни импортозамещающей продукции (услуг), запланированной к выпуску организациями Академии наук и сторонними организациями по ее разработкам (около 230 позиций). По сути, все, чем занимаются сейчас подразделения НАН, – это импортозамещение. Реализуется полная цепочка, от идеи и фундаментальных исследований до практических разработок, создания экспериментального (опытного) производства и продажи готовой инновационной импортозамещающей продукции. Функционируют научно-практические центры и научно-производственные объединения, объединенные институты, которые связывают все фазы инновационного цикла на базе единой организационной структуры по типу научно-производственной корпорации. Отраслевые научно-практические центры и лаборатории созданы Академией наук совместно с ведущими промышленными предприятиями страны (БЕЛАЗ, МАЗ, МТЗ, моторный завод, «Интеграл», «Планар»). По каждому направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности в НАН Беларуси есть инновационные импортозамещающие разработки. Это атомная и возобновляемая энергетика, аэрокосмическая отрасль, искусственный интеллект, цифровизация и роботизация, биотехнологии и фармацевтика, машино- и приборостроение, беспилотный и электротранспорт, новые композиционные материалы и многое другое.

В 2021 г. по разработкам НАН Беларуси выпущено 226 наименований импортозамещающей продукции почти на полмиллиарда долл. В 2021 г. создано 7 новых сортов растений (картофель, озимый тритикале, рожь, яровой ячмень и пшеница), 8 импортозамещающих технологий для аграрной науки, два вида комбикормов для рыб. Выведено и районировано 13 гибридов кукурузы, еще 7 находится в государственном сортоиспытании, что первостепенно в плане импортозамещения дорогостоящих семян кукурузы зарубеж-



ной селекции и позволило довести долю посевов гибридов кукурузы отечественной селекции практически до нормативных показателей (57%). Разработаны клеточные технологии лечения лейкозов у крупного рогатого скота, биопрепараты для защиты растений, кормовые добавки.

НПЦ Института биоорганической химии «Химфармсинтез» производит импортозамещающие противоопухолевые препараты и уже полностью обеспечивает потребности страны по выпускаемой номенклатуре. В академическом фармкластере выпускаются фармацевтические субстанции и лекарственные средства на основе аминокислот и пептидов. По разработкам НАН Минздрав утвердил 7 новых методов лечения с использованием биомедицинских клеточных продуктов и 3 метода лабораторной диагностики, в том числе для лечения внебольничных пневмоний, вызванных вирусом SARS-CoV-2, определения Т-клеточного иммунитета к нему. Разработаны прототип белорусской вакцины против коронавирусной инфекции COVID-19, технология производства иммуноглобулина против вируса SARS-CoV-2 из иммунной плазмы анти-COVID-19, а также метод лечения нейробластомы с применением ДНК-вакцины.

По запросам Министерства промышленности успешно выполнен ряд крупных проектов Физико-техническим институтом для ОАО «Минский тракторный завод» и ОАО «БЕЛАЗ», Институтом химии новых материалов, Институтом общей и неорганической химии начата работа с организациями концерна «Беллепром». При активном участии НАН Беларуси на БЕЛАЗе созданы образцы карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 т (на аккумуляторных батареях) и 220 т (дизель-троллейвозного типа), выпущено 50,8 тыс. импортозамещающих деталей к автомобилям. Разработаны экспериментальный образец грузового электромобиля грузоподъемностью до 4 т на МАЗе, опытный образец грузового электромобиля грузоподъемностью 10 т с подготовкой под установку системы беспилотного управления на «Белкоммунмаше». Создана опытная партия тяговых электродвигателей с водяным охлаждением для коммерческого, в том числе грузового транспорта на «Могилевлифтмаше». Для ГП «Беларусьторг» НАН разработала, произвела и поставила полимерный композиционный материал для отечественных пластиковых лыж. Их основные эксплуатационные характеристики существенно превышают таковые у импортных аналогов.

В Институте физики налажено производство оптических компонентов и лазерных систем с диодной накачкой нового поколения, уже выполняются заказы на изготовление оптических компонентов для организаций из Беларуси и России. На «Интеграле» по разработкам Академии наук организован выпуск лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей для использования в дальномерах, оптоволоконных линиях связи, лазерных радарах и других оптико-электронных устройствах.

НАН Беларуси подготовила и передала Минэнерго прогноз развития энергетической системы страны на период до 2050 г., проведена оценка инженерно-геологических, гидрогеологических, сейсмотектонических и геодинамических условий района расположения Белорусской АЭС. Также разработаны модель тепломассопереноса под защитной оболочкой реакторной установки БелАЭС для анализа процессов в условиях тяжелых запроектных аварий, 3D-модель активной зоны реактора ВВЭР-1200, изготовлена партия бочек для хранения твердых радиоактивных отходов. Подготовлена стратегия в области охраны окружающей среды Беларуси на период до 2035 г. В совокупности это составляет основу для обеспечения ядерной и радиационной безопасности страны.

Ученые НАН Беларуси создали информационно-коммуникационные системы, нацеленные на дистанционное регулирование производства, сопровождение и логистику товаров, контроль территорий с помощью беспилотных средств, переход к цифровой экономике на базе технологий электронного государства. К разработанной учеными информационной системе «Электронный рецепт» подключено более 630 учреждений здравоохранения и свыше 3,1 тыс. аптек. Обеспечивается сопровождение электронными ветеринарными сертификатами движения сельскохозяйственной продукции животного происхождения по Беларуси. «Планар» совместно с Объединенным институтом машиностроения создал опытные образцы универсального аппаратно-программного комплекса управления многокоординатными системами электропривода прецизионного технологического оборудования роботизированных производств.

Ученые работают над внедрением современных космических технологий. На орбите работает Белорусский космический аппарат дистанционного зондирования Земли. Также организован

прием высококачественных снимков с российских космических аппаратов «Канопус» и еще 8 зарубежных метеорологических космических аппаратов. Проводится оперативный космический мониторинг пожаров на территории страны и сопредельных государств для МЧС, Белгидромета и др. НАН Беларуси совместно с госкорпорацией «Роскосмос» разработала и утвердила эскизный проект нового российско-белорусского космического аппарата с разрешением 0,35 м. Также готовится полет белорусского космонавта на Международную космическую станцию.

В 2022 г. в связи с экспортными ограничениями отдельных стран Национальной академией наук активизирована работа с целью замещения продукции критического импорта в интересах министерств и ведомств республики по следующим направлениям:

- технологии синтеза и оборудования для производства химикатов различного назначения;
- материалы с уникальными свойствами, изделия из них и оборудование для их производства;
- рецептура и технологии выпуска лакокрасочных материалов (двухкомпонентных, порошковых);
- системы ЧПУ и программируемые контроллеры;
- электронные компоненты системы управления двигателем внутреннего сгорания;
- программное обеспечение, микроэлектроника, робототехника.

Как отметил Председатель Президиума Национальной академии наук Беларуси В.Г. Гусаков, «мы давно работаем по импортозамещению, не только в связи с санкциями. Совсем недавно мы провели инвентаризацию наших разработок, составили большой перечень, направили его в Совет Министров, Министерство промышленности для использования. Это наша основная деятельность, чтобы наши разработки использовались во всех отраслях народного хозяйства и на предприятиях... Сегодня белорусские ученые работают активно в плане программного обеспечения, микроэлектроники, робототехники, машиностроения, аграрных технологий и др. Это все импортозамещение. И экономика без науки не может развиваться успешно и идти по инновационному пути развития» [10].

В соответствии с поручениями Совета Министров НАН Беларуси согласовала планы на 2023 и 2024 гг. Перечень задач сформирован на основании информации и предложений отраслевых

министерств и ведомств о потребности в отечественных технологиях производства компонентов критического импорта. Вместе с тем на долю Академии приходится лишь 30–35% науки страны. Большая часть научных организаций находится в самих министерствах и ведомствах, и каждая вносит свой вклад в решение поставленных задач.

Развитие науки – важнейший фактор успешной политики импортозамещающей индустриализации. Благодаря тому, что в нашей стране развивается наука, сегодня есть возможность опереться на собственные исследования, анализировать международный опыт, вырабатывать независимую, научно обоснованную, взвешенную экономическую политику в соответствии с национальными интересами. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. R. Prebisch. Commercial Policy in the Underdeveloped Countries / R. Prebisch // American Economic Review. 1959. Vol. 49. P. 251–273.
2. Мансурова С.А. Систематизация подходов к понятию «импортозамещение» и его экономическая сущность // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. // <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-podhodov-k-ponyatiyu-importozameshenie-i-ego-ekonomicheskaya-suschnost>.
3. Итуэлл Д. Импортозамещающий и экспортоориентированный экономический рост // Экономическая теория / Под ред. Итуэлла Дж., Милгейта М., Ньюмена П. – М., 2004.
4. R. Grabowski. The Failure of Import Substitution – Reality and Myth / R. Grabowski // Journal of Contemporary Asia. 1994. №24 (3). P. 297–309.
5. А. Эльянов. Глобализация и догоняющее развитие / А. Эльянов // Международная экономика и международные отношения. 2004. №1. С. 3–17.
6. Промышленная политика европейских стран: докл. Ин-та Европы, №259 / Рос. акад. наук, Ин-т Европы РАН; под ред. Н.В. Говоровой. – М.: Ин-т Европы РАН: Рус. сувенир, 2010.
7. Перечень импортозамещающей продукции // <https://economy.gov.by/ru/importoz-ru/>.
8. Минэкономики: в Беларуси по итогам года будет произведено импортозамещающей продукции на 25 млрд долларов // <https://www.sb.by/articles/minekonomiki-v-belarusi-po-itogam-goda-budet-proizvedeno-importozameshchayushchey-produktsii-na-25-m.html>.
9. Президент Беларуси провел заседание-совещание с Национальной академией наук: главные акценты // <https://www.sb.by/articles/nauka-fundament-nashey-gosudarstvennosti.html>.
10. Гусаков об импортозамещении и развитии белорусской науки в условиях санкций // <https://www.belta.by/economics/view/gusakov-o-importozameshenii-i-razvitii-beloruskoj-nauki-v-uslovijah-sanktsij-496692-2022/>.

# О проблемах развития отечественных технологий цементации конструкционных сталей



**Павел Гринчук,**  
заведующий  
отделением  
теплофизики Института  
тепло- и массообмена  
имени А.В. Лыкова  
НАН Беларуси,  
член-корреспондент



**Валерий  
Константинов,**  
заведующий кафедрой  
«Материаловедение  
в машиностроении»  
механико-  
технологического  
факультета БНТУ,  
доктор технических наук

Независимость и безопасность государства во многом определяется способностью и степенью контроля над критически важными сферами – обороной, энергетикой, продовольствием, медициной, финансами и т.д. На этом фоне зачастую забываются другие элементы, на фундаменте из которых стоят указанные столпы. С этой точки зрения крайне важна технологическая и инженерная безопасность, наличие собственных технологий полного цикла и соответствующих компе-

тенций инженерного корпуса. Классическим примером сегодняшнего дня является микроэлектроника. Но хотелось бы обратить внимание на другой аспект, не менее актуальный для Республики Беларусь – машиностроение и станкостроение. Основным конструкционным материалом в вышеуказанных отраслях была и остается сталь. Для создания долговечных и надежных машин и механизмов современных высоконагруженных агрегатов требуется упрочнение поверхности большинства ресурсопределяющих деталей. Характерными примерами таких изделий являются шлицевые валы, зубчатые колеса, крупногабаритные кольца подшипников и многие другие. Базовая технология повышения их долговечности – химико-термическая обработка (ХТО), ее основные методы – цементация, азотирование, нитроцементация.

Среди наиболее распространенных целей ХТО – повышение поверхностной твердости деталей, износостойкости, сопротивления усталости, кавитаци-

онной и коррозионной стойкости, задиристости. При этом в сердцевине изделия сохраняются высокие прочность и вязкость. Отметим, что ХТО – поверхностная технология, при которой глубина упрочненного слоя, как правило, не превышает 2 мм. Наибольшее распространение в машиностроении получила цементация – насыщение поверхностных слоев стальных деталей углеродом. Для достижения достаточной растворимости углерода и глубины проникновения обработку проводят при относительно высоких температурах 900–950 °С, что позволяет увеличить содержание углерода в поверхностном слое, получая после закалки и низкого отпуска большую поверхностную твердость, сопротивление износу и высокую ударную вязкость в сердцевине. Цементация классифицируется в зависимости от типа науглероживающей среды: в твердом карбюризаторе (например, древесный уголь); в газовом (например, смесь эндогаза и природного газа); в кипящем слое (например,

из инертных частиц графита, сжижаемых пропан-бутановой смесью); в пастах (например, композиции из сажи или древесноугольной пыли с содой и декстрином) и др. Газовая цементация считается наиболее производительной, дешевой и технологичной, позволяет автоматизировать процесс ХТО. В настоящее время газовая цементация занимает доминирующее место среди процессов цементации сталей.

Насколько развита химикотермическая обработка в промышленности Республики Беларусь? На основе данных инвентаризации печного хозяйства, проводившегося в 2009 г., можно сделать укрупненную оценку количества эксплуатирувавшихся печей для цементации и нитроцементации в 150 единиц. Сегодня это количество уменьшилось по различным причинам [1]. Но что это за печи? В большинстве случаев это либо классическая, но уже устаревшая советская шахтная печь Ц-105, либо польские агрегаты Pekat, либо немецкие Ipsen. Если производство энергоэффективных газопламенных печей и электропечей с окислительной атмосферой было освоено в Беларуси в начале 2000–2010-х гг. [1, 2], то вопрос специальных печей и генераторов атмосферы для ХТО отечественной разработки был упущен. Отметим, что определенное развитие получило направление ионно-плазменного азотирования [3, 4]. В настоящее время ведутся также перспективные работы по ионно-плазменной цементации. На тракторном заводе работает линия вакуумной цементации специальных сталей немецкой фирмы ALD. Эти процессы цементации, без-

условно, являются перспективными, однако ближайший технологический горизонт по ряду технико-экономических причин останется за традиционной газовой цементацией сталей.

Важным индикатором развития данной сферы является наличие патентов. За последние 25 лет в области ХТО в нашей стране было получено менее 20 патентов на изобретение или полезную модель. Из них половина касается составов для обмазок либо для цементации в твердом карбюризаторе, то есть улучшения старых технологий. Единичные патенты посвящены печам для ХТО, опять же улучшениям существующих конструкций, и нет ни одного, касающегося генераторов атмосферы. В то же время промышленная политика предприятий до последнего времени была ориентирована на закупку западного оборудования с отсутствием какого-либо интереса и запроса на отечественные разработки. События последнего года привели к полному прекращению поставок со стороны западных компаний оборудования для ХТО, комплектов к нему (например, специальных защищенных нагревателей типа «радиационная труба»). Прервано и обслуживание программного обеспечения агрегатов. Более того, оно может вообще дистанционно отключаться. Могут ли сохраняться иллюзии по поводу дальнейшей судьбы технологий ХТО и намерений зарубежных поставщиков соответствующего оборудования? Ситуация серьезная и требует повышенного внимания. Если не форсировать работы в этом направлении сейчас, то уже через полгода-год высока вероятность воз-

никновения технологических проблем для отдельных секторов машиностроения и станкостроения вплоть до полной остановки или общего отхода на более низкие технологические уклады. Цементирование сталей с помощью их обдува при нагреве углеродсодержащим светильным газом стало массово применяться в конце XIX в. на предприятиях сталепромышленника Круппа в Германии для получения броневых сталей [5]. Тогда это было большим технологическим скачком по сравнению с использовавшимися гарвеевскими броневыми сталями, которые неделями цементировались в засыпке древесного угля. Есть ли у нас уверенность, что, не развивая собственную научно-техническую и инженерную базу в этой области, нам не придется совершать аналогичный скачок, только в обратную сторону?

Кадровый потенциал в этой области, к сожалению, тает на глазах. Инженерные кадры по специализации 1–42 01 01–01 03 «Металловедение, технология и оборудование термической обработки металлов» готовит лишь одна кафедра (БНТУ). Вопросами технологических режимов ХТО в инициативном порядке занимаются лишь отдельные группы исследователей, число которых можно пересчитать по пальцам одной руки. Среди таких групп – кафедра «Материаловедение в машиностроении» механико-технологического факультета БНТУ [6, 7], лаборатория металлургии в машиностроении Объединенного института машиностроения НАН Беларуси [8, 9]. Лаборатория электрофизики Физико-технического института НАН Беларуси успешно



развивает направление ионной химико-термической обработки [3, 4], которое, безусловно, является новым словом в ХТО. К сожалению, данное оборудование пока достаточно узко специализировано и не решает всех задач поверхностного упрочнения сталей.

Сегодня остро стоит вопрос о создании отечественных печных агрегатов для цементации, соответствующего оснащения для генерации атмосфер (эндогенераторы, газоприготовители), автоматизированных систем управления атмосферой, например, углеродным потенциалом, программных комплексов для моделирования процессов диффузионного насыщения углеродом и другими компонентами сталей и сплавов. Отметим, что такие работы проводятся в инициативном порядке в Институте тепло- и массообмена (С.И. Шабуня, В.И. Калинин, В.В. Мартыненко, П.С. Гринчук, А.Н. Ознобишин).

Остановимся подробнее на наиболее распространенном и востребованном процессе газовой цементации. Общий принцип газовой цементации одинаков для всех вариантов работы оборудования. Необходимо получить атмосферу с большой концентрацией углеродсодержащего газа СО, определенным содержанием метана и минимальным количеством углекислого газа и паров воды. Достигается это в реакции частичного каталитического окисления углеводородного газа в каталитическом реакторе (эндогенераторе). Для ее осуществления необходим внешний подвод энергии. Химические реакции разложения метана и угарного газа на поверхности стали уже

в печи цементации являются основным источником углерода, который, диффундируя от поверхности и по межзеренным границам, осуществляет насыщение поверхностных слоев стали углеродом. Традиционное аппаратное оформление агрегата ХТО состоит из эндогенератора, газоприготовителя, в котором к эндогазу по командам системы управления углеродным потенциалом домешивается метан, и собственно печи, где идет процесс цементации при температуре 900–950 °С. Ключевой задачей системы управления процессом является поддержание концентрации основных компонентов атмосферы в заданном узком диапазоне. При этом концентрации газов меняются при взаимодействии с цементируемым металлом, а процесс протекает в неравновесных условиях. Поэтому управление цементационной атмосферой – достаточно сложная задача.

В основу систем управления составом атмосферы для традиционных систем цементации заложена концепция углеродного потенциала, под которым понимают величину, характеризующую науглероживающую способность цементирующей атмосферы и выражаемую содержанием углерода в поверхностном слое металла, находящегося в равновесии с этой атмосферой. В научно-технической литературе до сих пор нет однозначно признанной методики расчета углеродного потенциала, вследствие чего на практике часто возникают разночтения в этом вопросе (что, собственно, нужно регулировать в атмосфере?) и, соответственно, проблемы с качеством цементации. Это свидетельствует об отсутствии

нужного уровня понимания и описания данного процесса.

Часто вариантом измерения углеродного потенциала является использование показаний кислородного датчика (лямбда-зонда), помещенного в печную атмосферу. Идея этой методики опирается на реакции  $\text{CO} + \text{CO} \rightarrow 2\text{C} + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C} + \text{O}_2$ . Поскольку концентрация СО в печи практически постоянная, то, измеряя концентрацию  $\text{O}_2$ , можно оценить активность углерода. Далее приходится допустить, что стандартный кислородный датчик способен измерять ультранизкие концентрации порядка  $10^{-19}$ , и считать, что именно вторая из указанных выше реакций определяет производство углерода. Насколько точны могут быть такие измерения? Открытым остается вопрос и о реагировании рассматриваемого датчика на изменения концентрации  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  в печи. Не поддается внятому объяснению факт, почему кислородный датчик заменяет измерения компонентного состава цементационной атмосферы в традиционных системах управления. Более того, показания лямбда-зонда очень сильно зависят от состояния его поверхности. На ней постепенно и неизбежно осаждаются сажа, показания начинают «плыть», и управление становится некорректным. Зонд требует постоянной чистки, что в условиях непрерывной работы проблематично и, вообще говоря, неправильно. Отметим, что на этом принципе построено управление процессом цементации в агрегатах такого известного производителя, как Ipsen. И это рождает ряд других вопросов, в частности, какой же уровень технологий нам предлагают



и продают за очень нескромные деньги западные компании?

В ИТМО проводятся исследования проблем цементации и генерации соответствующих атмосфер. Прежде всего ведутся работы по созданию

модели насыщения поверхности металла углеродом, основанной на рассмотрении гетерогенных процессов на поверхности цементируемой стали. При этом аналогом углеродного потенциала является поверхност-

ная концентрация адсорбированных поверхностью металла атомов углерода. Эта величина не ограничена растворимостью углерода в металле и определяется балансом гомогенно-гетерогенных реакций и диффузии углерода в металл.

Экспериментальные исследования [10, 11], показали, что для генерации эндогаза в объемах порядка  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  достаточно объема катализатора около 1 л, в отличие от десятков литров катализатора в эндогенераторах традиционной конструкции. Для создания качественной цементационной атмосферы важнее не объем катализатора, а равномерность его нагрева. Этого легче достичь на малом объеме катализатора. Соответствующие технические решения отработаны в ИТМО и проверены на практике.

Второй принципиальный момент – построение системы управления по газовому анализу. В предлагаемом нами подходе используется не лямбда-зонд с описанными выше проблемами, а уже апробированная проточная система газового анализа. В данной схеме мини-компрессор откачивает газовую пробу по трубке из печи и непрерывно прокачивает ее через последовательно соединенные газоанализаторы оптического типа (для  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ). Перед этим газовая проба охлаждается и фильтруется. Такая система газового анализа намного более стабильна, информативна и достоверна с точки зрения построения системы автоматизированного управления процессом газовой цементации, легко перестраивается при изменении условий протекания процесса. Более того, решен прин-



Рис. 1. Автоматизированная система управления цементационной атмосферой двух шахтных печей СШЦ-8.16/10



Рис. 2. Колпаковая трехстендовая печь для спекания фрикционных дисков в защитной атмосфере, разработанная и изготовленная в ИТМО

ципиальный момент: на относительно недорогой элементной базе создан собственный многокомпонентный газоанализатор, который может встраиваться в системы управления процессом цементации и нитроцементации. Создана линейка экспериментальных эндогенераторов производительностью до 10 нм<sup>3</sup>/ч по продуктовому газу, на которых решен и отработан ряд принципиальных технических моментов.

Пример системы управления углеродным потенциалом, функционирующей на указанных принципах [12], показан на *рис. 1*. Она предназначена для регулирования состава цементационной атмосферы в рабочем пространстве двух шахтных печей, смонтирована и налажена на промышленном предприятии и применима для газовой цементации в большинстве существующих печей шахтного и камерного типа. Все детали, прошедшие процесс цементации с помощью данной системы, удовлетворяли техническим требованиям заказчика.

Отметим, что Институт тепло- и массообмена имеет опыт проектирования и изготовления и печного оборудования со специальными атмосферами, что важно в контексте проблемы создания собственного оборудования для ХТО. Так, для технологий спекания фрикционных дисков для автотракторной техники ранее были созданы колпаковые печи с защитными атмосферами (эндогаз, водород) (*рис. 2*).

Создание отечественной линейки оборудования для ХТО требует не только погружения в научные основы процесса, но и большого объема конструкторских изысканий,

работ по производству металлоконструкций, монтажу теплоизоляции и т.д. Научно-исследовательские работы Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси по частичному окислению углеводородных газов и разработке эффективных реакторов. К проектированию и выпуску необходимого печного и вспомогательного оборудования для ХТО активно подключилась компания «ПромТермоСистема» (termoin.by), с которой подписано долгосрочное соглашение о сотрудничестве. Для совершенствования вопросов, связанных

с режимами ХТО, необходимо привлекать исследовательские группы из профильных научных организаций, упомянутых выше. В ближайших планах – совместное создание первого полностью отечественного образца агрегата для химико-термической обработки, призванного потеснить, а в перспективе – заменить на отечественном рынке продукцию западных компаний. Главное, чтобы промышленность повернулась к отечественным разработкам и созданным инновациям лицом, а не ставила их в лист ожидания в надежде на параллельный импорт и возвращение зарубежных поставщиков. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. П. Гринчук, А. Русецкий. Модернизация парка промышленных печей // Наука и инновации. 2010. Т. 12. №94. С. 49–52.
2. П. С. Гринчук, В.В. Торопов, А.Н. Ознобишин. Экспериментальное исследование тепловых режимов работы энергоэффективных электропечей сопротивления // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2012. №1. С. 90–94.
3. М.Н. Босяков и др. Поверхностное упрочнение инструментальных сталей путем ионно-плазменного азотирования / Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов: в 2 ч. – Минск, 2013. Вып. 34, ч. 2. С. 27–37.
4. А.А. Козлов. Технология упрочнения сложнопрофильных деталей из легированных сталей методом ионного азотирования в тлеющем разряде. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГНУ «ФТИ НАН Беларуси». – Минск, 2022.
5. Brown D.K. Warrior to Dreadnought: Warship Design and Development 1860–1905. – Pen and Sword, 2010.
6. В.М. Константинов, Б.Б. Хина. Об ускорении процессов ХТО в подвижных порошковых смесях / Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск, 2015. Вып. 36. С. 262–272.
7. В.М. Константинов. Ускоренная диффузия легирующих элементов в железе при химико-термической обработке порошков во вращающемся контейнере // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2007. Т. 51. №2. С. 103–107.
8. С.Г. Сандомирский, А.Л. Валько, С.П. Руденко. Анализ влияния продолжительности цементации на эффективную толщину упрочненного слоя и магнитный параметр стали 18ХГТ после закалки // Механика машин, механизмов и материалов. 2020. №3. С. 71–77.
9. В.А. Кукареко, А.Л. Валько, А.Н. Чичин. Влияние режима нагрева конструкционных сталей при высокотемпературной цементации на величину аустенитного зерна // Актуальные вопросы машиноведения. 2017. Т. 6. С. 372–375.
10. Al-Musa, S. Shabunya, V. Martynenko, V. Kalinin. Modeling of natural gas partial oxidation in an in-house developed pilot scale catalytic reactor based on local thermodynamic equilibrium concept // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 113. P. 238–245.
11. Al-Musa, S. Shabunya, V. Martynenko, V. Kalinin. Effect of active thermal insulation on methane and carbon dioxide concentrations in the effluent of a catalytic partial oxidation reactor for natural gas conversion to synthesis gas // Chemical Engineering Journal. 2015. V. 281. P. 852–859.
12. Автоматизированная система контроля и управления газовой цементацией стальных изделий в шахтной электрической печи: патент ВУ на полезную модель №12223 / П.С. Гринчук, С.И. Шабуня, А.Н. Ознобишин, В.И. Калинин, Н.И. Столович. – Опубл. 28.02.2020.

# Инновационные технологии и промышленное оборудование для индукционного нагрева в машиностроении



**Иван Вегера,**  
начальник отдела  
Физико-технического  
института НАН Беларуси,  
кандидат технических  
наук, доцент



**Виталий Залесский,**  
директор Физико-  
технического института  
НАН Беларуси, доктор  
физико-математических  
наук, доцент

Развитие машиностроения связано с разработкой высокоэффективных процессов термического упрочнения деталей машин, претерпевающих износ, изгиб, удар и высокие контактные и знакопеременные нагрузки. В суммарном потреблении тепло- и энергоресурсов предприятиями промышленности доля производств операциями нагрева превышает 10%. Перспективным для многих деталей машиностроения, работающих на износ или контактную усталость, следует считать различные скоростные методы термического упрочнения, в том числе и поверхностного, с применением высокочастотного, индукционного, лазерного, плазменного, электронно-лучевого нагрева. Они позволяют получать на различных сталях и сплавах поверхностно-упрочненные слои толщиной от 0,1–15 мм, обладающие градиентным распределением свойств по сече-

нию, которые в полной мере отвечают условиям работы деталей. Каждый из перечисленных скоростных методов термической обработки в дополнение к экономическим факторам имеет свои достоинства и недостатки, а также сферу применения. Во многих случаях их использование целесообразно в комбинации с традиционными технологиями термической и химико-термической обработки.

Расширение области применения технологий индукционного нагрева обусловлено рядом преимуществ по сравнению с традиционными изотермическими процессами. Это прежде всего высокий КПД (до 97%) и компактность индукционных установок, позволяющих встраивать их в линии механической обработки, в том числе и роботизированные, точность и стабильность режимов, формирование на поверхности деталей термически упрочненных слоев с заданными параметрами, обеспечивающими требуемые



эксплуатационные характеристики и специальные свойства. Индукционный нагрев уменьшает или полностью исключает известные дефекты термической обработки, такие как обезуглероживание или окисление, резко снижает энергозатраты вследствие уникальной возможности локального упрочнения рабочих поверхностей, минимизирует коробление деталей при закалке, что позволяет существенно уменьшить припуски на механическую обработку. При поверхностной индукционной закалке по сравнению с цементацией в сотни раз сокращается длительность процесса, трудоемкость и стоимость упрочнения, отпадает необходимость использования природного газа, минеральных масел, асбеста, жаропрочных и жароупорных материалов, что значительно снижает выбросы в окружающую среду вредных веществ и продуктов их распада.

Однако, несмотря на все преимущества, индукционные методы нагрева в суммарном объеме термических операций занимают не более 3%. Темпы расширения области их применения сдерживаются проблемами отсутствия технологий упрочнения деталей сложной геометрической формы и выполненных из легированных или специальных сталей и сплавов. Индукционный нагрев требует научно обоснованного выбора режимов с учетом кинетики происходящих в них фазовых и структурных процессов в условиях скоростного нагрева, применительно к конкретному материалу. Весьма актуально создание методик моделирования и расчета процессов и технологий для прогнозирования конечного результата. Не менее

остро стоят вопросы замены, модернизации и разработки нового современного индукционного оборудования и нагревательных устройств для различных термических операций.

Обозначенные проблемы требуют комплексных решений: от создания новой теории современных технологий индукционного нагрева до разработки энергоэффективного оборудования с широкими технологическими возможностями, адаптированного к конкретным производственным условиям и отечественным материалам, по доступной цене, с высоким сервисом обслуживания и научным сопровождением при расширении производства.

Для решения задачи переоснащения машиностроительных производств современным оборудованием и технологиями была разработана Программа технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2010–2015 гг. С учетом имеющейся кадровой и производственной базы ФТИ НАН Беларуси стал головной организацией по научно-техническому сопровождению указанной программы. В 2012 г. в институте был создан Научно-исследовательский центр индукционных технологий и проблем термической обработки. Основными направлениями его деятельности стали исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах в условиях высокоскоростного индукционного нагрева; моделирование и расчет процессов электромагнитного и температурного влияния на материалы; создание новых энергоэффективных технологий; разработка и изготовление

полупроводниковых преобразователей частоты, автоматизированных комплексов и установок индукционного нагрева для термообработки и нагрева под деформацию металлов и сплавов, а также пайки и плавки; оснастки (индукторов); создание автоматизированных и роботизированных систем управления индукционным оборудованием; сертификация, ремонт, монтаж и наладка оборудования; обучение специалистов, в том числе и подготовка кадров высшей квалификации.

В начале 2000-х гг. машиностроительные предприятия Беларуси предпринимали робкие попытки обновления парка индукционного оборудования. Его основными поставщиками в данный период традиционно были предприятия и фирмы Российской Федерации, где имелись крупнейшие научные школы (ВНИИТВЧ, ЛЭТИ, УПИ, ТУСУР), поставлявшие кадры в области силовой электроники. К сожалению, многие из них не выдержали конкуренции и исчезли. Производство переориентировалось на частный малый бизнес с мелкосерийным выпуском полупроводниковых преобразователей и установок различного назначения. Следует отметить, что в отсутствие согласованных технических решений по унификации российского оборудования, каждая фирма (часто не обладающая компетенциями) изготавливала его по своей силовой и кинематической схеме. Вследствие того, что многие такие фирмы распались и исчезли с рынка спустя 2–3 года, а созданное ими оборудование не отвечало необходимым требованиям, пострадало немало покупателей – машиностроительных предприятий нашей страны.

После первого неудачного опыта замены они с опаской стали относиться к новому оборудованию и старались либо поддерживать имеющееся морально и технически устаревшее, либо искали возможности приобретения необходимого в странах Европейского союза, США и Китае.

Вместе с тем развитие производства новой конкурентоспособной техники невозможно без современных технологий. Совершение ошибок на этапе разработки обязательно приводит к преждевременному выходу из строя деталей или узлов и может стать причиной аварии и техногенных катастроф (рис. 1).

Выход из сложившейся ситуации для большинства предприятий машиностроительного комплекса без научно-обоснованного подхода оказался нереальной задачей, поэтому потребовалась разработка собственных теоретических и практических научных основ создания термических производств в машиностроении.

В связи с изложенным перед Физико-техническим институтом была поставлена задача: разработать линейку отечественного оборудования индукционного нагрева под различные технологические задачи и организовать специализированное производство в Республике Беларусь.

Наработанный сотрудниками Физико-технического института за последние годы опыт работы в данной сфере позволил предложить свой оригинальный алгоритм к решению этой задачи. Совокупность проведенных исследовательских и опытно-конструкторских работ по моделированию процессов индукционного нагрева и изыскания в области термокинетики скоростного нагрева сталей и сплавов позволили выработать основные требования к комплектности современного комплекса с учетом современных тенденций к расширению применения информационно-коммуникационных технологий, робототехники

и интеллектуального программного обеспечения.

Предложенный Физико-техническим институтом комплексный алгоритм разработки новых технологий скоростного индукционного нагрева и термообработки включает следующие основные этапы:

- подготовка или анализ конструкторской документации на обрабатываемые детали;
- исследование влияния скоростного нагрева на структуру и свойства материалов, из которых изготавливаются детали;
- расчет физико-механических и технологических свойств, необходимых для деталей, в зависимости от условий их работы с учетом градиентного распределения свойств по сечению;
- моделирование тепловых и электромагнитных полей, формируемых по сечению детали в зависимости от электрофизических и технологических параметров скоростного индукционного нагрева и применяемого оборудования;
- расчет оптимальных электрофизических и технологических параметров индукционного оборудования, позволяющего создать необходимый уровень свойств по сечению деталей представителей;
- разработка оснастки и оборудования, позволяющего реализовать оптимальные режимы нагрева;
- отработка опытных деталей по оптимальным режимам на изготовленном оборудовании и оснастке;
- исследование структуры и распределения свойств по сечению опытных деталей после обработки;



Рис. 1. Пример разрушенных деталей с неоптимальным слоем упрочнения, не выдержавших циклические нагрузки



- корректировка режимов или оборудования и оснастки в случае необходимости;
- создание серийной технологии скоростного индукционного нагрева;
- обработка партии деталей; стендовые или натурные их испытания в случае необходимости.

Для реализации максимального количества технологических операций на одной производственной платформе (установке) Физико-технический институт реализовал концепцию модульного построения универсальных индукционных установок, ориентированную на создание промышленного оборудования по одной из типовых схем.

**Мобильная установка,** предназначенная для одновременного нагрева всей детали или ее зоны под операции последующей деформации, термообработки, наплавки и пайки, при этом деталь не изменяет положение относительно неподвижного блока преобразователя с блоком согласования и индуктором (рис. 2).

**Универсальная установка,** в которой деталь линейно перемещается и вращается относительно неподвижного блока преобразователя с блоком согласования и индуктором (рис. 3). Ее преимущества: небольшие габариты, высокая производительность, простота в работе и обслуживании, возможность роботизации с применением промышленных манипуляторов. Индуктор в данных установках находится на уровне 1,1–1,3 м от уровня пола, что позволяет оператору работать стоя и исключает постоянные наклоны для установки и снятия детали с центров. Термо-



Рис. 2. Мобильная установка ФТИ 3.148.10

обработка деталей производится непрерывно-последовательно или одновременно. Оборудование предназначено для деталей длиной до 1 м и массой не более 50 кг.

**Универсальная установка,** в которой блок преобразователя с блоком согласования и индуктором линейно перемещаются относительно вращающейся детали (рис. 4). Ее используют для обработки крупногабаритных деталей длиной от 1 до 3 м и массой до 1500 кг. Индуктор здесь находится на уровне 0,3–0,5 м от уровня пола, уменьшая общую высоту оборудования. Детали устанавливаются грузоподъемными механизмами, а наиболее тяжелые поддерживаются люнетом. Обработка деталей малых геометрических размеров в данном случае очень неудобна, поскольку оператору приходится постоянно наклоняться для их фиксации и снятия с центров. Использование удлиненных центров



Рис. 3. Универсальная установка ФТИ 3.148.1



Рис. 4. Общий вид установки ФТИ 3.148.3



Рис. 5. Общий вид установки ФТИ 3.148.2

для увеличения рабочей высоты установки приводит к бие- нию и последующему коро- блению детали. Термообра- ботка деталей производится непрерывно-последовательным или одновременным способом.

**Универсальная установка,** в которых блоки преобразо- вателя, согласования и индук- тор перемещаются в 3 и более координатах относительно вра- щающейся или также переме- щающейся в нескольких коор- динатах детали (рис. 5). Это наиболее универсальное обо- рудование, позволяющее обра- батывать детали длиной от 0,1

до 3 м и массой до 1500 кг. В случае с маленькими дета- лями реализуется схема 2, для длинных крупногабит- ных – схема 3. Термообработка производится непрерывно- последовательным или одно- временным способом. Кроме того, данные установки позво- ляют сканировать поверхность детали в 3 осях одновременно.

В соответствии с данной кон- цепцией были спроектированы и изготовлены установки общей серией ФТИ 3.148 (рис. 2–5).

Для решения специальных задач в ФТИ НАН Беларуси налажено проектирование и изготовление комплексов индукционного нагрева под конкретного заказчика с опре- деленной номенклатурой дета- лей, которые не применяются на других видах техники. Их отличительной особенностью является компоновка, габа- риты, специфический комп- лект индукторов и оснастки, а также наличие дополни- тельного оборудования.

Так, для ОАО «БЕЛАЗ» разра- ботана технология и создан ком- плекс оборудования ФТИ 3.179 (рис. 6) поверхностного электро- магнитного упрочнения длин- номерных и сложнопольных деталей подвески автомоби- лей БЕЛАЗ грузоподъемностью

до 450 т. На нем термообра- батываются ответственные детали типа шток, наконечник, штанга, крышка длиной более 2500 мм с внутренними отвер- стиями диаметром до 300 мм, высотой более 100 мм, массой более 250 кг. К поверхностно- упрочненному слою крупнога- баритного узла предъявляются следующие требования: твер- дость поверхности до 60 HRC, глубина слоя до 6 мм (рис. 7).

В настоящее время оборудо- вание, создаваемое в Физико- техническом институте, пере- крывает большинство техноло- гических запросов современных машиностроительных предприя- тий и предназначено для нагрева металла под пластическую дефор- мацию, термообработку, плавку и пайку и может применяться в автотракторной промышлен- ности, машиностроении, станко- строении, в производстве сельско- хозяйственной техники. Основ- ные его преимущества: высокая производительность, технологиче- ская простота, высокая степень автоматизации, малая дефор- мация деталей, отсутствие ока- лины и обезуглероживания, высо- кое КПД (не менее 95%), эконо- мия электроэнергии (около 30%), низкий расход воды, экологиче- ская чистота. Полная автоматизация позволяет улучшить каче- ство нагрева и увеличить произ- водительность труда на 20%. При серийном выпуске оборудова- ние дешевле зарубежных анало- гов более чем на 50%. Основные его потребители – крупнейшие машиностроительные предприя- тия Республики Беларусь и Рос- сии. Индукционное оборудование ФТИ НАН Беларуси не уступает лучшим мировым аналогам, обе- спечивает быстрое и качественное расширение производства за счет освоения новых технологий. ■



Рис. 6. Комплекс для обработки деталей подвески ОАО «БЕЛАЗ»



Рис. 7. Номенклатура деталей подвески БЕЛАЗ, обрабатываемых на комплексе

# ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ И ИМПОРТО- ЗАМЕЩЕНИЕ

Развитие отечественной науки — важный фактор политики по импортозамещению. Ученые Национальной академии наук Беларуси успешно разрабатывают технологии и продукцию, которые приходят на смену ранее поставлявшимся в нашу страну из других государств. Представляем некоторые из наиболее важных.

## Ориентир на отечественное сырье

Особенность белорусской металлургии – отсутствие собственных сырьевых ресурсов. Практически весь металл, используемый на территории нашей страны, производится за ее пределами. Отсюда и важность рециклинга отходов вместо переработки первичного сырья. Свою лепту в разработку технологий и создание новых материалов на основе вторичных ресурсов вносят ученые и специалисты Института технологии металлов НАН Беларуси.

### Литые цинковые аноды

Пример успешного сотрудничества Института с предприятиями республики – импортозамещающая ресурсосберегающая технология изготовления литых цинковых анодов для флагмана отечественной промышленности – Белорусского металлургического завода.

Ее создание и применение позволило использовать цинковые отходы гальванических производств без ущерба качеству готового изделия, а также решило крупную практическую проблему отходов на основном производстве ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Ежегодно Институт перерабатывает более 20 т цинковых отходов, образующихся у металлургического завода.

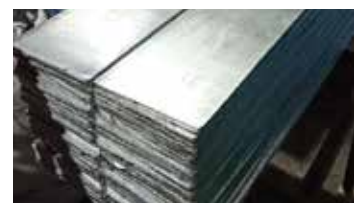


Рис. 1. Литые цинковые аноды для Белорусского металлургического завода

### Износостойкий хромистый чугун

В Институте технологии металлов ведутся исследования по улучшению эксплуатационных свойств расходных деталей центробежного дробильно-размольного оборудования, выпускаемого в республике и поставляемого за рубеж. Для таких деталей разработаны составы износостойких хромистых чугунов ИЧХ18ВН и ИЧХ18ВМ и технологии их литья в металлические



Рис. 2. Изделия из сложнолегированных чугунов



и комбинированные формы. При выплавке этих специальных чугунов используется лом легированных сталей, что позволяет снизить себестоимость изделий на 20–25%. При этом сложнолегированный чугун не подвергается термической обработке, имеет твердость 56–62 HRC и повышенную износостойкость в условиях сухого трения. Новые составы сложнолегированных чугунов – ИЧХ18ВН, ИЧХ18ВМ, 450Х18ВФМНБ и ИЧХ18Г2ВМ – имеют патентную защиту в Республике Беларусь (BY23010; 14155).

На опытном производстве ИТМ НАН Беларуси ежегодно из таких чугунов производится свыше 90 т различных деталей (около 20 наименований), поставляемых белорусским и российским предприятиям.

## Антифрикционный силумин



Рис. 3. Детали из антифрикционного силумина

Разработанный учеными Института новый, относительно легкий и износостойкий сплав на основе алюминия – антифрикционный силумин – также нашел применение в промышленности Беларуси и России. Он является перспективным материалом для замены деталей из антифрикционных бронз, работающих

в различных узлах трения. Антифрикционный силумин по ресурсу и фрикционному износу превосходит аналоги из бронз, обладает высокой коррозионной стойкостью и малочувствителен к нефти, газовому конденсату, бензину, керосину, воде и атмосферным загрязнениям.

Способы получения заготовок из силумина достаточно просты, производительны и не предусматривают введения дорогостоящих легирующих элементов. Детали из антифрикционного силумина значительно легче и дешевле, чем аналоги из бронз, и поставляются для ОАО «МАЗ», ОАО «Бобруйскагромаш», ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов», ОАО Станкозавод «Красный борец» г. Орша и др.

В рамках критического импортозамещения Институтом освоена технология получения лопаток вентиляторных градилен для химических производств. Такие лопатки выполнены из сплава АК9 (ГОСТ 1583–93) и поставляются на ОАО «Могилевхимволокно» взамен вышедших из строя импортных аналогов.

## Импортозамещение твердосплавной продукции

К освоению нового направления научных исследований ученых Института подтолкнула санкционная политика, ударившая, в частности, по рынку металлорежущего твердосплавного инструмента. У многих белорусских предприятий возникла проблема его закупки, в то время как ежегодная потребность в нем велика – более 2,2 млн шт. на общую сумму свыше 20 млн долл. Данная продукция у нас практически не производится. Объем ввозимой из Западной Европы, США, Японии, Республики Корея и других стран твердосплавной продукции составлял порядка 55%, около 30% общей потребности обеспечивает Российская Федерация, 10% – Китайская Народная Республика.

Инструмент быстро изнашивается, и каждый год на предприятиях белорусского промышленного комплекса образуется около 100 т твердосплавных отходов, которые можно и нужно перерабатывать. Имеющаяся в республике сырьевая база вторичных ресурсов позволяет создать свое, отечественное производство твердосплавного инструмента, которого ждут промышленники.

К решению задачи в 2022 г. приступили ученые Института технологии металлов, организовав отраслевую лабораторию металлургии сплавов, молодой коллектив которой занялся стратегическим вопросом импортозамещения твердосплавной продукции на основе карбида вольфрама. В настоящее время специалисты реализуют проект по созданию современных технологий производства высокоэффективного металлорежущего инструмента из готового порошка и порошка, получаемого переработкой твердосплавного лома, с последующим упрочнением изготавливаемого инструмента уникальным методом аэродинамического звукового резонансного воздействия, разработанным нашими учеными и позволяющим увеличить его ресурс службы в 4 раза.

В Институте технологии металлов идет работа по подготовке производственных площадей, закупке и оснащению участка новейшим современным технологическим импортным оборудованием стоимостью свыше 1 млн долл. для создания в могилевском регионе уникального производства отечественного инструмента, соответствующего мировым требованиям качества, под брендом «белорусский твердосплавный инструмент». ➔

# Инновационные проекты НПО «Центр»

В ОАО «НПО Центр» осуществляются проекты, призванные содействовать выпуску продукции, способной составить конкуренцию зарубежным аналогам.

## Технология и оборудование линии для получения сверхтонких модифицированных порошков минеральных материалов

В России емкость рынка микронных минеральных наполнителей только при производстве лакокрасочных и полимерных материалов – 50–60 млн долл. Промышленные предприятия нуждаются в 300–400 тыс. т этих продуктов в год. Потребление функциональных наполнителей составляет 40–50 тыс. т в год, причем подавляющая часть этого объема импортируется. К факторам, обеспечивающим конкурентоспособность подобных продуктов, можно отнести наличие собственной качественной сырьевой базы, современных технологий добычи сырья, сложившейся сбытовой сети.

Сдерживает выпуск микронных наполнителей отсутствие недорогого отечественного оборудования, позволяющего с минимальными затратами получать порошки требуемого качества. В среднем стоимость импортной линии производительностью 1–1,5 т/ч составляет 1,1 млн евро. Это увеличивает срок окупаемости оборудования до 6–8 лет – при том, что большинство российских предприятий ориентируются на срок окупаемости не более 3–4 лет.

В НПО «Центр» разработан и изготовлен высокоэффективный измельчитель с собственной системой аспирации, соответствующий аналогам ведущих западных компаний (рис. 1). В конструкции предусмотрена возможность выполнения футеровки и тел измельчения из керамических материалов для минимизации намола металла и сохранения показателя белизны.

Необходимые функциональные свойства модифицированных минеральных порошков достигаются путем формирования целевых структур

посредством «прививки» модификатора к поверхности частиц по механизму молекулярного наслаивания. Один из наиболее эффективных способов модифицирования минеральных наполнителей – совмещение операций измельчения, воздействия целевым ПАВ и механической активации. То есть для модификации порошков и придания им целевых свойств, в частности получения более тонкодисперсных фракций, а также для снижения энергозатрат создана система подачи жидкого модификатора с заданным расходом (подбираются в зависимости от типа получаемого материала) в активную зону помола.

Разработан классификатор тонкодисперсных порошков с системой аспирации в базовой комплектации, которая может видоизменяться в зависимости от свойств разделяемого материала. Ее эффективность с высокой точностью прогнозируется на основании методик, полученных в ходе проведенных ранее НИР.

Анализируя запросы, поступающие в течение нескольких лет в НПО «Центр», можно определить, в каких микропорошках нуждается рынок.

Среди них:

- *графит, который используют для изготовления плавильных тиглей, футеровочных плит, электродов, нагревательных элементов, получения*

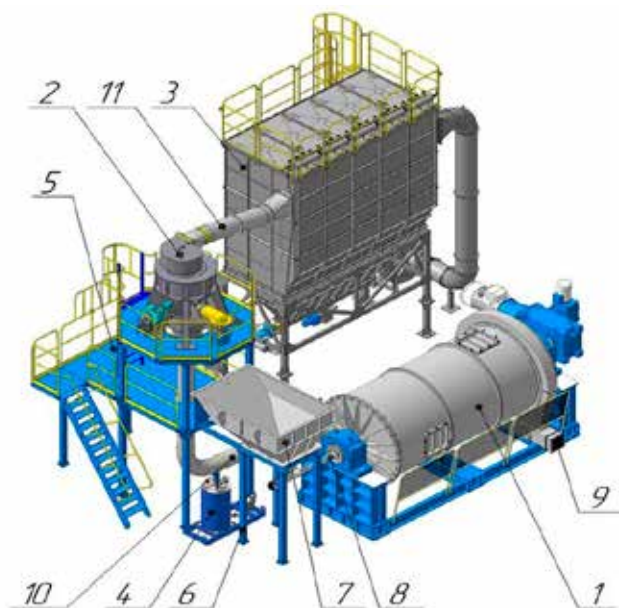


Рис. 1. Линия получения сверхтонких порошков:

- 1 – измельчитель; 2 – классификатор центробежный; 3 – система аспирации; 4 – система подачи модификатора; 5 – площадка обслуживания; 6 – рама; 7 – бункер загрузки; 8 – питатель; 9 – заслонка регулируемая; 10, 11 – воздуховод



химически активных металлов методом электролиза расплавленных соединений, твердых смазочных материалов, наполнителей пластмасс, замедлителей нейтронов в ядерных реакторах, для синтетических алмазов, изготовления тепловой защиты носовой части боеголовок баллистических ракет и возвращаемых космических аппаратов;

- мрамор, кальцит, мел с размером 98% частиц менее 10 мкм для лакокрасочной промышленности;
- пигменты для переработки пиритных огарков либо других материалов на основе оксида железа, многие из которых представляют собой отходы производств (средний размер частиц 3–3,5 мкм);
- электрокорунд для производства шлифовальных паст;
- цемент для получения быстротвердеющих составов, выпуска гидроизоляционных мастик, высокопрочных бетонов;
- тальк для лакокрасочной, целлюлозно-бумажной промышленности, в качестве наполнителей пластика (элементы корпусов автомобилей);
- борат цинка (размером частиц менее 3 мкм) – для выпуска негорючей изоляции электрических проводов и кабелей;
- молотое стекло – для производства дорожной краски с высокими износостойкостью и светотражением;
- цеолит – для фармацевтической промышленности (препарат «Смекта» и др.).

## Установка для гипергравитационной терапии

Еще одним инновационным проектом, выполняемым ОАО «НПО Центр» в области создания современной медицинской техники, является совместная с ГУО «БелМАПО» разработка установки для гипергравитационной терапии в кранио-каудальном («голова-ноги») направлении. Она используется при комплексном лечении больных и в ряде случаев позволяет избежать хирургического вмешательства, добиться более быстрого и стойкого лечебного эффекта, улучшить качество жизни пациентов. Положительное влияние на их здоровье оказывает относительно небольшая перегрузка в 3g в процессе процедуры. Идеи для создания подобного метода терапии были позаимствованы из области космической медицины СССР и применялись для послеполетного восстановления космонавтов. Установка востребована в травматологии и ортопедии, хирургии, при сосудистых патологиях, заболеваниях

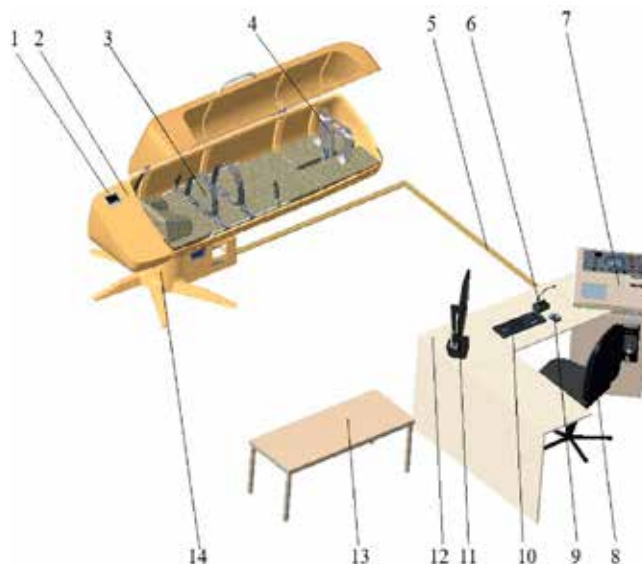


Рис. 2. План размещения установки:

1 – монитор BENEVIEW T1 MINDRAY; 2 – бокс; 3 – платформа вращающаяся; 4 – кронштейн ножного упора; 5 – кабель 4G1,5 + 2x0,75, экранированный; 6 – устройство переговорное АМ-30, дуплекс; 7 – пульт управления; 8 – стул офисный; 9 – мышь проводная USB Type-A; 10 – клавиатура проводная USB Type-A; 11 – монитор PFLIP524357EYM; 12 – стол; 13 – кушетка; 14 – привод платформы

нервной и мочеполовой системы, перспективна при некоторых недугах эндокринологического и оториноларингологического профиля.

Аппарат представляет собой платформу, установленную на привод таким образом, чтобы голова пациента находилась на оси вращения. Для удобного размещения предусмотрены медицинский матрац с подушкой эргономичной формы, регулируемые ручки, а также ремни безопасности (рис. 2). Состояние пациента контролируют разнообразные датчики и видеокамеры. Предусмотрен тренажер для совершения мышечной работы нижними конечностями (велозергометр и степпер). Установка может работать в комплексе с физиотерапевтическими аппаратами для миостимуляции или пневмокомпрессионной терапии. Расширение диагностических и терапевтических функций системы достигается благодаря дополнительному оборудованию (пульсоксиметр, тонометр и др.) и воздействию лечебными физическими факторами.

Изготовление опытного образца закончено, ведется подготовка к проведению комплексных испытаний. Установка будет выпускаться на ОАО «НПО Центр». Планируется ее внедрение в большую часть медицинских и оздоровительных учреждений Республики Беларусь. ➔

# Композитные материалы для деталей и агрегатов

В рамках программы импортозамещения Институтом механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси производится и по прямым хозяйственным договорам ежегодно поставляется предприятиям республики продукции на сумму 400–500 тыс. долл.

Это композиционные материалы на основе алифатических полиамидов и насыщенных полиэфиров (более 80 т/год) и изделия из них (более 20 тыс. экз.) для бытовой техники, электроизоляторов, деталей сельскохозяйственной и автотракторной техники, железнодорожного транспорта. Фрикционные диски, накладки, втулки, тормозные диски и колодки из безасбестовых фрикционных материалов изготавливаются для ОАО «БМЗ», ОАО «МТЗ» (около 40 тыс. шт. в год); фильтры серии «Гриф», элементы фильтрующие ЭФВП-Г-20, ремкомплекты клапанов компрессоров – для ОАО «ПО Белоруснефть».

## Безасбестовые фрикционные композиты

Институт выпускает следующие безасбестовые фрикционные композиты и изделия из них с улучшенными виброакустическими характеристиками: тормозные колодки для узлов натяжения технологического оборудования для про-



Рис. 1. Изделия с улучшенными виброакустическими характеристиками

изводства металлокорда, проволоки, кабелей и текстиля; тормоза для мини-тракторов мощностью 14 л.с.; втулки фрикционные для жаток кормоуборочной техники «Гомсельмаш»; масло-охлаждаемый тормозной диск колесных тракторов мощностью 220–350 л.с.; тормозной диск тракторов мощностью 80–150 л.с.; тормозные колодки буровых установок «DRILMEC» (рис. 1).

Используются хорошо дозируемые материалы на основе порошковых термореактивных смол, синтетических каучуков, органических и минеральных волокон, наполнителей и модификаторов, перерабатываемые в изделия методом прямого прессования на стандартном оборудовании.

По термостойкости и износостойкости материалы не уступают зарубежным образцам и дешевле их в 1,2–2 раза, на отечественном рынке аналоги отсутствуют. Применяются в машиностроении, металлургии, на транспорте (фрикционные узлы трения тракторов «Беларус», зерно- и кормоуборочных комбайнов, металлообрабатывающих станков, технологическое оборудование для производства металлокорда, для технического обустройства аэропортов, железных дорог и нефтеперерабатывающих комплексов). Потребители продукции: ОАО «БМЗ», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Сморгонский агрегатный завод», РУП «ПО «Белоруснефть», ЗАО «Танис».

## Гибкие полимерные трубки для пневмосистем автотракторной техники

Предназначены для использования на транспорте и в автомобилестроении в качестве гибких трубопроводов в пневматических тормозных системах (рис. 2). Производятся в ИММС НАН Беларуси



Рис. 2. Гибкие полимерные трубки

методом непрерывной шнековой экструзии из ударопрочного материала марки «Этамид ЭА-ЭУ».

Технические преимущества позволяют длительно работать в интервале температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$  при давлении 8–10 МПа (максимальное рабочее давление воздуха в пневмосистеме трактора составляет 1,0 МПа). Данные трубки способны полностью заменить экспортируемые аналогичные изделия из дорогостоящего полиамида 11 (Rilsan, производства фирмы «Arkema», Франция). Они могут изготавливаться в различных размерах и окрашиваться в любые цвета. Экономия валютных средств составляет более 10 тыс. долл. на 1 т готовой продукции. Среди потребителей – Минский тракторный завод, «Гомсельмаш» и др.



Рис. 3. Элемент фильтрующий «ГРИФ-Р»

## Элемент фильтрующий «ГРИФ-Р»

Разработан для комплектования сепараторов очистки попутного нефтяного газа при нефтедобыче и переработке (рис. 3). Устанавливается в сепараторах для очистки газа перед

компримированием. Особенности конструкции фильтроэлементов позволяют работать с высокой нагрузкой по жидкости, что дает возможность использовать меньше фильтроэлементов, благодаря чему достигается высокая эффективность очистки при более компактном исполнении сепарационного оборудования и снижаются расходы на обслуживание и эксплуатацию.

По сравнению с аналогами элементы «ГРИФ-Р» значительно эффективнее улавливают конденсаты, механические примеси и водомасляные аэрозоли, имеют на несколько порядков большую грязеемкость и при одинаковой стоимости служат в 2 раза дольше. Они обеспечивают замену импортной продукции (элементы марки CS604LGH13 фирмы PALL Corporation (США).

Элемент выпускается в ИММС и применяется в химической и нефтехимической промышленности на ПО «Белоруснефть» и Белорусском газоперерабатывающем заводе.

## Плитка полимерная многофункционального назначения

Изготавливается в ИММС НАН Беларуси из полимерных композитов на базе отходов текстильного корда изношенных автомобильных шин в сочетании с полимерными бытовыми отходами (рис. 4). Может использоваться для укрепления верхнего слоя почвы, в качестве напольного покрытия в помещениях промышленного и сельскохозяйственного назначения, как грунтовое покрытие для проницаемых, зеленых, мощеных поверхностей для транспорта, открытых сельскохозяйственных площадок, придворовых территорий и др. Имеет значительно меньшую стоимость по сравнению с аналогами (HÜBNER-LEE, Германия) при сопоставимых эксплуатационных характеристиках.



Рис. 4. Плитка полимерная многофункционального назначения

Технические преимущества: использование в качестве сырья полимерных отходов практически любого состава, в том числе не перерабатывающихся по традиционным технологиям (резина, текстильный корд, сшитые полимеры и др.); возможность исключения из технологического процесса сортировки отходов; высокая механическая прочность и изностоустойчивость; стойкость к воздействию климатических факторов; простой монтаж/демонтаж, не требующий специальных инструментов и навыков; низкая себестоимость; выпуск полностью из отечественного сырья.

Среди других важных импортозамещающих разработок Института, применяемых в экономике Республики Беларусь: эластичный полиэфирный композит BELAST, композиционный полимерный материал «Этамид», огнестойкие композиты электротехнического назначения для электроустановочных изделий, электроизоляторов, плафонов и др., высокомодульные композиты с повышенной концентрацией гибридных волокнистых наполнителей для натяжных и подвесных изоляторов троллейбусных и трамвайных линий, распределительных устройств и т.д. ➔



# От медных дисков — до титановых имплантатов

Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа постоянно решал и решает задачи импортозамещения в интересах Министерства промышленности Республики Беларусь, других ведомств и организаций. За последние 20 лет разработана широкая гамма фрикционных композиций, предназначенных для эксплуатации при различных условиях трения в широком диапазоне скоростей и нагрузок как в условиях масляной среды, так и в условиях сухого трения. Особое внимание при этом уделяется снижению себестоимости и получению экологически чистых фрикционных материалов на основе меди или железа, не содержащих асбеста.

По нашим технологиям организован выпуск опытных и опытно-промышленных партий изделий в виде дисков диаметром до 600 мм, секторов и колодок с толщиной рабочего слоя от 0,5 до 30 мм.

Основным потребителем данного вида продукции является холдинг МТЗ. Поставлявшуюся ранее из-за рубежа продукцию вытеснили отечественные спеченные изделия: диски 86–1802035 и 2522–1802035 переднего ведущего моста тракторов BELARUS-1025 и BELARUS-2522; диски 2022–3502015 и 320–3502040 маслоохлаждаемого тормоза тракторов BELARUS-2022 и BELARUS-1522 (рис. 1). Идут испытания опытной партии фрикционных

дисков 2522–3502015 МТЗ (до недавнего времени поставлялись австрийской фирмой «МІВА» с завода в Чехии), которые, надеемся, увенчаются успехом и постановкой на производство в нашей стране.



Рис. 1. Фрикционные диски из новых спеченных композиционных материалов

В рамках работ по программе импортозамещения разработан фрикционный материал ФЖ-12 и налажен серийный выпуск тормозной колодки стояночного тормоза №75137–3507020 и №75450–3507020–02 для автомобиля «БЕЛАЗ 75–581» и семейства автомобилей «БЕЛАЗ» грузоподъемностью 90 т (рис. 2). Институт, участвуя в тендерах на поставку колодок, предлагает лучшие условия и заключает договоры на изготовление данной продукции.



Рис. 2. Отечественные колодки стояночного тормоза автомобилей БЕЛАЗ, заменившие импортную продукцию

Ведутся перспективные работы по изготовлению фрикционных дисков в коробки передач на подземный погрузчик МоАЗ (40751–1711484–01 ЗГ), аэродромный тягач (74270–1711484), погрузчик БЕЛАЗ (78240–1711484). Их опытные партии уже переданы на ОАО «БЕЛАЗ» для испытаний.

В рамках хозяйственного договора ведутся работы с филиалом ЗАО «АТЛАНТ» – Барановичским станкостроительным заводом (БСЗ) по организации импортозамещающего производства порошковых деталей компрессора бытового холодильника (поршень, шатун, ось, клапанная пластина), которые до настоящего времени приобретались в Италии у фирмы «GKN». Специалисты Института разработали технологическую оснастку для прессования и калибрования данных деталей, изготовление которых БСЗ взял на себя (рис. 3). Производство будет освоено на площадях ОЭП Института и ПРУП МолЗПМ.



Рис. 3. Заготовки порошковых деталей «Поршень СТ.078000.163.ПЗ» компрессора холодильников «Атлант»

Совместно с холдингом «ГОМСЕЛЬМАШ» специалисты Института уже 10 лет работают над упрочнением ножей и противорежущих брусьев кормоуборочных комбайнов головного предприятия. На заводе при участии специалистов ОХП ИСЗП Института организован участок по газопламенному высокоскоростному напылению покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-10Н-01 с последующим оплавлением горел-

кой ГЗУ-4 и ТВЧ. Внедрение технологии позволило отказаться от импорта среднеуглеродистой хроммолибденовой стали, содержащей также марганец, либо готовых ножей и брусьев у зарубежных компаний («Lund International, Inc» (США)). Для повышения производительности действующего участка специалисты Института планируют проведение ОТР по автоматизации процесса упрочнения.

Совместно с РНПЦ травматологии и ортопедии в Институте порошковой металлургии организовано изготовление имплантатов титановых шейных и грудных позвонков системы CVPI (Cervical Vertebrae Porous Implant) и TVPI (Thoracic Vertebrae Porous Implant), предназначенных для лечения больных с дефектами тел шейного и грудного отделов позвоночника, а также с другими заболеваниями, локализующимися в телах позвонков (рис. 4).



Рис. 4. Имплантаты для межтелового спондилодеза

К началу 2022 г. свыше 1 тыс. пациентов в Беларуси было прооперировано с использованием отечественной импортозамещающей социально значимой продукции. ➔

Разработка методов и средств неразрушающего контроля промышленных изделий – важнейшее направление деятельности Института прикладной физики НАН Беларуси.

## Толщиномеры магнитные МТЦ

Толщиномеры магнитные МТЦ-2М, МТЦ-3 и их модификации обеспечивают измерение толщины немагнитных покрытий (краска, лак, хром, медь, цинк и др.) на стали и других ферромагнитных основаниях в диапазоне 0÷10000 мкм, а также никелевых покрытий на ферромагнитных и неферромагнитных основаниях в диапазоне 0÷150 мкм с погрешностью не более  $\pm 1,5+2\%$  от измеряемой толщины мкм (рис. 1). Отличительные особенности по сравнению с известными аналогами: автоматически исключается влияние первичного намагничивающего поля, а также электрических свойств покрытий и оснований на результаты измерений; один преобразователь обеспечивает измерения толщин немагнитных, никелевых покрытий на стали и на немагнитных основаниях без под-



# Неразрушающий контроль — гарантия надежности

стройки толщиномера под диапазоны толщин и виды покрытий; высокая разрешающая способность.

Толщиномеры обеспечивают замену импортной продукции Forsage F-4C1039 (Тайвань), Bluetechology (Dinmer) P-10, P-11 (Польша), Константа К5 (Российская Федерация).

Обеспечение возможности неразрушающего контроля толщины различных покрытий в промышленном производстве способствует повышению конкурентоспособности отечественной продукции. Ее потребители – предприятия машиностроения, энергетики и транспорта Республики Беларусь. Более тысячи толщиномеров типа МТЦ эксплуатируются на ОАО «МТЗ», ОАО «МЗКТ», ПО «БЕЛАЗ», ПРУП «МАЗ», ОАО «Амкодор», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Речицкий метизный завод», ОАО «Гомельтранснефть Дружба», ОАО «Могилевский завод «Строммашина», ОАО «МЭТЗ



Рис. 1. Толщиномер магнитный

им. Козлова», ЗАО «АТЛАНТ», ОАО «КЗТШ», ПРУП «Молодечненский завод порошковой металлургии», ЗАО «Гомельский вагоностроительный завод» и др.

## Портативные твердомеры ТПЦ-7

Линейка портативных цифровых твердомеров ТПЦ-7 предназначена для измерения твердости металлов и сплавов динамическим методом по шкалам Бринелля (НВ) и Роквелла (HRC) (рис. 2). Контроль твердости по шкале Виккерса (HV) производится путем автоматического перевода результатов измерений в основных шкалах твердости (НВ, HRC) в соответствующие единицы твердости HV. Твердомеры также позволяют оценивать предел прочности  $R_m$  путем пересчета измеренных значений твердости НВ.

Твердомеры модификации ТПЦ-7 способны определять твердость плоских и выпуклых изделий, модификаций ТПЦ-7 DL и ТПЦ-7 Т – плоских, выпуклых и вогнутых, а также в труднодоступных местах. С их помощью можно проводить измерения при произвольном направлении испытательного удара в пространстве. Корректировка показаний в зависимости от положения прибора выполняется автоматически. Твердомеры обеспечивают замену российских аналогов («Константа ТД», ТЭМП ООО НПП, МЕТ Д1/ МЕТ-Д1А).



Рис. 2. Портативные твердомеры ТПЦ-7

Твердомер измеряет твердость поверхностного слоя металла в машиностроении, металлургии, энергетике, судостроении и железнодорожном транспорте, в авиакосмической и нефтегазовой отрасли, ремонтно-монтажных и сервисных организациях и т.д. Объектами измерений могут быть сосуды давления различного назначения (реакторы, парогенераторы, коллекторы, котельные барабаны, газгольдеры и др.), роторы турбин и генераторов, трубопроводы, прокатные валки, коленчатые валы, шестерни, детали различных транспортных средств, промышленные полуфабрикаты (отливки, поковки, листы) и т.д.

Твердомеры ТПЦ-7 поставлены на ОАО «МТЗ», ОАО «Гомельтранснефть Дружба», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Мозырский авторемонтный завод», ОАО «Витебсклифт», ОАО «Калинковичский РМЗ», ОАО «Нафтан», ОАО «СтанкоГомель», БелНИИЛИТ, БЗТДиА, ООО «Бобруйск-агромаш», Минский подшипниковый завод, ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйск-агромаш», РУП «Минскэнерго», ОАО «Витебский мотороремонтный завод», ОАО «Светлогорск Химволокно» и др.

## Системы автоматического мониторинга строительных конструкций

Система автоматического мониторинга предназначена для отслеживания технического состояния потенциально опасных промышленных объектов, несущих конструкций уникальных и высотных зданий и сооружений. Включает прецизионные датчики деформаций, углов наклона, ускорений, способы и устройства их лабораторной калибровки, установки и настройки на конструкции, последующей поверки, системы цифровой передачи данных от датчиков к вычислительному серверу, программное обеспечение для обработки больших сенсорных данных и систему приближенной оценки безопасности строительных конструкций. На основании анализа данных системы мониторинга осуществляется оценка состояния конструкции, по результатам которой заказчик получает информацию о наличии опасных деформаций и рекомендации о необходимости проведения геодезических и иных исследований.

В системе мониторинга используются прецизионные сертифицированные датчики собственной разработки и других производителей, обладающие высокими точностью и стабильностью, а также сертифицированная аппаратура и технология определе-



Рис. 3. Система автоматического мониторинга на «Минск-Арене»

ния начального состояния стальных конструкций, что позволяет отслеживать их поведение в течение всего жизненного цикла. Комплексный подход к мониторингу технического состояния включает создание схмотехнического решения, изготовление и установку датчиков, разработку программного обеспечения, наладку и пуск в эксплуатацию, гарантийное и постгарантийное обслуживание системы.

Опыт применения наших систем мониторинга на знаковых объектах страны показал их высокую эффективность. Их использование позволяет своевременно обнаруживать недопустимые изменения состояния элементов конструкции, обследовать и ремонтировать, не допуская возникновения аварийных ситуаций.

Развитие строительной отрасли Беларуси и постоянное ужесточение требований к безопасности объектов предопределяют востребованность подобных разработок. В 2010–2022 гг. установлено 8 систем автоматического мониторинга (отель «Green City Hotel», аквапарк «Лебяжий», небоскреб «Парус», «Минск-Арена», «Чижовка-Арена» и др.) (рис. 3).

### Портативный радар

Радар предназначен для визуализации в реальном времени внутренней структуры строительных конструкций (преимущественно из различных марок бетона), обнаружения различных дефектов, неоднородностей (иные диэлектрические и металлические включения, арматура, сейфы, тайники) (рис. 4). Способен распознавать некоторые скрытые объекты по свойствам материала. По характеристикам не уступает зарубежным анало-



Рис. 4. Портативный радар

гам. Преимущества отечественной разработки: компактность; возможность подстройки индикации под исследуемый материал; автономная работа (без подключения к компьютеру) для первичной оценки состояния объекта и возможность экспорта полученных данных для постобработки с использованием сторонних программ для уточнения глубины залегания, размеров и возможной идентификации инородного включения в конструкции.

Портативный радар может заменить импортные радиолокаторы в гражданском строительстве для обнаружения арматуры в бетоне, оценки ее состояния, выявления пустот, трещин, оценки глубины их залегания и приблизительных геометрических размеров, а также определения толщины стен при одностороннем доступе. Потенциальными потребителями являются организации Министерства архитектуры и строительства, Министерства по чрезвычайным ситуациям, Министерства жилищно-коммунального хозяйства. Оперативный контроль структуры строительных конструкций важен для оценки их состояния, обнаружения дефектов и прогнозирования остаточного ресурса, что позволяет снизить затраты при строительстве и эксплуатации, предотвращать аварийные ситуации. ➔

# Новый импульс развития микроэлектроники

Разработки Минского НИИ радиоматериалов позволяют оснастить отечественные предприятия необходимыми системами и приборами.

## Система мониторинга метана в критичных точках автомобиля

Создана в Минском НИИ радиоматериалов по техническому заданию ОАО «МАЗ» и является аналогом системы GLD-обнаружения утечек газа фирмы TEQ SA (Швейцария). Обеспечивает мони-



Рис. 1. Система мониторинга метана в критичных точках автомобиля

торинг концентрации  $\text{CH}_4$  в моторном отсеке, в местах установки газовых баллонов, отсеке предпусковых жидкостных подогревателей двигателя, у редукторов газовых баллонов, повышает безопасность и надежность автомобильной техники и увеличивает ее экспортный потенциал (рис. 1).

Преимущества: конструкция датчиков  $\text{CH}_4$  имеет устройство нагрева и охлаждения, обеспечивающее работу при температуре окружающей среды до  $+95^\circ\text{C}$ , унифицированная аппаратная часть и стандартные протоколы обмена позволяют менять конфигурацию системы без доработки ПО и блока мониторинга. Система введена в конструкторскую документацию на автобусы МАЗ 203946, 206946, 203948, 206948. Заключен договор с предприятием на их поставку.

## Датчики вибрации с аналоговой и цифровой обработкой сигнала

Аналог датчика компании IFM Electronic (Германия) разработан и изготовлен в Институте для применения в качестве импортозамещающего изделия в составе снегогенераторов ОАО «МИСКОМ» (рис. 2).



Рис. 2. Датчики вибрации с аналоговой или цифровой обработкой сигнала

Датчик устойчив к механическим ударам однократного действия с пиковым ускорением 100 g и длительностью 0,5 сек. Степень защиты от проникновения воды, пыли и посторонних твердых частиц – IP67.

Может использоваться для создания систем онлайн-вибродиагностики узлов автомобильной техники, машин, оборудования и др.

## Индуктивные датчики конечного положения ИДКП

Серия датчиков конечного положения ИДКП предназначена для бесконтактной коммутации исполнительных устройств в составе электронных систем управления различной техники (аналог приборов немецкой фирмы





Рис. 3. Датчик конечного положения ИДКП

Baluff). Отечественные датчики (рис. 3) обладают преимуществами по надежности и долговечности за счет применения новых схемотехнических решений и материалов корпуса, а также расширенным температурным диапазоном.

В частности, по техническим требованиям ОАО «МТЗ» разработан датчик ИДКПТ в качестве импортозамещающего комплектующего изделия для использования в составе тракторов «Беларус». Уже получено заключение от заказчика о допуске на серийное производство и поставлена опытная партия в количестве 100 штук. Дальнейшее обеспечение будет вестись в соответствии с запросами ОАО «МТЗ».

Датчики закупают также ОАО «Белшина» и ОАО «Гомсельмаш».

## Бесконтактные индуктивные выключатели ВИБ М12 и ВИБ М18 (модификации индуктивных датчиков конечного положения ИДКП)

Разработаны по техническим требованиям ОАО «Станкозавод «Красный борец» и поставляются данному предприятию (рис. 4). Являются аналогами продукции немецкой фирмы Baluff.



Рис. 4. Бесконтактные индуктивные выключатели ВИБ М12 и ВИБ М18

## Датчик угла наклона

Предназначен для контроля наклона транспортных средств (тангаж, крен). Определяет положение объекта в пространстве относительно двух координатных осей и передает информацию по CAN-протоколу стандарта SAE J1939. Аналог прибора компании IFM Electronic (Германия). Потребители – МАЗ, ОАО «БЕЛАЗ», МТЗ и др.

Получено разрешение ОАО «БЕЛАЗ» на применение датчика угла наклона ДУН-15-1



Рис. 5. Датчик угла наклона

в конструкции карьерных самосвалов и спецтехнике (рис. 5).

## Датчик и блок контроля дефектности круглого стального проката

Создан в 2022 г. по инициативе ОАО «БМЗ» в качестве импортозамещающего комплектующего изделия, является инновационной продукцией и не имеет аналогов в Республике Беларусь и странах СНГ (рис. 6). Датчик представляет собой дифференциальный зонд, состоящий из двух выполненных по прецизионной технологии микрокатушек, позволяющий оперативно обнаружить (при скорости перемещения по поверхности сталь-



Рис. 6. Датчик контроля дефектности круглого стального проката

ного проката до 6 м/с) трещины стального проката, минимальные значения ширины и длины которых составляют 0,1 мм и 11,5 мм соответственно. Разработан и изготовлен специализированный стенд, формирующий однородное переменное магнитное поле с частотой 10 кГц, и стенд имитации дефектов круглого стального проката для настройки датчика по соотношению сигнал/шум и проверки его работоспособности.

Применение датчика решает проблему регулярной замены на ОАО «БМЗ» комплектующего изделия корпорации Fluke (США) стоимостью 6 тыс. евро и обеспечивает выполнение базовой технологической операции контроля качества и стабильную работу цеха стального проката ОАО «БМЗ» в условиях отсутствия поставок оригинальных импортных комплектующих.

Потребность ОАО «БМЗ» – 20 шт. в год. Уже заключен договор на поставку первой партии продукции. Разработка получит дальнейшее развитие в результате замены двух микрокатушек на микроминиатюрные преобразователи Холла белорусского производителя, что позволит расширить область применения датчика для контроля дефектности различных стальных конструкций.

### **Автоматизированный метеорологический комплекс наземных измерений с анемометром**

Комплекс предназначен для измерения метеорологических параметров атмосферы, аналог системы финской фирмы




Рис. 7. Автоматизированный метеорологический комплекс

Вайсала (Vaisala). В комплекс (рис. 7) возможна интеграция других датчиков (например, детектирования гамма-излучения, датчиков для систем точного земледелия). Потребители – ОАО «АГАТ – системы управления», ОАО «ВОЛАТАВТО», БСВТ, Белвнешспецтехника, предприятия сельскохозяйственной отрасли.

Образец метеорологического комплекса в декабре 2022 г. передан Белорусской антарктической экспедиции для проведения испытаний в условиях Антарктики.

## **Инвестиционный проект в области микроэлектроники**

На базе Минского НИИ радиоматериалов при поддержке Мингорисполкома создана отраслевая лаборатория разработки критических технологий производства микроэлектромеханических систем (МЭМС) и сверхвысокочастотных (СВЧ) электронных компонентов. Это новое для нашей страны суперсовременное направление, нацеленное на удовлетворение потребностей предприятий гражданского и оборонного секторов экономики в СВЧ-изделиях и МЭМС-устройствах, разработку и изготовление новой импортозамещающей номенклатуры критических электронных компонентов, развитие экспорта, повышение конкурентоспособности отечественной электронной техники.

Для реализации проекта потребовалось расширить имеющуюся линейку специализированного оборудования, создать производственные помещения класса не ниже ISO4 по ГОСТ ИСО 14644–1 и оснастить их высокотехнологичным оборудованием для проведения замкнутого комплекса операций фотолитографического процесса на полупроводниковых пластинах, включающих нанесение фоторезистов, сушку, экспонирование, контроль результатов, химическую обработку и ряда других технологических операций. 

Наталья Ломохова



# ФОРСАЙТ

## И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



**Александр  
Виноградов,**  
заместитель директора  
по финансам  
Общества с  
ограниченной  
ответственностью  
«Друк Сервис»

Прошедшие несколько десятилетий показали, что экономический рост любой страны определяется созданием новых инновационных технологий и производств, основой для которых выступают передовые достижения науки и техники. Очевидно, что развитие экономики Республики Беларусь должно базироваться на эффективном использовании инноваций, а также их прогнозировании.

Методологическую основу национальной инновационной и технологической стратегии составляют научно-технологические прогнозы, широко применяемые в большинстве стран, ориентированные на долгосрочный период. Основная цель их разработки состоит в увеличении конкурентных преимуществ экономики за счет внедрения инновационных технологий с учетом ограниченной сырьевой базы и имеющегося научного потенциала.

Наиболее общие подходы к инновационному и технологическому прогнозированию – изыскательский и нормативный. Первый базируется на ретроспективе развития экономической системы, при этом синтезирует тенденции прошлого и перспективные наработки научно-исследовательских работ; второй предполагает, что на будущее состояние объекта преимущественно влияют постоянно действующие факторы, определяющие основной тренд развития, отклонение от которого возникает под менее значительным воздействием случайных факторов.

Эффективный и достаточно популярный инструмент современного прогнозирования – метод форсайта, широко применяемый при создании долгосрочных прогнозов инновационного и технологического развития.

Под форсайтом (от англ. «foresight» – «взгляд в будущее») принято понимать деятельность, направленную на прогнозирование, планирование и преобразование будущего, независимо от временных рамок его осуществления [1]. По мнению экономистов М.С. Баландина, О.С. Мариева, И.В. Останина, под форсайтом подразумевается система методов экспертной оценки стратегических направлений социально-экономического и инновационного развития, выявления технологических прорывов, способных оказать воздействие на экономику и общество в средне- и долгосрочной перспективе [2]. Научный сотрудник института инновационных исследований университета Манчестера Поппер Рафаэль предлагает рассматривать форсайт как систематические попытки оценить долгосрочные перспективы науки, технологий, экономики и общества, чтобы определить стратегические направления исследований и новшества, способные принести наибольшие социально-экономические блага [3]. Согласно трактовке, предложенной экономистом В.В. Маркаровой, форсайт – форма стратегического планирования в условиях социально ориентированной рыночной экономики, основанная на прогнозном (индикативном) характере показателей и социально-диалоговых

партнерских механизмах принятия и реализации соответствующих решений [4].

Приведенные формулировки имеют общую составляющую: они охватывают такие ключевые стороны форсайта, как долгосрочное прогнозирование и установление приоритетов развития, и характеризуют его как особую технологию предвидения будущего в долгосрочной перспективе.

Несмотря на значительную схожесть с процессом прогнозирования, форсайт имеет ряд принципиальных отличий. Во-первых, если прогноз разрабатывается на определенный период времени, по истечении которого его значение сравнивается с достигнутым результатом и делается вывод о качестве предсказания, то форсайт предполагает регулярный пересмотр и корректировку ранее полученных оценок в зависимости от произошедших изменений в той сфере, которая подвергалась форсайтингу. Необходимость систематического уточнения результатов объясняется долгосрочной нацеленностью форсайта и повышением точности прогноза.

Во-вторых, форсайт представляет собой процесс коллективного предвидения. Его участниками выступают представители не только научного и экспертного сообщества, как при прогнозировании, но и общественных и гражданских объединений, бизнеса, государственных органов управления и пр. При этом возможность коммуникации и обмена мнениями между участниками – специалистами из различных областей – одна из основ форсайта, в то время как для экспертов, представляющих свои прогнозы, результат намного весомее, чем коммуникации.

Однако главное отличие двух методов заключается в их назначении и целях. Если прогноз направлен на формулировку научно обоснованных суждений о возможных состояниях в будущем некоторого объекта на основе сложившихся тенденций его развития и не предполагает единства мнений, то предвидение при форсайте сочетается с элементами активного влияния на формирование будущего, при этом его участники вырабатывают взаимоприемлемый взгляд относительно рассматриваемой тематики. Иными словами, форсайт основывается на преодолении конфликта интересов между основными участниками стратегических направлений развития путем организации постоянного взаимодействия, что необходимо для достижения согласованности в реализации инновационных целей.

Таким образом, форсайт связан с прогнозированием, но по своей сути представляет собой совершенно другое, более комплексное явление. Его

результаты включаются в систему принятия управленческих решений разного уровня – от организации до национального и международного [5].

Форсайт-технология широко известна в мировой практике. Например, в Японии в ее основу положен метод Дельфи, посредством которого каждые 5 лет дается технологический прогноз на ближайшие 30 лет. В Великобритании и Германии используется широкий спектр методов, которые применяются в различных комбинациях; в США и Франции накоплен большой опыт создания перечней критических технологий. Среди наиболее продуктивно используемых методов, кроме перечисленных, – разработка сценариев, технологическая дорожная карта и формирование экспертных панелей.

К основным точкам влияния форсайта как значимого инструмента стимулирования инновационного и технологического развития можно отнести:

- *определение перспективных зон появления новых технологий, продуктов и рынков, связанных с научно-техническими достижениями;*
- *корректировка направлений научных исследований с учетом социальных и экологических аспектов, которые объединяют различные программы при разработке долгосрочной инновационной политики;*
- *формирование запросов общества на новые продукты и технологии на основе выявления проблем и перспективных потребностей в технологиях;*
- *установление государственных приоритетов научно-исследовательских работ;*
- *определение ключевых участников инновационного процесса и их научно-технических заделов, создание баз данных исследований, интенсификация передачи знаний и технологий. Вовлечение во взаимодействие всех заинтересованных сторон, в первую очередь представителей сферы науки и промышленности, для установления новых форм передачи знаний и технологий;*
- *создание групп квалифицированных и влиятельных экспертов, включающих как представителей «чистой науки», так и бизнеса, власти, местных сообществ и потребителей, которые распространяют знания и практически могут помочь реализации инноваций;*
- *установление приоритетов для долгосрочной инновационной, технологической и научной политики, а значит, приоритетов для инвестиционных, образовательных, научных проектов.*

В ходе своего становления технология форсайта развилась в целостную концепцию, став одним из способов стимулирования творческого

потенциала индивидов и сообществ в процессе формулирования видения будущего и анализа возможностей его реализации [6]. Соответственно, при распространении результатов и идей форсайта постепенно складывается культура предвидения, привычка работы с будущим как у отдельных людей, так и у коллективов. Следует отметить, что форсайт – динамичный процесс, при котором необходимо постоянно анализировать науку и технологии будущего с учетом изменяющихся потребностей человека. В свете сказанного очевидно, что форсайт-исследования играют существенную роль в системе науки и инноваций, позволяя предприятиям скоординировать свою инновационную стратегию и сформировать более высокую культуру управления инновациями. Организация систематических попыток «заглянуть в будущее» способствует созданию более обоснованной научно-технической и инновационной политики государства, что, безусловно, важно в контексте мировой конкуренции и международного сотрудничества. Не стоит сбрасывать со счетов и такие немаловажные факторы, как развитие неформальных взаимосвязей между участниками форсайта, нахождение ими согласованного представления о ситуации в стране и регионе и как следствие – расширение коммуникации, координации и взаимопонимания между предприятиями и организациями всех уровней.

### Применение элементов форсайта в отечественных экономических стратегиях

В Республике Беларусь инновационные исследования и разработки рассматриваются в качестве ключевого фактора развития национальной экономики. В связи с этим был разработан и принят Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. (КП НТП). Он стал фундаментом для определения приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности, инновационных продуктов и услуг, а также прорывных технологий и технологий будущего [7]. Концепция данного документа представляет собой научно обоснованное представление о возможных путях прогресса нашей страны в средне- и долгосрочной перспективе под влиянием общемировых тенденций.

При создании КП НТП использовался международный опыт проведения подобных исследований, а также отраслевые планы и стратегии раз-

вития заинтересованных республиканских органов государственного управления и организаций, подчиненных правительству республики, Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» с учетом текущего состояния научно-технической сферы страны. В основу аналитического проекта был положен метод Дельфи. Предложенная методология была одобрена Коллегией Государственного комитета по науке и технологиям, межведомственной рабочей группой по разработке Комплексного прогноза научно-технического прогресса Республики Беларусь, а также прошла верификацию экспертами из Исполнительного агентства по высшему образованию, исследованиям и инновациям Румынии, Центра научно-технологического прогнозирования Института статистических исследований и экономики знаний НИУ «Высшая школа экономики» (Россия), Департамента стратегического планирования и аналитики АО «Фонд науки» (Казахстан) и Европейской экономической комиссии ООН.

К работе над КП НТП были привлечены более 140 экспертов, в том числе представители НАН Беларуси и других научных организаций, ведущих вузов страны, промышленных предприятий, инновационных компаний [8]. По результатам разработки выделены три категории объектов прогнозирования (рис. 1).

При этом в основу прогнозов развития был заложен сценарный подход, предполагающий проработку нескольких возможных путей для национальной экономики в зависимости от внешних и внутренних экономических составляющих с учетом объема ресурсов, который она способна инвестировать в высокотехнологичные производства (рис. 2).

Указанный сценарный подход позволяет устанавливать, в какие инновационные технологии или товары следует направлять инвестиции в первую очередь.

Основная цель Комплексного прогноза – достижение Республикой Беларусь уровня инновационного развития стран – лидеров региона (Восточной Европы) на основе реализации интеллектуального потенциала белорусской нации. Для ее достижения в рамках Государственной программы инновационного развития на 2021–2025 гг. предусматривается решение следующих основных задач.

**Формирование лучших в регионе Восточной Европы условий осуществления и стимулирования научно-технической и инновационной деятельности на основе имплементации передовых мировых практик.** В соответствии с этим приоритетами государственной инновационной политики являются:

- господдержка важнейших направлений научных, научно-технических и инновационных проектов, создание комплексной системы преференциальных режимов и механизмов финансирования, охватывающей все этапы инновационного цикла;
- поощрение и стимулирование изобретательства и творческой активности ученых на основе формирования полноценного рынка интеллектуальной собственности;
- ускоренное развитие инфраструктуры для работы в области науки, техники и инноваций;
- повышение роли и престижа ученых, разработчиков, рационализаторов и изобретателей, инновационного предпринимательства в качестве ключевого субъекта инновационного и социально-экономического прогресса страны.

#### Создание новых и интенсификация существующих высокотехнологичных секторов экономики.

Для решения данной задачи предусматриваются:

- реализация проектов будущего на основе коммерциализации отечественных разработок;
- стимулирование инновационного предпринимательства в высокотехнологичных отраслях;
- устранение дисбаланса в инновационном развитии г. Минска и других регионов Беларуси.

#### Использование инноваций в традиционных отраслях национальной экономики на уровне Европейского союза на основе повышения наукоемкости производств. Исходя из этого государственная инновационная политика выделяет два основных направления:

- повышение экономической привлекательности научно-технических программ;
- цифровая трансформация всех секторов национальной экономики.

**Расширение присутствия и закрепление позиций Беларуси на мировых рынках наукоемкой и высокотехнологичной продукции, что предполагает следующие действия:**

- международное научно-техническое и инновационное сотрудничество с привлече-



Рис. 1. Категории объектов прогнозирования КП НТП

нием в экономику страны технологий мирового уровня и иностранных инвестиций в научно-инновационную сферу;

- снижение зависимости экспорта отечественной высокотехнологичной и наукоемкой продукции от рынков других стран путем диверсификации номенклатуры и географической структуры экспорта.

Результатами КП НТП стали средне- и долгосрочный прогнозы. Первый из них содержит развернутую информацию об инновационных технологиях, продуктах и услугах, появление которых на рынках предполагается в 2021–2025 гг., второй – ожидаемых в период с 2026 по 2040 гг.

В средне- и долгосрочной перспективах в отраслях и регионах предстоит реализовать проекты по таким направлениям, как цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии и основанные



Рис. 2. Сценарии развития объектов прогнозирования в зависимости от доступного объема ресурсов



на них производства; биологические, химические, медицинские и фармацевтические технологии и производства; энергетика, экология и рациональное природопользование; машиностроение и инновационные материалы; агропромышленные и продовольственные технологии; обеспечение безопасности человека, общества и государства.

Наибольшим потенциалом обладают следующие сферы:

- **информационно-коммуникационные, авиакосмические и междисциплинарные технологии:** национальное электронное правительство с целью формирования цифрового государства; беспилотные летательные аппараты для доставки пассажиров и грузов; компьютерное моделирование материалов и процессов; архитектура интеллектуальных пространств: умный город, умная улица, умные дома;
- **энергетика, экология и рациональное природопользование:** исследовательский ядерный реактор и центр ядерных исследований и технологий на его базе; технологии аккумулирования энергии с использованием водорода; системы обеспечения экологической безопасности и рекультивация полигонов, свалок, территорий и акваторий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, химическими и радиоактивными веществами; системы раннего обнаружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- **инновационные материалы:** эффективные конструкционные материалы (композиты, металлы, промышленная керамика); гибкая электроника на основе 2D-материалов; 3D-биопринтинг; электропроводящие нити для создания «умного» текстиля, технологии и оборудование для аддитивного производства в различных отраслях промышленности;
- **биоинженерные, химические и медицинские технологии:** клеточные технологии для восстановления поврежденных органов и тканей; химиопрепараты для изменения активности ферментов и рецепторов, включая препараты для целевой (таргетной) терапии онкологических заболеваний; технологии создания новых лекарственных средств методами биоинформатики (компьютерный драгдизайн); клеточные технологии при трансплантации органов как альтернатива существующей иммуносупрессивной терапии;
- **агропромышленные и продовольственные технологии:** сельскохозяйственные роботы; умное сельское хозяйство; высокопродуктивные фер-

ментные препараты для повышения эффективности пищевых производств; культивируемое (клеточное) мясо, выращиваемое в питательной среде;

- **машиностроение, фотоника, микро-, опто- и СВЧ-электроника:** технология и оборудование для производства сталей и сплавов на основе электроэнергетики; дизельные двигатели современного экологического уровня (Euro-6 и выше – для автомобильного транспорта, Stage-5 и выше – для внедорожной и сельскохозяйственной техники); лазерные и электронно-лучевые, электронно-ионные, электронно-плазменные технологии; медицинские роботы (хирургические, робот-помощник для лежачих пациентов и людей с ограниченными возможностями) [9].

Разработанный Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь позволил сформировать приоритетные направления научно-инновационной деятельности, сценарные подходы к планированию развития национальной экономики, основанной на создании высокотехнологичных производств, проекты будущего, рейтинг из нескольких сотен перспективных технологий, товаров и услуг, необходимый для реализации поставленных целей. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О.А.Бородина. Форсайт-проекты как инструменты стратегического управления // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2019. №3. С. 10–19.
2. Баландина М.С. Место России в мире технологий будущего. Аналитический доклад ЦРЭИ / М.С. Баландина, О.С. Мариев, И.В. Останин. – Екатеринбург, 2009.
3. Popper R. (2008a) Foresight Methodology // Georgiou L., Cassingena H.J., Keenan M., Miles I., Popper R. The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Cheltenham, Edward Elgar. P. 44–88.
4. Маркарова В.В. Форсайт как инструмент стратегического управления инновационной деятельностью в экономических системах: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / В.В. Маркарова. – М., 2010.
5. Н.Н. Семенова. Форсайт в условиях глобализации // Наука. Инновации. Образование. 2008. Вып. 5. Февраль. С. 25–43.
6. Н.Я. Калужнова. Роль форсайта в повышении конкурентоспособности региона в «новой экономике» // Наука. Инновации. Образование. 2008. Вып. 5. Февраль. С. 271.
7. А. Шумилин, С. Щербаков, С. Шлычков. О результатах комплексного прогноза научно-технического прогресса // Наука и инновации. 2019. №12. С. 31–40.
8. С.В. Шлычков. Методологические основы разработки комплексного прогноза научно-технического прогресса Республики Беларусь / С.В. Шлычков, Н.Ф. Зеньчук, И.В. Салтанова // Новости науки и технологий. 2018. №4. С. 10–18.
9. Концепция Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. – Минск, 2020.

# ТИПОЛОГИЯ СТРАН ПО УРОВНЮ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 001.895-048.442:005.915:351.854

**Юрий Комар,**

начальник отдела планирования, экономики  
и финансов Государственного комитета по науке  
и технологиям Республики Беларусь;

[komar@gknt.gov.by](mailto:komar@gknt.gov.by)

**Андрей Белов,**

ведущий научный сотрудник сектора прогно-  
зирования, организации и управления научно-  
инновационной сферой отдела развития научно-  
инновационной сферы Центра системного анализа  
и стратегических исследований НАН Беларуси,  
кандидат социологических наук;

[belov404.net@gmail.com](mailto:belov404.net@gmail.com)

**Снежана Борейко,**

младший научный сотрудник сектора про-  
гнозирования, организации и управления  
научно-инновационной сферой отдела развития  
научно-инновационной сферы Центра системного  
анализа и стратегических исследований  
НАН Беларуси;

[snezhana.boreiko@gmail.com](mailto:snezhana.boreiko@gmail.com)

**Аннотация.** В статье анализируются показатели затрат на научные исследования и разработки. Приводится эмпирическая типология стран мира по показателям в области научно-технической и инновационной деятельности. Отмечается, что Республика Беларусь, наряду со странами ЕАЭС (за исключением Российской Федерации), входит в группу государств с низким уровнем финансового обеспечения данной сферы. Показано, что для повышения позиции в Глобальном индексе инноваций и перехода в группу государств со средним уровнем научно-технического и инновационного развития Республике Беларусь необходимо повысить наукоемкость ВВП до 1,0%, а также увеличить уровень государственных затрат на НИОК(Т)Р от ВВП до 0,45%.

**Ключевые слова:** внутренние затраты на научные исследования и разработки, Глобальный индекс инноваций, государственные расходы на НИОК(Т)Р, наукоемкость ВВП.

**Для цитирования:** Комар Ю., Белов А., Борейко С. Типология стран по уровню финансового обеспечения научной и научно-технической деятельности // Наука и инновации. 2023. №1. С. 47–52.  
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-47-52>

Одно из основных условий функционирования научной и научно-технической сфер – достаточный уровень финансирования научных исследований и разработок, главным индикатором которого является наукоемкость ВВП.

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., пороговое значение наукоемкости ВВП, обеспечивающее экономическую безопасность государства, составляет не менее 1,0% [1]. Достижение этого показателя к 2025 г. предусмотрено Программой деятельности Правительства, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь

от 24.12.2020 г. №758 и Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 29.07.2021 г. №292 [3].

Фактически наукоемкость ВВП на уровне 1,0% наблюдалась в последний раз в 1995 г. На протяжении 2009–2020 гг. она изменялась от 0,5 до 0,7%. По итогам 2020 г. общий объем внутренних затрат на научные исследования и разработки в Беларуси предварительно составил 0,55% от ВВП [4] (в 2018 г. – 0,60%, в 2019 г. – 0,58%) (рис. 1).

По затратам на науку Беларусь находится несколько выше среднего уровня – 0,45% от ВВП, характерного для стран бывшего СССР. Вместе с тем

самые низкие значения наблюдаются в республиках Средней Азии и Закавказья (не более 0,2%). Среди европейских государств бывшего СССР Беларусь по этому показателю опережает лишь Молдову (0,25%) и Украину (0,47%), уступая Латвии (0,64%), Литве (0,94%), Эстонии (1,4%) и России (0,98%).

Для стран Европейского союза средний уровень затрат на научные исследования и разработки составляет 1,62% от ВВП. Лидеры – Швейцария (3,37%), Швеция (3,31%), Австрия (3,17%), Германия (3,13%) и Дания (3,03%). Лишь 8 участников ЕС имеют показатель менее 1%. Наша страна находится на уровне Кипра (0,55%) и опережает только Румынию (0,50%).

Существенный вклад в финансирование научных исследований и разработок в европейских государствах вносят бюджетные источники. В среднем он составляет 33,4%. Для стран бывшего СССР он еще более весом: в среднем по 14 республикам – 59,7%. При этом для Беларуси, Эстонии, Латвии, Казахстана и Грузии он находится в интервале от 40 до 45%. Несмотря на его большую долю в структуре затрат, общий объем государственного финансирования науки здесь существенно ниже среднеевропейского уровня. Например, в среднем по ЕС затраты на НИОК(Т)Р из средств бюджета составляют 0,49% от ВВП. В Беларуси этот показатель в 2020 г. был всего 0,24%, а в среднем по 14 республикам бывшего СССР – 0,22%. Беларусь опережает всего 5 стран ЕС: Латвию (0,22%), Кипр (0,21%), Болгарию (0,18%), Мальту (0,18%), Румынию (0,18%). Максимальные бюджетные расходы на науку среди стран Европы наблюдаются в Австрии, Германии, Дании, Швеции, Швейцарии и Норвегии (больше 0,8% от ВВП) [6].

Отставание нашей страны от большинства государств Европы по финансовому обеспечению научной сферы предопределяет и разницу в уровне инновационного развития. Вместе с тем целевое значение

наукоемкости ВВП в размере 1,0% в настоящее время не имеет под собой достаточного экономического обоснования. Необходимым представляется изучение опыта других стран мира для определения этого показателя, что и является целью данной работы.

## Методология

Для определения обоснованного уровня наукоемкости ВВП целесообразно построить эмпирическую типологию стран мира в соответствии с показателями финансового обеспечения научной сферы. В рамках этого исследования в качестве основания для типологии используются 3 показателя.

### Наукоемкость ВВП, %.

Отражает уровень расходов на научные исследования и разработки в стране. Рассчитывается как отношение величины внутренних затрат на них к объему валового внутреннего продукта.

### Объем затрат на одного исследователя, тыс. долл. по ППС.

Числителем данного показателя является объем внутренних затрат на научные исследования и разработки. При этом для обеспечения международной сопоставимости указанная стоимостная величина выражена в тыс. долл. по паритету покупательной способности. Для определения знаменателя в международной статистике существует два подхода. В первом случае в его качестве выступает общая численность исследователей страны, а во втором – количество отработанных ими полных рабочих часов. В связи с тем, что в Республике Беларусь до 2021 г. численность исследователей в эквиваленте полных ставок не оценивалась, в рамках данной работы будет применен первый подход.

### Государственные расходы на НИОК(Т)Р, % от ВВП.

Числитель данного показателя – величина внутренних затрат на исследования и разработки, финансирование которых осуществляется за счет государственных средств. Знаменатель – объем ВВП.

При построении типологии стран мира использован иерархический кластерный анализ методом межгрупповой связи. В качестве меры расстояния применялось Евклидово расстояние.

Следует отметить, что перечисленные выше показатели различаются между собой как масштабом, так и единицами измерения, что может оказывать существенное влияние при расчете расстояния между объектами. Для исключения возможных искажений на первом этапе кластеризации все изучаемые величины были стандартизированы при помощи метода Z-оценки.



Рис. 1. Динамика уровня затрат на научные исследования и разработки [5]

Исходные данные были определены для 122 стран мира. В качестве генеральной совокупности выступили 193 государства – члена ООН [7].

Таким образом, уровень достижимости выборки составил 63,2%. При этом у стран с более значительными показателями экономического развития (для его оценки применялась классификация Всемирного банка) он более высокий [8]. В данной классификации на основе показателя валового национального дохода (ВНД) на душу населения страны делятся на четыре группы: с низким (1045 долл. или меньше), ниже среднего (от 1046 до 4095 долл.), выше среднего (от 4096 до 12 695 долл.) и высоким (12 696 долл. и более) уровнем дохода.

Как видно из табл. 1, коэффициент достижимости у групп с высоким уровнем дохода достигает 74,1%. Среди стран, не попавших в выборку, преобладают государства с малой численностью населения (Монако, Лихтенштейн, Сан-Марино). Снижение уровня достижимости в менее развитых странах в большинстве случаев обусловлено недостаточной организацией системы статистического учета, что не позволяет рассчитать искомые показатели.

Для оценки качества полученной кластерной структуры применялся метод многомерного дисперсионного анализа, где в качестве фактора выступал признак принадлежности к кластерам, а в качестве зависимых признаков – все переменные, которые лежали в основе кластеризации. Так, качество модели определялось на основе уровня объясненной дисперсии трех признаков, при этом для ее оценки применялась методика на основе следа Пилаи.

## Результаты

По итогам кластерного анализа наиболее оптимальным решением определено распределение выборки по 7 кластерам. При этом в двух из них представлено всего по одной стране – с уникальными значениями анализируемых показателей:

Катар – лидер по уровню затрат на одного исследователя: 441,1 тыс. долл., что более чем в 2 раза выше, чем в странах – лидерах научно-технического и инновационного развития, в том числе Южной Кореи. Вместе с тем численность исследователей на 1 млн жителей в Катаре оказалась невелика – 1116,2 чел. По остальным показателям Катар соответствует странам с низким уровнем научно-технического развития (научоемкость ВВП – 0,51%, государственные расходы к ВВП – 0,22%). Оценка Глобального индекса инноваций составила 30,8 (70-е место из 131 стран), что ниже значения по Беларуси;

Южная Корея – лидер научно-технического и инновационного развития. По уровню наукоемкости ВВП (4,53%) она занимает 1-е место среди 122 стран мира. Государственное финансирование науки составило 0,93% от ВВП, что также является наибольшим показателем. Уровень затрат на одного исследователя – 191,5 тыс. долл. – выше среднего значения стран с высоким уровнем. Оценка Глобального индекса инноваций по Южной Кореи – 56,1, это соответствует 10 рангу из 131 страны мира. Кроме того, здесь наблюдается наибольшее количество исследователей – 10 047,9 на 1 млн жителей.

По этим причинам Катар и Южная Корея как уникальные объекты не могут быть объединены с другими странами в один кластер и при дальнейшем анализе учитываться не будут.

Корректность выделения 7 кластеров подтверждается результатами многомерного дисперсионного анализа. В частности, принадлежность к кластеру объясняет 61,8% совокупной дисперсии признаков, лежащих в основе кластеризации. Коэффициент множественной корреляции между принадлежностью к кластеру и остальными признаками составляет 78,6. Построенная модель обладает достаточно высокой объяснительной способностью и может использоваться для описания типологических характеристик выделенных групп.

### Страны с низким уровнем научно-технического и инновационного развития.

Данный кластер самый многочисленный (67 участников). К нему относятся все страны ЕАЭС, кроме Российской Федерации, а также почти все бывшего СССР (за исключением прибалтийских) и 5 представителей ЕС (Мальта, Кипр, Латвия, Румыния и Болгария). Именно к данной группе относится Республика Беларусь (рис. 2).

Уровень доходов	Генеральная совокупность	Количество стран в выборке	%
Страны с высоким уровнем дохода	58	43	74,1
Страны с уровнем дохода выше среднего	53	34	64,2
Страны с уровнем дохода ниже среднего	54	32	59,3
Страны с низким уровнем дохода	28	13	46,4
Всего	193	122	63,2

Таблица 1. Распределение стран по уровню доходов



Страны, входящие сюда, характеризуются низкими уровнями наукоемкости ВВП – 0,28% (в Беларуси – 0,55% [4]) и государственных расходов на научную деятельность – 0,13% от ВВП (в Беларуси – 0,24%). Кроме того, для данной группы характерен небольшой объем затрат на одного исследователя – 52,9 тыс. долл. по ППС (в Беларуси – 62,2 тыс. долл.).

Стоит отметить, что средняя численность исследователей в данных государствах также мала и составляет в среднем 849,8 чел. на 1 млн жителей страны (в Беларуси – 1 780 [9]), что вместе с низким объемом затрат на одного исследователя свидетельствует о недостаточном уровне поддержки науки.

Полученные результаты согласуются с низкой оценкой стран по Глобальному индексу инноваций (ГИИ) – в среднем 28,4 (в Беларуси – 31,3) [10]. ГИИ – наиболее масштабный инструмент для определения уровня научно-технического и инновационного развития стран мира. Для расчета интегральной оценки ежегодно собираются актуальные данные, совершенствуется методология расчета составных показателей, а также проводится работа по дополнению недостающих сведений. ГИИ рассчитывается для 131 страны (в 2019 г. – для 129) на основании 80 индикаторов, в качестве которых используются показатели, характеризующие научную, научно-техническую и инновационную деятельность, а также социально-экономическое развитие.

#### Страны с высоким уровнем затрат на одного исследователя.

Характерной чертой стран данной группы является политика обеспечения высокого уровня затрат

на одного исследователя (212,0 тыс. долл. по ППС) при низком уровне научного, научно-технического и инновационного развития за счет уменьшения общего количества исследователей в стране (628,6 чел. на 1 млн жителей). Так, средний уровень наукоемкости ВВП составил всего 0,49%, объем государственного финансирования науки – 0,22% от ВВП. Средняя же оценка по Глобальному индексу инноваций – всего 27,4.

Стоит отметить, что большую часть данной группы составляют страны Африки (Ботсвана, Конго, Габон, Мали, Руанда, Танзания, Замбия), а также Мексика, Панама и Пуэрто-Рико.

#### Страны со средним уровнем научно-технического и инновационного развития.

Эта группа вторая по многочисленности (25 стран). Уровень наукоемкости ВВП государств в ней 1,02%. Для данного кластера, по сравнению с предыдущим, характерны значительно более высокие государственное финансирование научных исследований и разработок – 0,45% от ВВП (более чем в 3 раза) и уровень затрат на 1 исследователя – 72,3 тыс. долл.

Стоит отметить, что средняя численность исследователей тут также значительно выше, нежели в предыдущей группе, и составляет 4000,2 чел. на 1 млн жителей. Значение оценки по ГИИ составило 37,1.

Из стран ЕАЭС в этот кластер входит лишь Российская Федерация. Сюда также отнесены 2 страны бывшего СССР – Литва и Эстония. Представители ЕС составляют 10 из 25, наряду с такими государствами, как Новая Зеландия, Великобритания, Турция, Южно-Африканская республика и т.д.

#### Страны с высоким уровнем научно-технического и инновационного развития.

Большая часть данной группы – представители ЕС (Бельгия, Чехия, Франция, Италия, Люксембург, Нидерланды), а также Китай, Исландия, Япония и Сингапур.

По сравнению с предыдущим кластером, эти государства демонстрируют значительно более высокие значения всех показателей: наукоемкость ВВП 2,10%, уровень затрат на одного исследователя – 173,7 тыс. долл. по ППС, государственные расходы на науку – 0,59% от ВВП.

Количество исследователей на 1 млн жителей – 6276,2 чел.

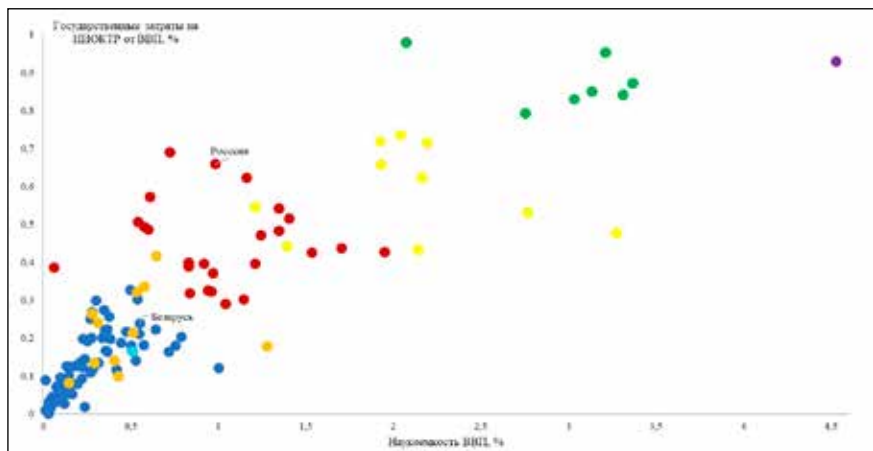


Рис. 2. Типология стран мира по уровню затрат на научно-техническую и инновационную деятельность [4]

Примечание: синим цветом обозначены страны 1-го кластера, оранжевым – 2-го кластера, красным – 3-го кластера, желтым – 4-го кластера, зеленым – 5-го кластера, бирюзовым – Катар, фиолетовым – Южная Корея

Общее значение оценки в ГИИ – 51,8, что соответствует высокому уровню научной и инновационной деятельности государства.

### Страны с очень высоким уровнем научно-технического и инновационного развития.

Данный кластер состоит из стран ЕС (Австрия, Дания, Финляндия, Германия, Швеция), а также Норвегии и Швейцарии. Все они входят в двадцатку лидеров научной, научно-технической и инновационной деятельности согласно оценке Глобального индекса инноваций (среднее значение 57,0). При этом Швейцария является лидером рейтинга с оценкой 66,1.

О значительном уровне научно-технического и инновационного развития данных стран свидетельствуют высокие показатели наукоемкости ВВП (2,98%), затрат на одного исследователя – 175,2 тыс. долл. по ППС, затрат государственных организаций на науку – 0,87% от ВВП и количество исследователей на млн жителей – 9 727,6 чел.

## Обсуждение

Как показали результаты кластерного анализа, практически все изучаемые государства распределились по пяти основным кластерам, при этом для двух характерны низкие показатели финансирования науки, еще для двух – высокие. Кроме того, достаточно крупный кластер образовали страны со средним уровнем финансового обеспечения научных исследований и разработок (табл. 2). При этом, как показывают статистические данные по каждому кластеру, уровень финансового обеспечения научной сферы во многом определяет как величину трудовых ресурсов, занятых в научной деятельности, так и состояние инновационного развития стран мира.

В частности, наблюдается прямая зависимость между наукоемкостью ВВП и численностью исследователей на 1 млн жителей. Так, в двух кластерах с низкими уровнями наукоемкости ВВП (менее 1%) и государственных расходов на НИОК(Т)Р (менее 0,4% от ВВП), средняя численность исследователей в расчете на 1 млн жителей составила не более 850 чел. Как отмечалось выше, Республика Беларусь попала именно в такой кластер. Несмотря на то, что для нашей страны характерно несколько большее количество

исследователей (1780 чел.), чем в среднем по кластеру, мы более чем в 2 раза отстаем от группы со средним уровнем финансирования науки (4000 чел.). При этом наибольшее количество исследователей характерно для кластеров с высоким уровнем финансирования научной сферы и превышает 6000 чел.

Аналогичная зависимость характерна и для рейтинговой оценки Глобального индекса инноваций. В странах с низким уровнем финансирования науки оценка ГИИ составляет около 30 баллов (в Республике Беларусь – 31,3), для группы со средним уровнем – примерно на 10 баллов выше. При этом максимальные значения (более 50 баллов) наблюдаются в странах с наукоемкостью ВВП более 2%. Выявленные закономерности свидетельствуют о том, что сложившийся уровень финансирования науки во многом предопределяет состояние научно-технического потенциала страны и показателей ее инновационного развития.

В настоящее время широко обсуждается повышение эффективности расходов на НИОК(Т)Р, однако, как показывают объективные статистические данные, в научной сфере оно имеет свои естественные границы. Анализ говорит о том, что при затратах на науку 0,5% от ВВП рассчитывать на высокие (лидерские) позиции в научно-техническом и инновационном развитии невозможно. Стоит отметить, что для своей группы результативность науки у Беларуси выше, чем в среднем по кластеру. Однако больших успехов при сохранении статус кво ожидать не приходится. Для перехода в более высокий кластер необходимо обеспечить наукоемкость ВВП как минимум на уровне 1,0%. При этом объем финансирования науки за счет государственных средств должен составлять 0,45%. Именно такие показатели в среднем характерны для групп стран со средним уровнем научно-технического и инновационного развития.

№ кластера	Количество стран	Наукоемкость ВВП, %	Объем затрат на одного исследователя, тыс. долл. США	Государственные расходы на НИОК(Т)Р к ВВП, %	Средняя численность исследователей на 1 млн жителей	Средняя оценка стран в Глобальном индексе инноваций
1	67	0,28	52,9	0,13	849,8	28,4
2	11	0,49	212,0	0,22	628,6	27,4
3	25	1,02	72,3	0,45	4 000,2	37,1
4	10	2,10	173,7	0,59	6 276,2	51,8
5	7	2,98	175,2	0,87	9 727,6	57,0

Таблица 2. Средние значения показателей научного, научно-технического и инновационного развития в странах мира

Таким образом, можно отметить корректность программных документов, действующих в Республике Беларусь в части целевого показателя по уровню наукоемкости ВВП. Вместе с тем с учетом представленных результатов целесообразно скорректировать соотношение бюджетных и внебюджетных источников финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки. Директивой Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» от 14.06.2007 г. №3 отмечается, что оптимальное процентное соотношение внебюджетных источников финансирования к бюджетным составляет 60 к 40 [11]. Однако, как показал анализ эмпирических данных, для группы стран со средним уровнем научно-технического и инновационного развития характерно соотношение 55% к 45%.

## Заключение

В статье определены 5 основных кластеров, составляющих эмпирическую типологию стран мира в сфере научной, научно-технической и инновационной деятельности. Установлено, что для двух групп характерны низкие показатели финансирования науки, для одной – их средний уровень, еще для двух – высокий. Выявлено, что Республика Беларусь наряду со странами ЕАЭС (за исключением Российской Федерации) находится в группе с низкими значениями показателей научно-технического и инновационного развития. В ходе анализа данных выявлена сильная прямая зависимость данного потенци-

ала стран от показателей финансового обеспечения научной сферы. Установлено, что в целях увеличения ее результативности и повышения позиции Республики Беларусь в Глобальном индексе инноваций целесообразным является переход нашей страны в группу со средним уровнем финансирования научной деятельности. Для этого необходимо значительно увеличить затраты на научные исследования и разработки, в том числе в 2 раза повысить наукоемкость ВВП (с 0,55% до 1,0%) и почти в 2 раза – государственные расходы на НИОК(Т)Р от ВВП (с 0,24% до 0,45%). ■

■ **Summary.** The article analyzes the indicators of expenditure on research and development. An empirical typology of the countries of the world according to the indicators in the sphere of scientific, technical and innovation activity is given. It is noted that the Republic of Belarus, along with all EAEU countries (except for the Russian Federation), is included in the group of countries with a low level of financial support of scientific and technical activity. A strong direct dependence of the scientific, technological and innovation potential of the countries on the indicators of financial support of the scientific sphere is revealed. It is concluded that in order to increase the position in the Global Innovation Index and to move into the group of countries with an average level of scientific and technological and innovation development, the Republic of Belarus must significantly increase the costs of research and development, including to increase the gross domestic expenditure on R&D of GDP to the level of at least 1.0%, and to increase the level of public spending on R&D of GDP to the level of 0.45%.

■ **Keywords:** gross domestic expenditure on R&D, Global innovation index, government expenditures on R&D, gross domestic expenditure on R&D as a percentage of GDP.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-47-52>

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Министерство экономики Республики Беларусь // <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>.
2. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.: Указ Президента Республики Беларусь, 29.07.2021 г., №292 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
3. Об утверждении Программы деятельности Правительства Республики Беларусь на период до 2025 г.: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 24.12.2020 г., №758 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
4. О научной и инновационной деятельности Республики Беларусь в 2020 г.: стат. бюллетень / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
5. Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь: Аналитический доклад о состоянии и перспективах развития науки в Республике Беларусь по итогам 2019 года // <http://www.gknt.gov.by/deyatelnost/analiticheskiy-doklad.php>.
6. UIS statistics: Science, technology and innovation // <http://data.uis.unesco.org/index.aspx?queryid=74#>.
7. United Nations: Member States // <https://www.un.org/en/about-us/member-states>.
8. THE WORLD BANK: World Bank Country and Lending Groups // <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519>.
9. Показатели оценки уровня технологического развития экономики Республики Беларусь / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь // <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realnyj-sektor-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/godovye-dannye/otsenka-urovnya-tehnologicheskogo-razvitiya-otrasley-ekonomiki/>.
10. Global Innovation Index: Analysis // <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.
11. О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства: Директива Президента Республики Беларусь, 14.06.2007 г. №3: в ред. от 30.11.2017 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

Статья поступила в редакцию 25.04.2022 г.

# ТРАНСФОРМАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СЛИЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «СТРАТЕГИИ ШТАНГИ»



**Наталья Синявская,**  
 аспирант кафедры  
 управления  
 экономическими  
 системами Академии  
 управления при  
 Президенте  
 Республики Беларусь

УДК 338(043.3)

**Аннотация.** Современная белорусская национальная модель слияний и поглощений предполагает осуществление финансового оздоровления коммерческих организаций путем консолидации платежеспособных организаций – доноров с неплатежеспособными организациями – реципиентами. В статье предлагается трансформация этой модели на основании «стратегии штанги» известного американского философа-публициста, автора теории «черных лебедей» Нассима Николаса Талеба, предполагающей применение двух разделенных крайностей. В качестве одной из них выступает концепт сохранения автономной деятельности субъектов хозяйствования, в качестве другой – применение инструмента слияний и поглощений в отношении указанных субъектов.

**Ключевые слова:** слияние, поглощение, платежеспособность, финансовое оздоровление, национальная модель, «стратегия штанги».

**Для цитирования:** Синявская Н. Трансформация национальной модели слияний и поглощений с использованием «стратегии штанги» // Наука и инновации. 2023. №1. С. 53–56. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-53-56>

Возникновение неплатежеспособности субъектов хозяйствования предполагает поиск новых инструментов и стратегий для достижения положительного финансово-экономического результата их деятельности. В настоящее время основным инструментарием по оздоровлению коммерческих организаций государственного сектора Республики Беларусь является их вхождение в состав различных интегрированных структур: холдингов, корпораций, объединений, а также слияние или присоединение одних предприятий к другим.

Такая консолидация активов в мировой экономической науке именуется как процесс слияния и поглощения, или M&A. Вместе с тем группиро-

вание различных неплатежеспособных структур вокруг донора не всегда приводит к положительному экономическому результату. Следует отметить, что функционирующая в Беларуси «продолжниковая» (условно продолжниковая) модель объединения активов субъектов хозяйствования не смогла в полной мере обеспечить выполнение функции оздоровления экономики, для осуществления которой она и была реализована.

Кроме того, некоторые современные зарубежные ученые и экономисты-практики отрицательно относятся к укрупнению даже платежеспособных коммерческих организаций. В частности, Н. Талей полагает, что создание больших конгломератов



делает их слабыми, хрупкими, в результате чего «они обречены на провал». Он полагает, что в период экономического кризиса размер имеет обратное значение: чем больше, тем уязвимее [1]. По мнению аналитика, скоро «современные гигантские корпорации отойдут в прошлое, когда ослабит их то, что они считали своей сильной стороной: масштаб – враг корпораций, и чем они больше, тем больший ущерб нанесут им «черные лебеди». Города-государства и маленькие компании, скорее всего, сохранятся и будут процветать» [1]. Представляется важным вывод Н. Талеба об эволюционном преимуществе, обусловленном размером предприятий: «В долгосрочном плане корпорации хрупки настолько, что в итоге рушатся под весом агентской проблемы, ну а менеджеры «доят» их, получают премии и бросают косточки налогоплательщикам. Корпорации обанкротились бы раньше, если бы не лоббисты: те берут государство в заложники, чтобы оно помогало корпорациям... Все, что мы получаем в итоге, – это отсрочка похорон корпорации за наш с вами счет. При этом эволюционное преимущество получают небольшие (или средних размеров) компании, которыми управляют собственники – поодиночке или семьями». Н. Талеб полагает, что решить проблему можно, лишь создав систему, внутри которой разорение одной компании не влечет за собой банкротства остальных: постоянные мелкие неудачи обеспечивают устойчивость системы в целом [1].

Известный специалист в области управления бизнес-процессами И. Адизес также считает, что организации с продолжительным жизненным циклом (он называет их «стареющими аристократическими организациями») при их консолидации не могут быть финансово успешными [2].

В связи с этим применение государством, как собственником, в качестве оздоровления исключительно механизма слияний и поглощений сопровождается так называемым «эффектом колеи», именуемым на английском языке как «path dependence», что означает «институциональная инерция». В отношении неплатежеспособных организаций он проявляется именно в применении указанного инструмента как единственно возможного способа досудебного оздоровления субъектов хозяйствования. Как отмечал декан экономического факультета МГУ профессор А. Аузан, при принятии собственником соответствующих решений следует исходить из «долготы взгляда», имея в виду длительную перспективу, и «преодоления разрыва между одноходовым расуждением и многоходовостью жизни». По его мне-

нию, одноходовость выбора «удерживает страну», препятствует принятию правильных и экономически обоснованных решений [3].

Обеспечить большую финансовую устойчивость отечественных предприятий может трансформация белорусской национальной модели слияний и поглощений с применением «стратегии штанги» Н. Талеба. Ее суть заключается в следующем.

Поскольку слияния и поглощения осуществляются под воздействием внешней и внутренней среды, то выбору необходимого вида интеграционных образований должно предшествовать обязательное проведение всестороннего исследования компании-цели (комплексный аудит), а при необходимости и компании-покупателя. В зарубежной экономической науке этот термин называется Due Diligence, или DD [4]. Обязательным объектом изучения являются финансовая, юридическая и операционная сферы деятельности коммерческой организации. Ее самую главную особенность – способность приносить прибыль характеризует финансовый аудит. Правовой (юридический) аудит выясняет, насколько работа предприятия соответствует законодательству: проверке подвергаются документы, требующие оценки не только с точки зрения нормативной правовой базы, регулирующей условия хозяйствования, но и в соответствии с трудовым, патентным, гражданским правом и пр. Операционный аудит включает «биографию» бизнеса: как менялись компания и рынок, на котором она действует, включая изменения, затронувшие конкурентов, потребителей, партнеров и пр. Анализируются организационная структура, топ-менеджмент, бизнес-процессы, описываются сильные и слабые стороны деятельности, нередко подсказывающие собственнику, как нарастить первые и устранить последние. Кроме трех основных видов комплексного аудита при необходимости проводятся дополнительные: налоговый, маркетинговый и экологический (энвайроментальный), что помогает диагностировать отрицательно влияющие на работу и стоимость компании факторы, без учета которых успешное функционирование интегрированной структуры невозможно.

Следующим этапом управления слияниями и поглощениями коммерческих организаций является определение возможности сохранения предприятия и профиля его деятельности. На основе полученной в результате аудита информации собственник принимает решение о целесообразности горизонтального слияния (консолидации фирм, занимающихся одним и тем же видом деятельно-

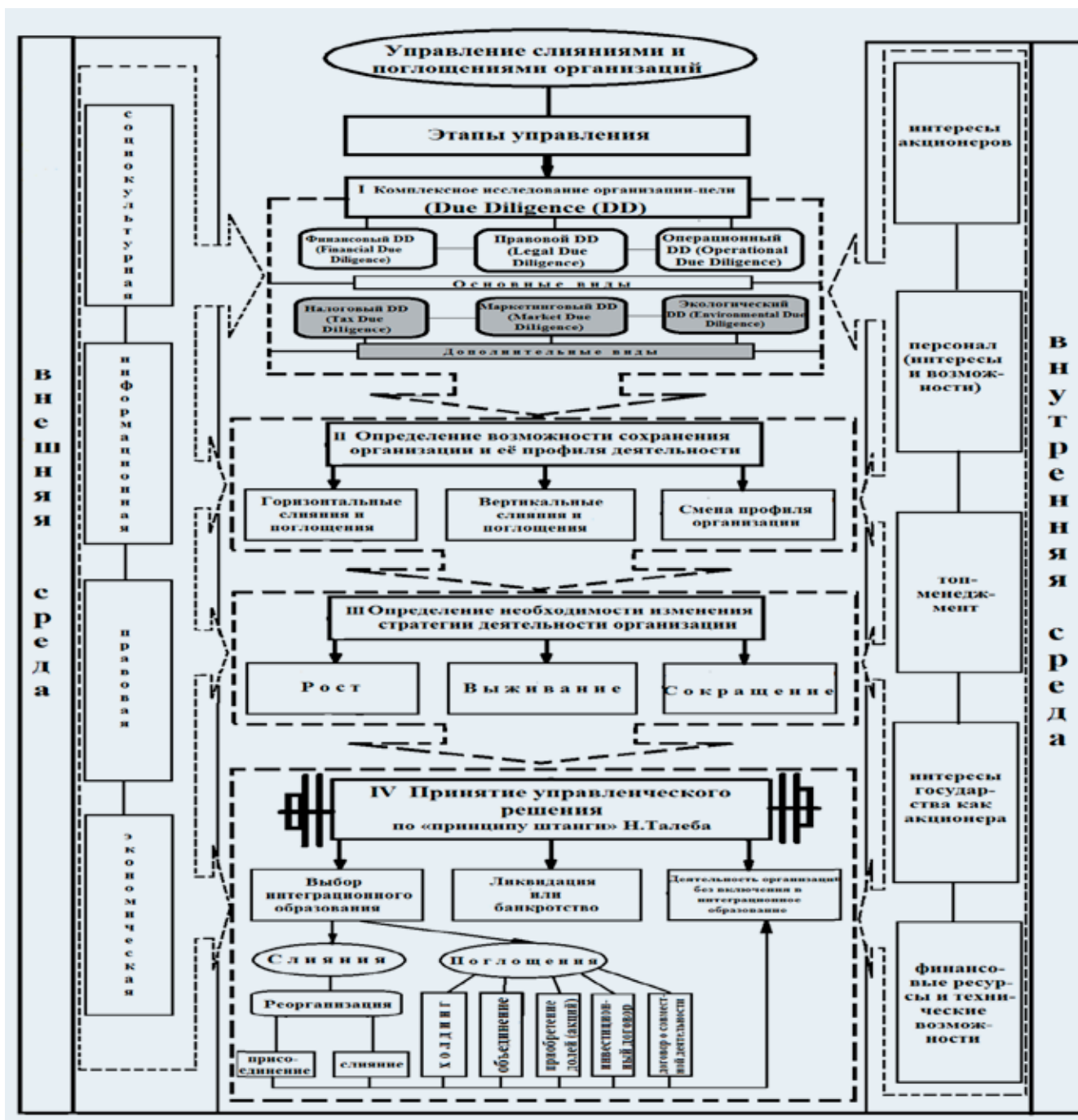


Рисунок. Трансформация модели слияний и поглощений

сти, который сохраняется); объединения субъектов различного профиля; изменения сферы бизнеса.

На третьем этапе устанавливается необходимость подготовки новой стратегии развития организации. На основании результатов, полученных в ходе проведения предыдущих этапов, делается вывод о том, какая из трех стратегий предпочтительнее: рост, выживание или сокращение. Именно этот

этап является завершающим и определяет выбор необходимости слияния и поглощения организации, либо ее сохранения без включения в интеграционное образование. Решение о ликвидации либо банкротстве принимается собственником в исключительных случаях при отсутствии иных альтернатив.

На четвертом этапе варианты управленческих решений в отношении организации-цели

основываются на двухуровневой стратегии, основанной на применении «принципа штанги» Н. Талеба [1]. Она предполагает построение «антихрупких систем» функционирования компаний, заключающихся в сочетании «разделенных крайностей» и уклонения от середины. «Штангой является все то, что сводит риск банкротства к нулю», любая двойная стратегия, в которой имеют место крайности без портящей дело середины, так или иначе результатом подобной стратегии становится благоприятная асимметрия [1].

В качестве двух разделенных крайностей в национальной модели выступают: слияния и поглощения, характеризующие укрупнение организаций и создание корпоративных образований, и деятельность компании без вхождения в какие-либо интеграции. Ликвидация или банкротство предприятия как «середина штанги» выступают исключительной, но возможной мерой, предпринимаемой с целью уменьшения потерь или недопущения краха консолидированной структуры [1].

Предлагаемая трансформационная модель предусматривает не только укрупнение коммерческих организаций, но и их выделение, разделение, а также возможность выхода из интеграционных образований в случае, если деятельность в составе последних негативно сказывается как на самой организации, так и на консолидированной структуре в целом.

Такая двухуровневая стратегия помогает максимально защититься от негативных «черных лебедей» путем предоставления возможности финансового оздоровления неплатежеспособному предприятию не только за счет консолидации, но и его автономного существования без вхождения в объединенные организации. В этом случае потенциально возможные потери одного субъекта контролируемы и менее пагубны, чем в больших структурах. Кроме того, из них в случае необходимости можно вывести наиболее ценные для государства, как собственника, организации, имеющие стратегическое значение. Графически трансформацию модели слияний и поглощений можно изобразить следующим образом (рисунки).

Эта модель характеризуется вариативностью (гибкостью) в принятии решений собственником, многовекторными способами реагирования на современные экономические вызовы, возможностью предпринять меры по обеспечению «антихрупкости» коммерческих организаций. Использование «принципа штанги» предполагает уравнивание большого риска неплатежеспособности консолидированных структур наличием «автономных» предприятий, осуществляющих аналогич-

ную деятельность. Для принятия верного решения Н. Талеб предлагает убедиться, «что вероятность неприемлемого результата (*риска банкротства*) равна нулю. Это правило ведет нас прямо к «стратегии штанги» [1].

Трансформация национальной модели слияний и поглощений по «принципу штанги» Н. Талеба позволит: снизить риски ошибочных и экономически неэффективных решений; выработать правильную стратегию дальнейшего функционирования коммерческих организаций в Республике Беларусь; осуществить выбор необходимого интеграционного образования в зависимости от предпочтений собственника в осуществлении контроля за консолидированной структурой (полного либо частичного).

В отличие от действующей практики, модель предусматривает уход от инерционности в пользу слияний и поглощений; возможность обоснования выбора иных способов сохранения предприятия (автономно, без включения в состав объединений либо его ликвидации), что позволяет не допустить большего ущерба от взаимодействия с неплатежеспособной консолидированной структурой в будущем; сформировать необходимые условия сделок по слияниям и поглощениям с учетом всех факторов. ■

■ **Summary.** The modern Belarusian national model of mergers and acquisitions involves the implementation of the financial recovery of commercial organizations by consolidating solvent organizations - donors with insolvent - recipients. Based on the "barbell strategy" of the famous publicist, the author of the "Black Swan" Nassim Taleb, it is proposed to transform this model by using the "barbell strategy". This strategy consists of applying two "separated extremes". One extreme is the preservation of the autonomous activity of organizations, the other is the use of mergers and acquisitions.

■ **Keywords:** merger, acquisition, solvency, financial recovery, national model, Due Diligence.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-53-56>

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Талеб Н.Н. Антихрупкость. Как извлечь выгоду из хаоса. – М., 2021.
2. Адизес И.К. Управление жизненным циклом корпорации // [http://loveread.ec/read\\_book.php?id=65892&p=53-56](http://loveread.ec/read_book.php?id=65892&p=53-56).
3. Аузан А.А. Институциональная экономика для чайников. – М., 2011.
4. Михеев К. DD: окончательный анализ. Что такое Due Diligence и для чего он нужен // <https://officelife.media/article/technologies/dd-final-analysis/>.

Статья поступила в редакцию 02.09.2022 г.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ

## КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ



**Екатерина Господарик,**  
завкафедрой аналитической  
экономики и эконометрики  
экономического факультета  
БГУ, кандидат экономических  
наук, доцент;  
[gospodarik@bsu.by](mailto:gospodarik@bsu.by)



**Юе Тайшань,**  
аспирант кафедры  
аналитической экономики  
и эконометрики  
экономического факультета БГУ;  
[623921863@qq.com](mailto:623921863@qq.com)

**Аннотация.** Проанализировано состояние мирового рынка строительных услуг и динамика конкурентных позиций мировых лидеров – Китая и ЕС, а также Республики Беларусь по методике [2]. Обоснованы предложения по трансферу китайского опыта цифровизации в строительный комплекс Беларуси.

**Ключевые слова:** цифровизация строительной отрасли, конкурентоспособность Республики Беларусь, экспорт строительных услуг, экономический рост.

**Для цитирования:** Господарик Е., Тайшань Ю. Цифровизация как фактор повышения конкурентоспособности строительной отрасли // Наука и инновации. 2023. №1. С. 57–61. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-57-61>

УДК 338.137.69  
JEL L74, N60, O47

Строительство – важнейший сектор экономики, обеспечивающий инвестиционный процесс любой страны. Его валовая добавленная стоимость (ВДС) в мире составляет порядка 4–5% ВВП, в Беларуси в 2010 г. этот показатель достиг 9,3%, однако на текущий момент в силу ряда причин снизился до 5,7%. Тем не менее это достаточно весомый результат, который говорит о том, что на протяжении многих лет строительному комплексу отводится первостепенная роль, особенно в части реализации программ жилищного строительства, а также экспорта услуг. Следует отметить, что трансграничные

строительные услуги в мировой торговле приблизились к 2% ВВП, а в 2010 г. даже превысили этот показатель достигнув 2,2%, однако впоследствии из-за пандемии коронавируса снизились до 1,8%. Что касается позиции Беларуси в этом сегменте, то его вклад оценивается в 6,8% ВВП от экспорта всех услуг. Последующее интенсивное развитие строительного сектора связывают с внедрением цифровых технологий. В частности, Директива №8 Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли» [1] содержит раздел, посвященный вопросам цифро-

вой трансформации, в котором определены основные мероприятия, направленные на повышение конкурентоспособности и рост ВДС. Среди приоритетных в нем выделены следующие:

- электронное взаимодействие с потенциальными заказчиками, в том числе зарубежными, с помощью интегрированных цифровых платформ;
- информационное моделирование объектов (BIM-3D), пришедшее на смену САПР, позволяющее быстро разрабатывать строительные проекты;
- цифровой мониторинг строительных проектов, включая лазерное сканирование;



Показатель, год			Беларусь	Россия	Китай	ЕС (вне ЕС)	Мир
Экспорт, млрд долл.	EXP	2010	0,154	3,487	14,495	22,290	86,164
		2019	0,735	4,786	27,962	14,887	110,865
Средне-годовой рост экспорта, %	CAGR <sup>EXP</sup>	2010					
		2019	17,15	3,33	6,79	-3,96	2,55
Доля в мировом экспорте, %	SHARE <sup>W</sup> <sub>EXP</sub>	2010	0,175	4,059	16,823	25,869	–
		2019	0,663	4,317	25,222	13,428	
Среднегодовой рост мировой экспортной доли, %	CAGR_SHARE <sup>W</sup> <sub>EXP</sub>	2010					–
		2019	14,25	0,62	4,13	-6,35	
Доля экспорта строительных услуг в экспорте услуг, %	EXP <sup>EXP</sup> <sub>EXP</sub>	2010	3,146	7,611	0,919	2,874	2,169
		2019	7,656	7,119	1,119	1,514	1,765
Экспорт на душу населения, долл.	EXP <sub>PC</sub>	2010	16,2	23,9	10,8	44,4	12,4
		2019	77,4	32,8	19,4	33,2	14,6
Импорт, млрд долл.	IMP	2010	0,163	4,602	5,072	11,791	86,184
		2019	1,065	5,524	9,277	7,157	110,865
Среднегодовой рост импорта, %	CAGR <sup>IMP</sup>	2010					
		2019	20,65	1,84	6,22	-4,87	2,55
Доля импорта в мировой торговле, %	SHARE <sup>W</sup> <sub>IMP</sub>	2010	0,189	5,341	5,866	13,684	–
		2019	0,961	4,712	8,368	6,456	
Среднегодовой рост мировой импортной доли, %	CAGR_SHARE <sup>W</sup> <sub>IMP</sub>	2010					–
		2019	17,66	-1,25	3,58	-7,24	
Импорт на душу населения, долл.	IMP <sub>PC</sub>	2010	17,2	31,3	3,8	5,7	12,5
		2019	112,1	37,8	4,2	16,0	14,3
Чистый экспорт, млрд долл.	EXP <sup>NET</sup>	2010	-0,012	-1,115	9,423	10,499	–
		2019	-0,330	-0,738	18,685	7,730	
Среднегодовой рост чистого экспорта, %	CAGR_EXP <sup>NET</sup>	2010					–
		2019	-39,29	4,04	7,09	-3,02	
Доля чистого экспорта в ВВП, %	SHARE <sup>EXP</sup> <sub>GDP</sub>	2010	-0,032	-0,07	0,16	0,07	–
		2019	-0,550	-0,05	0,13	0,05	
Коэффициент покрытия экспортом импорта	COV = $\frac{EXP}{IMP}$	2010	0,926	0,758	2,858	1,890	–
		2019	0,690	0,866	3,014	2,080	
Сравнительное преимущество	$\frac{RCA_{EXP}}{EXP} / \frac{RCA_{IMP}}{IMP}$	2010	1,450	3,294	0,425	2,325	–
		2019	4,338	4,373	0,634	0,858	
Индекс Грубеля-Ллойда	$1 - \frac{ EXP^{NET} }{EXP + IMP}$	2010	0,962	0,862	0,518	0,692	–
		2019	0,817	0,928	0,498	0,649	

Таблица 1. Методика анализа 10-летней динамики экспортно-импортных операций по строительным услугам Беларуси и России в сравнении со среднемировой нормой и мировыми лидерами – Китаем и ЕС

- создание цифровой платформы поддержки экспорта строительных услуг (правовые, таможенные, валютные вопросы, банки электронных строительных проектов и их элементов, банки нормативов) на базе интеграции сайтов, подобных budexport.by и budexportcost.by.

## Конкурентные позиции Беларуси

По международному классификатору экспорт строительных и инженеринговых услуг входит в группу BOP 6-SE-Construction – выборка за десятилетний период из базы данных за 2010 г. и 2019 г. приведена в табл. 1.

Мировой строительный рынок, согласно [3, 4], оценивается примерно в 11,5 трлн долл. (2020 г.) и 12,5 трлн долл. (2021 г.) с ростом к 2030 г. до 15–17 трлн долл. и среднегодовым приростом 3,9%, причем примерно 42% его емкости будет приходиться на Азиатско-Тихоокеанский регион (рис. 1.). Прогнозируется, что только 4 государства – Китай, Индия, США и Индонезия – обеспечат 58,3% глобального повышения. Бесспорный мировой лидер в этом сегменте – Китай. Своих успехов он достиг благодаря реализации крупномасштабных инфраструктурных объектов в разных странах, осуществляемых в рамках инициативы «Один пояс, один путь», включая высокоскоростные железные и шоссейные дороги, мосты, туннели, водные трассы, транспортно-логистические центры, гостиницы, жилье.

По объему выручки китайские строительные компании вышли в мировые лидеры, среди самых известных – China State Construction Engineering Corp, CITIC-Group.

Для белорусского строительного комплекса безусловный интерес представляет рынок стран – партнеров по ЕАЭС. Хотя его емкость невелика (рис. 2), все же некоторый потенциал есть у Казахстана и России, в частности импорт строительных услуг последней оценивается в 5,524 млн долл. (табл. 1).

Проанализируем динамику позиции Беларуси на мировом рынке строительных услуг с помощью подхода, предложенного в [2], согласно которому страна постоянно наращивает объемы экспорта в данном сегменте. Если в 2010 г. он составил 3,2% ВВП, то в 2019 г. – 7,7%, в 2020 г. – 6,8% и в 2021 г. – 7,0%. Максимум был достигнут в 2014 г. – 15,3% ВВП, или 1,22 млрд долл. Впрочем, эти показатели могли бы быть и выше за счет расширения спектра трансграничных инжиниринговых и архитектурных услуг, оказываемых дистанционно в цифровом формате. Отечественные проектировщики могли бы повторить успех программистов.

К примеру, доля строительных услуг в коммерческих услугах с 2010 по 2019 г. в Китае увеличилась с 0,919% до 1,119%, в то время как у ЕС снизилась с 2,87% до 1,514%. Россия продемонстрировала незначительный рост: с 7,116% до 7,719%.

Индекс сравнительных преимуществ RCA у строительных услуг последние 10 лет имеет неплохие показатели для стран СНГ: у России – 4,373 и Беларуси – 1,456.

Анализ экспортно-импортных операций Беларуси в сравнении со среднемировыми индикаторами и показателями мировых лидеров (Россия – 6-я страна в мире по экспорту строительных услуг) позволяет сделать следующие выводы:

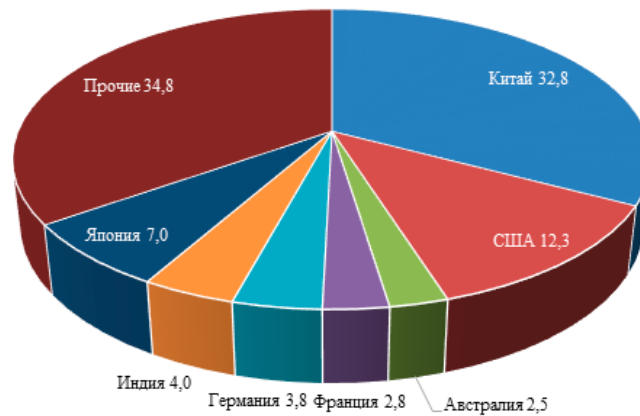


Рис. 1. Доля стран (экспорт) на мировом строительном рынке в 2020 г.

■ доля экспорта строительных услуг, оказываемых белорусскими компаниями на мировом рынке в доковидном 2019 г., достигла 0,727% ВВП против 0,175% в 2010 г. При этом она была выше доли в мировом ВВП – 0,165%. За последние 11 лет экспорт строительных услуг вырос в 3,98 раза, в то время как мировой – в 1,06. Самых высоких значений он достиг в период с 2010 по 2014 г., прежде всего за счет строительных работ в Туркменистане и Венесуэле. С 2014 г. экспорт стал падать, но тем не менее на отрезке с 2010 по 2019 г. оставался довольно высоким – 17,15% и опережал даже китайский (6,79%). Однако импорт в Беларусь был еще более значительным –

20,65%, что привело к снижению коэффициента покрытия экспорта импортом с 0,926 до 0,690 и повлекло за собой уменьшение чистого экспорта с –12 млн долл. до –330 млн долл. (впрочем, чистый экспорт Беларуси в 2021 г. увеличился до –237,0 млн долл. за счет сокращения импорта с пикового значения в 2019 г. в 1065 млн долл. до 783,1 млн долл.). Беларусь импортирует строительные услуги из России (около половины всех), Китая (от 50% до 20%), Литвы (до 2019 г.), Словении, а до 2016 г. – и Турции (около 3–5% от всех). Поэтому задача импортозамещения строительных услуг перед отраслью стоит очень остро;

■ удельный вес белорусских строителей на мировом рынке



Рис. 2. Динамика кумулятивного роста экспорта строительных услуг в мире, у Беларуси и у мировых лидеров с 2010 по 2020 г.

увеличился почти в 4 раза и существенно превысил показатель присутствия белорусской экономики в мировой. Россия также незначительно умножила свою долю. А вот участие Китая в международных строительных проектах выросло до четверти мирового рынка за счет вытеснения Евросоюза, который потерял почти 7,5%;

- **положительный чистый экспорт увеличивает ВВП страны, равно как отрицательный уменьшает, правда, на небольшую величину.** Табл. 2 показывает, что за счет превышения экспорта строительных услуг над импортом ВВП ЕС и КНР увеличились в 2019 г. на 0,05% и 0,13% соответственно, а вклад в ВВП за 10 лет уменьшился. Превышение импорта над экспортом сокращает ВВП, причем у Беларуси значительно – на 0,55%, у России – на 0,05%;
- **индекс сравнительных преимуществ (RCA) показывает, насколько мировой рынок строительных услуг предпочтителен для страны по сравнению со среднемировой нормой (долей экспорта строительных услуг в мировой торговле услугами).** Для Беларуси и России этот рынок имеет растущее преимущество, для ЕС его значение упало почти в 3 раза. Для Китая характерен рост, но он еще не превысил среднемировой уровень;
- **индекс Грубеля-Ллойда с 1971 г. широко применяется при анализе международной торговли определенным товаром или услугой и при его стремлении к 1 показывает сбалансированность экспорта с импортом, что свидетельствует, особенно при больших значе-**

ниях EXP и IMP, о сильной внутриотраслевой торговле: если страна много экспортирует и импортирует внутри анализируемой отрасли, это говорит о ее конкурентоспособности на мировом уровне;

- **наращивание белорусского экспорта строительных услуг важно для национальной экономики.** Сегодня они экспортируются в основном в Россию и Китай (около 40% от всего объема), Литву (2–3%), Словению (1–2%). До 2017 г. значительные объемы – от половины до трети всего строительного экспорта – приходились на Венесуэлу (для погашения задолженности за нефть, поставлявшуюся в Беларусь в 2011 г.) и Туркменистан (строительство калийного рудника).

Один из путей сохранения и повышения экспорта – цифровая трансформация строительной отрасли (концепция Строительство 4.0) путем электронного взаимодействия всех участников и внедрения цифровых систем управления бизнес-процессами строительных организаций.

### Вклад цифровизации в строительную отрасль

В Беларуси строительномонтажные работы занимают 52,7% в общем объеме инвестиций, и в целом на них приходится около 6% ВВП. Для измерения вклада цифровизации строительства в рост валовой добавленной стоимости и экспорта услуг следует применить 2 новых подхода [2, 5] в рамках модели роста Кобба – Дугласа. Первый основан на разграничении вклада в отрасль ИКТ- и неИКТ-инвестиций, что позволяет отдельно рассчитывать рост отрасли за счет

увеличения ИКТ-капитала. Второй базируется на построении эконометрических и других моделей оценки влияния цифровизации отрасли на совокупную факторную производительность (СФП – остаток Солоу). В частности, эконометрическая модель белорусской экономики показывает, что удельный вес импорта ИКТ-товаров на 1% за счет СФП увеличивает ВВП на 52,41 долл. на единицу затрат, а иностранных инвестиций при тех же условиях – на 3,26 долл., рост же удельного экспорта Парка высоких технологий снижается за счет СФП на 0,65 долл. выпуска, так как ПВТ не работает на внутренний рынок. Оба подхода могут быть успешно применены для оценки вклада цифровизации в ВДС строительной отрасли.

Порядка 20% инвестиций, направленных на строительство жилья, позволяют в год вводить 4–4,5 млн м<sup>2</sup> жилой площади. Такие темпы опережают рост населения, и поэтому контролируемый ООН показатель в Беларуси традиционно увеличивается, обеспечивая рост общей площади жилья на душу населения с 21,3 м<sup>2</sup> в 2000 г. до 28,3 м<sup>2</sup> в 2020 г. Эти цифры свидетельствуют о важности строительной отрасли не только для белорусской экономики, но и общества в целом.

Отметим, что из 8357 белорусских строительных организаций 7771 – частные, причем 269 из них принадлежат иностранцам. И еще одна особенность отечественного строительного комплекса – мощный промышленный сектор производства стройматериалов.

Среднегодовая численность занятых в строительной отрасли с 2010 по 2017 г. уменьшилась с 407,2 тыс. до примерно 280 тыс. человек и стабилизировалась



Год	ВВП в строительстве	Капитал (инвестиции в строительство)	Труд (среднесписочная численность занятых в строительстве)	СФП – ВДС – 0,5 Капитал – 0,5 Труд
2010	15,3	29,4	4	-1,4
2011	5,8	-38,2	-2	14,3
2012	-9,9	-13,6	-12,6	3,2
2013	7,2	20,6	0,7	-3,5
2014	-1,3	20,8	-3,8	-9,8
2015	-10,2	-49,6	-10,6	19,9
2016	-15,8	-61,2	-12,7	21,1
2017	-4,6	2,3	-8,2	-2,3
2018	4,8	39,4	-1,4	-12,7
2019	3,8	14,4	1,0	-3,9
2020	-0,1	-3,3	-1,3	2,2

Таблица 2. Годовой рост ВДС и его факторов в строительстве Беларуси, %

на этом уровне, что свидетельствует о значительном повышении производительности труда.

Для применения в строительной отрасли изложенных подходов измерения прироста ВДС за счет цифровизации рассчитаем темпы роста основных факторов (табл. 2).

Следует отметить, что анализируемый период для строительного сектора Беларуси был неудачным: наблюдалась высокая волатильность инвестиций, что привело к высокой волатильности СФП. Тем не менее анализ эконометрических моделей влияния цифровизации на СФП строительной отрасли показал, что цифровая трансформация повышает рост СФП на 1–2% и в итоге увеличивает экспорт на 2–3%, сокращает импорт, обеспечивает положительный чистый экспорт.

Исходя из того, что цифровизация увеличивает ВДС отрасли, можно рассчитать его прогнозные показатели. При планировании экспортной деятельности строительных организаций следует ориентироваться на наиболее емкие мировые рынки ключевых подотраслей (база данных ENR 2020 Top 250 по доходам 250 крупнейших международных строительных компаний), среди них строительство:

- *транспортной инфраструктуры (около 140 млрд долл.);*
- *жилищное и гражданское (около 120 млрд долл.);*
- *объектов топливного комплекса (около 79 млрд долл.);*
- *энергетическое (около 50 млрд долл.);*
- *производственное (около 10–15 млрд долл.).*

Большой опыт и компетенции белорусских строителей позволяют им быть конкурентоспособными в нише жилищного и гражданского строительства.

Высокая значимость информационно-аналитического сопровождения внешнеэкономической строительной деятельности требует создания в стране цифровой платформы B2B «Международное строительство», оказывающей содействие поиску заказов за рубежом.

По примеру Китая белорусским строительным компаниям для работы за границей необходимы льготные кредиты, налоговые преференции, а инжиниринговым – возможность вступать в ПВТ (расширение видов деятельности в Декрете о ПВТ).

В страны-импортеры белорусской строительной продукции следует продвигать и компании как имеющие опыт работы с отечественными стройматериалами.

Главное направление роста экспорта строительных услуг в текущих условиях – это участие в крупных российских инфраструктурных проектах типа строительства космодрома. ■

■ **Summary.** The state of the global construction services market and the dynamics of the competitive positions of world leaders – China and the EU, as well as the Republic of Belarus according to the methodology were analyzed. Proposals for the transfer of Chinese experience in digitalization of the construction complex of Belarus are justified.

■ **Keywords:** digitalization of the construction industry, competitiveness of the Republic of Belarus, export of construction services, economic growth.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-57-61>

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О приоритетных направлениях развития строительной отрасли: Директива Президента Республики Беларусь №8 от 04.03.2019 г. // <https://president.gov.by/ru/documents/direktiva-8-ot-4-marta-2019-g-20630>.
2. Ковалев М.М. Анализ динамики конкурентных позиций секторов национальной экономики на мировых рынках / М.М. Ковалев, А.А. Королева, Тан Цзянь // Экономика. 2022. №1. С. 4–10.
3. Global Construction 2030 / A Global Forecast for the Construction Industry to 2030 – Oxford Economics & – 2020 & // <https://www.oxfordeconomics.com/resource/future-of-construction/#:~:text=G%20construction%20output%20in%202020,growth%20and%20recovery%20from%20COVID>.
4. Future of Construction & A global Forecast for Construction to 2030. – Marsh, G. Carpenter, Oxford Economics. – 2021 // [https://resources.oxfordeconomics.com/hubfs/Future%20of%20Construction\\_Full%20Report\\_FINAL.pdf](https://resources.oxfordeconomics.com/hubfs/Future%20of%20Construction_Full%20Report_FINAL.pdf).
5. Li R., Gospodarik C.G. The Impact of Digital Economy on Economic Growth Based on Pearson Correlation Test Analysis. In: J. Jansen B., Liang H., Ye J. (eds) International Conference on Cognitive based Information Processing and Applications (CIPA 2021). Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 85. Springer, Singapore // [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5854-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5854-9_3).
6. Манин П. Топ-10 технологий для цифровизации строительства в России 2021 // [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=21855](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21855).
7. И.В. Мальцевич. Цифровизация строительной отрасли Республики Беларусь как важнейший фактор роста ее конкурентоспособности / И.В. Мальцевич // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2021. №4. С. 55–66.

Статья поступила в редакцию 15.09.2022 г.



# ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И БЕСПИЛОТНЫЕ АВТОМОБИЛИ: ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ



**Владимир Савченко,**  
начальник НИЦ  
«Бортовые системы  
управления мобильных  
машин» Объединенного  
института  
машиностроения  
НАН Беларуси, кандидат  
технических наук,  
доцент



**Сергей Поддубко,**  
генеральный директор  
Объединенного  
института  
машиностроения  
НАН Беларуси, кандидат  
технических наук,  
доцент

## Часть 2

### Проблема передачи управления водителю в ВАС

Поиск путей и разработка методов передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах (ВАС) сегодня находятся на исследовательской стадии [1]. Известно, что с ростом автоматизации во всех классах систем «человек-машина» появляется все больше и больше монотонных фрагментов в алгоритмах деятельности человека-оператора, которые оказывают негативное воздействие на их штатное выполнение, прежде всего уменьшают текущую осведомленность об интегральной ситуационной обстановке (что сказывается на адекватности оценки динамики ее развития) и увеличивают время реакций человека при возникновении потребности в экстренном действии, что непосредственно влияет на безопасность функционирования данных систем.

Например, применение адаптивного круиз-контроля Adaptive Cruise Control (ACC) приводит, по сравнению с ручным вождением, к относительно небольшому сокращению рабочей нагрузки на водителя, а высокоавтоматизированное вождение (ВАС) – к значительному. В работе [2] представлен обзор полученных в ходе двенадцати исследований экспериментальных данных об эффективности решения водителем дополнительных задач при использовании ACC и ВАС и его осведомленности о ситуации. В том

числе проанализирована рабочая нагрузка, измеряемая как производительность, при выполнении произвольной задачи, отображенной на бортовом дисплее. Среднее количество выполненных задач составило 100% для ручного вождения, 112% при наличии АСС и 261% – ВАВ. Другими словами, с АСС водители могут решать примерно на 12% больше задач, чем при ручном управлении, а с ВАВ – в 2,5 раза больше.

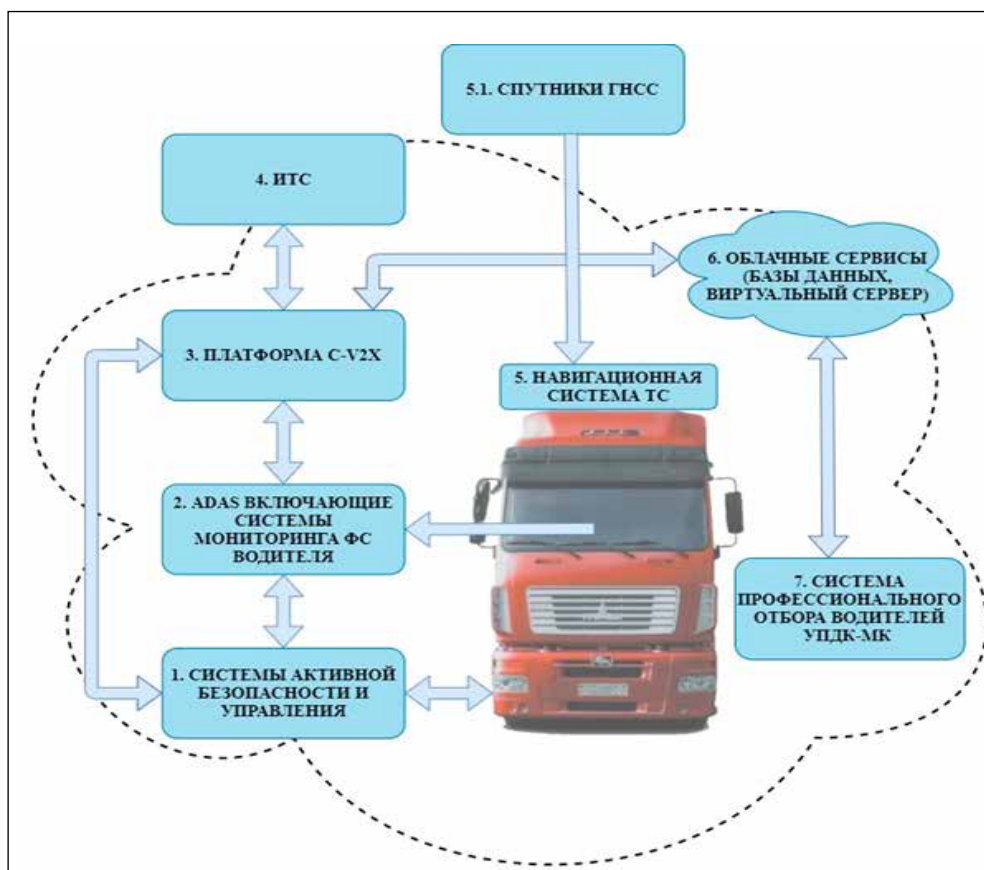
Около 20 лет назад началось изучение проблемы человеческого фактора при возрастании уровня автоматизации в транспортных средствах (ТС), в основном ориентированное на взаимодействие водителей с АСС, и уже тогда было установлено, что это может привести к снижению осведомленности о дорожной ситуации и уменьшению эффективности выполнения алгоритмов деятельности по управлению ТС при возникновении нештатных ситуаций [2]. В последующем схожие результаты были получены и при исследовании влияния систем – ассистентов водителя (ADAS) по поддержанию полосы движения – на водителя при 1–3 уровнях автоматизации автомобиля [1, 3, 4].

## Концепция передачи управления водителю в ВАТС по состоянию

Развитие оценочных критериев и условий для автоматической передачи управления водителю во время движения при смене парадигмы управления ТС с автоматического на ручное сегодня одна из самых актуальных задач. Основная цель – определить, в какой момент времени возможна безопасная передача, когда водитель уже потенциально способен выполнять требуемые алгоритмы деятельности. Очевидно, что для разных людей это время не будет одинаковым, поскольку влияние оказывают внутренние и внешние факторы, имеющие различные весовые коэффициенты. Основные – это осведомленность о ситуационной обстановке по маршруту движения, текущее функциональное состояние (во многом обусловленное родом занятия в предшествующие 5–10 минут) и индивидуальные особенности конкретного человека.

Ситуационная обстановка по маршруту движения – величина качественная и переменная, зависящая от многих факторов (интенсивности

Рис. 1. Структура системы верхнего уровня для передачи управления водителю в ВАТС: 1 – системы активной безопасности и управления ТС; 2 – ADAS, включающие системы мониторинга ФС водителя; 3 – коммуникационная платформа C-V2X; 4 – ИТС; 5 – навигационная система ТС; 5.1 – спутники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) систем; 6 – облачные сервисы (базы данных, виртуальный сервер); 7 – стационарная система профессионального отбора водителей (универсальный психодиагностический комплекс УПДК-МК)



трафика и потенциальных сложностей на конкретных локальных участках дороги, нештатных ситуаций, инцидентов и аварий, погодных условий, времени суток и др.). Исследования осведомленности водителя о ней ведутся в мире достаточно интенсивно [2–4]. По разным оценкам и в зависимости от сложности данной обстановки и рода деятельности водителя в предшествующее время требуется от нескольких десятков (часто около 60 секунд) до 360 секунд на адекватную оценку ситуации. В большинстве исследовательских проектов используются методы мониторинга и определения динамики изменения психофизиологических и физиологических параметров, а также зрительного анализатора водителя с применением соответствующего экспериментального оборудования во взаимосвязях с восстановлением контроля водителя над траекторным движением ТС, ситуационной обстановки и выполнением алгоритмов деятельности (или их фрагментов) в различных вариациях и в реальном масштабе времени.

Методы мониторинга и поддержания текущего функционального состояния водителя на основе отслеживания и анализа параметров ЭДА во взаимосвязи с выполняемыми алгоритмами деятельности разработаны и неоднократно апробированы. Системы, их реализующие, выпускаются серийно, установлено, что они поддерживают водителя в состоянии готовности к экстренному действию [5–8].

На рис. 1 представлена структура системы верхнего уровня для обеспечения передачи управления водителю в ВАТС.

Ее новизной является возможность анализа разнородной информации, циркулирующей в системах активной безопасности и управления ВАТС, АДАS, включая мониторинг функционального состояния водителя по анализу параметров (характеристик зрительного анализатора и ЭДА, коммуникационной платформе C–V2X), интеллектуальных транспортных системах (ИТС), работающих в реальном времени, с поддержкой навигационной системы ТС и облачных сервисов. Последние направлены на ведение и обновление базы данных индивидуальных профессионально важных качеств (ПВК) водителей, отслеживаемых во время выполнения алгоритмов деятельности при ручном управлении ВАТС, обработку виртуальным сервером информационных потоков с C–V2X, ИТС и синтез вероятностных оценок возможности пере-

дачи управления водителю в конкретной дорожной ситуации и реальных условиях движения, работающих по взаимоувязанным спецификациям протоколов обмена информацией [9, 10].

Индивидуальные особенности водителя в рассматриваемом контексте – это прежде всего динамика психофизиологических (физиологических) параметров, его ПВК при управлении ТС, в том числе индивидуальные количественные значения (например, временные затраты на осуществление управляющих действий, прием сигнальной информации и др.), которые могут регистрироваться при ручном управлении ВАТС, находятся в облачных базах данных систем профессионального отбора и развития таких качеств. Например, в работе [9] представлен подход, позволяющий контролировать восприятие оператором семантически бинарной релевантной информации.

Это восприятие, в отличие от индифферентных раздражителей, неизменно без всякого исключения сопровождается импульсом фазической составляющей ЭДА (кожно-гальванической реакцией). В ВАТС релевантная информация для водителя – это предупреждение систем АДАS об ошибочных действиях в текущей ситуации (пересечение линий разметки дороги без включения поворота, попытка перестроения, когда в мертвой зоне видимости находится другой автомобиль, внезапное появление пешехода или велосипедиста, превышение скорости и др.). Это также кросс-модальная информация, передаваемая по протоколам V2I (коммуникации автомобиль – придорожная инфраструктура), например, смена знака светофора, предупреждения о сложных метеорологических условиях и др., и по протоколам V2V (коммуникации автомобиль – автомобиль), например, авария на пути следования ТС, предупреждение об опасности обгона, проблемы с дорожным покрытием и др.

Наиболее широкое распространение получили такие стационарные системы профессионального отбора водителей, как УПДК-МК [11] и психологическая аттестация (система тестирования Vienna Traffic) [12], которые используют по 30–50 психологических методик, психофизиологических параметров и личностных тестов для оценки уровня ПВК водителей в стационарных условиях. Например, УПДК-МК обеспечивает тестирование психофизиологических ПВК (восприятия пространственных отношений и времени, глазомера, устойчивости, переключаемости и распределения внимания, памяти,



Рис. 2. Прогнозируемый поток данных, генерируемых автономным автомобилем

психомоторики, эмоциональной устойчивости, динамики работоспособности) и свойств и качеств личности водителя, которые позволяют ему безопасно управлять ТС (нервно-психическая устойчивость, свойства темперамента, склонность к риску, конфликтности, монотоностойчивости).

УПДК-МК также включает методики развития ПВК (тренировку избирательности, концентрации и распределения внимания, повышение эмоциональной устойчивости, гибкости темпа действий, устойчивости к монотонии) и общего развития (тренировку ассоциативных процессов, памяти на образы и символы).

Информация баз данных систем профессионального отбора или осмотра конкретного водителя может быть доступна на борту ВАТС благодаря информационным каналам коммуникационной платформы C-V2X и применена в алгоритмах анализа потенциальной возможности водителя восстановить контроль над высокоавтоматизированным автомобилем. Некоторые значения ПВК могут актуализироваться в автоматическом режиме (на базе облачных технологий и виртуальных вычислений), например, все, что связано со скоростью реакций водителя во время ручного управления, мониторится в фоновом режиме и через C-V2X направляется в облако, где и происходит (автоматически) актуализация персональной сущности конкретного водителя в базе данных УПДК-МК. Таким образом, если он периодически или время от времени использует для управления высокоавтоматизированным ТС ручное управление, его база данных ПВК (по ряду параметров) будет актуальна в реальном времени.

## Кросс-модальные информационные потоки в высокоавтоматизированных и автономных автомобилях

Уровень автоматизации неуклонно растет, что позволяет решать ранее существовавшие при функционировании автомобилей проблемы, но также создает новые, которые еще предстоит исследовать. Значительными темпами растут объемы разнородной информации, циркулирующей в такой метасистеме, как водитель – высокоавтоматизированный автомобиль – дорога – интеллектуальная транспортная система – информационное поле. На рис. 2 представлен прогнозируемый поток данных, генерируемых в автономных автомобилях, и основные источники. **И**

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. R. Madigan, T. Louw, N. Merat. The effect of varying levels of vehicle automation on drivers' lane changing behavior // PLoS ONE. 2018. №13 (2) // URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192190>.
2. M. Endsley, D. Kaber. Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task // Ergonomics. 1999. №42 (3). P. 462–492.
3. N. Merat. Highly automated driving, secondary task performance and driver state // Human Factors. 2012. №54. P. 762–771.
4. N. Merat, A.H. Jamson, F. Lai et al. Transition to manual: driver behavior when resuming control from a highly automated vehicle // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior. November 2014. Vol. 27, Part B.P. 274–282.
5. V.V. Savchenko. Optimization of the semantic biofeedback parameter in the monitoring systems of functional state of operators // Journal of Automation and Information Sciences. 2009. Vol. 41, №1. P. 75–80.
6. V.V. Dementienko. Driver vigilance remote monitoring system // Science Journal of Transportation. October 2015. №6. P. 110–114.
7. В.В. Савченко, М.С. Свистун, В.В. Сикорский. Система поддержания работоспособности водителя: результаты испытаний и экспериментальных исследований // Автомобильная промышленность. 2008. №1. С. 32–34.
8. В.В. Деметиненко, В.Б. Дорохов. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека-оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании // Журнал высшей нервной деятельности. 2013. Т. 63, №1. С. 24–32.
9. В.В. Савченко, С.Н. Поддубко. Подход к разработке метода передачи управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2018. №2 (121). С. 181–187.
10. V.V. Savchenko, S.N. Poddubko. Cross-modal information flows in highly automated vehicles // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 534 (2019). 012003. doi: 10.1088/1757-899X/534/1/012003 // <http://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/534/1>.
11. А.С. Кремез, В.В. Бонч-Бруевич. Психологические аспекты безопасности деятельности оперативного персонала технологических установок // Автоматизация в промышленности. 2011. №7. С. 43–48.
12. Психологическая аттестация водителей. Система тестирования Vienna // <https://docplayer.ru/28720064-Psihologicheskaya-attestaciya-voditeley-sistema-testirovaniya-vienna.html>.
13. Intel: каждый робомобиль будет генерировать в среднем 4 Тбайт данных в день // 3DNews Daily Digital Digest: оф. сайт // <https://www.3dnews.ru/951292.html>.
14. Самые подробные карты мира будут нужны автомобилям, а не людям // <https://sohabr.net/habr/post/326838/>.



# Инновации в раннем СССР: кому и чем могут помочь в XXI в. идеи столетней давности?



**Александр Козлов,**  
заместитель  
генерального директора  
по экономике и  
производству Научно-  
практического центра  
НАН Беларуси по  
материаловедению,  
кандидат  
экономических наук

Центральное место в обеспечении роста национальной экономики занимают вопросы эффективной организации производства. Создание хозяйственного механизма, соответствующего современным требованиям, неразрывно связано с инновационной деятельностью, вовлечением в экономический оборот достижений научно-технической революции и интеллектуальных ресурсов. Реализовать все это крайне проблематично, а может быть, и невозможно без совершенствования механизмов стимулирования и мотивации труда. Между тем за более чем 100 последних лет теория данного вопроса претерпела ряд существенных изменений.

Рассмотрение проблемы целесообразно начинать с некой исторической точки отсчета, следуя в хронологическом порядке до наших дней, дабы более полно представить условия существовавшей институциональной среды, сформировавшей парадигму жизни общества, и, соответственно, верно понять логику построения социально-экономических отношений. Здесь уместно выражение К. Маркса: «... Общественное бытие [людей] определяет их сознание». Только проведение исследований каждого

этапа исторической эпохи позволит понять эволюцию мысли ученых, практиков и политических деятелей, выявить слабые и сильные стороны существовавших моделей экономического развития, найти объяснение тех или иных управленческих решений.

Отвечая на вопрос, с какого момента начинать отсчет, следует отметить, что для познавательных целей это может быть период и Республики Беларусь, и дореволюционной России – здесь нет четкой привязки. С точки же зрения научности, практичности и необходимости остановиться на вопросе стимулирования инновационной деятельности начать целесообразно с 20-х годов прошлого века. Выбор данного периода представляет интерес и в связи с окончанием Первой мировой (1914–1918) и Гражданской войны в России (1917–1922), отягощенной Польско-советской войной (1919–1921), а также появлением накануне теоретических исследований известного австрийского экономиста Йозефа Шумпетера, в своей работе «Теория экономического развития» (1911 г.) впервые рассмотревшего вопросы инноваций и давшего достаточно полное описание инновационного процесса, то есть фактически став родоначальником нового учения.

Следуя указанной логике, как бы неоднозначно и критично ни понимался советский период с существовавшей длительное время парадигмой партийного строительства и преобладания общественных интересов над личными, начинать исследование в отечественной экономике необходимо именно с него, не пренебрегая вкладом ученых той эпохи.

Следует отметить, что взгляды на экономику и принимаемые решения в послереволюционной России были неоднозначны и определялись различными институциональными условиями на фоне разрухи от войн. Но если в условиях военных конфликтов было не до экономики, то с их завершением и прохождением острой фазы исторических событий вопросы восстановления народного хозяйства стали выдвигаться на первый план. Именно этот период, с точки зрения автора, наиболее актуален как отправная точка для исследования. Он начинается с рубежа 1920–1921 гг., когда у правящей элиты стали меняться взгляды и под их воздействием происходил переход к новой экономической политике, провозглашенной весной 1921 г., которая впоследствии легла в основу государственного строительства на многие десятилетия.

Еще В.И. Ленин, признавая отдельные «ошибки» прошлого, утверждал, что экономическое стимулирование будет занимать особое место в ускорении научно-технического прогресса. Он писал, что «... распределение – есть метод, орудие, средство для повышения производства», а «личная заинтересованность поднимает производство...». Следовательно, в то время сформировалось четкое представление о роли материального стимулирования для повышения производительности, под которой следует понимать как увеличение объема производства, так и повышение качества продукции.

Рассуждая о проблемах личной заинтересованности субъектов, В.И. Ленин говорил о невозможности построить новое общество на одном лишь энтузиазме, предлагая делать это «при помощи энтузиазма, рожденного великой революцией, на личном интересе, на личной заинтересованности, на хозяйственном расчете». Он заявлял о необходимости определенного сочетания в управлении трудящимися методов убеждения (прямой мотивации) и побуждения (стимулирования).

Действительно, в годы перехода к новой экономической политике в ряде нормативных документов правительства было рекомендовано отказаться от «уравниловки» в оплате труда и распределении продуктов. Уже тогда местами ставился и актуальный спустя многие десятилетия вопрос

о переходе предприятий на хозрасчет. Таким образом, материальные меры поощрения работников неразрывно связывались с развитием моральных стимулов к труду.

Придавая большое значение практическому применению научно-технических достижений и удовлетворению государственных потребностей, в феврале 1920 г. В.И. Ленин пообещал М.А. Бонч-Бруевичу всяческое содействие в работе возглавляемой им Нижегородской радиолaborатории, а 27 января 1921 г. подписал декрет о радиотелефонном строительстве, утвердив тем самым его широкую программу и подчеркнув государственную важность. В мае 1922 г. уже появились первые ощутимые результаты, стало возможным проводить телефонные переговоры. В.И. Ленин внес предложение в Политбюро ЦК РКП(б) о дополнительном финансировании радиолaborатории из средств золотого фонда для ускорения производства громкоговорящих аппаратов и радиоприемников, которое было одобрено.

19 сентября 1922 г. после пуска Московской радиотелефонной станции Нижегородская радиолaborатория была награждена орденом Трудового Красного знамени, отмечена деятельность ее научных руководителей, а профессора Бонч-Бруевич и Вологдин были занесены на Доску почета. Обращает на себя внимание то, что при реализации важной государственной задачи (весьма инновационной и потому не имеющей широкого представления) осуществлялось дополнительное финансирование из так называемого «золотого фонда». По сути, речь идет о практическом механизме реализации инновационного проекта. Это еще раз подтверждает многообразие подходов к стимулированию труда организаций. В любом случае, исторический опыт говорит об уважительном отношении к труду ученых и изобретателей, а также всех, кто решает важнейшие задачи для государства.

В условиях, по сути, военного времени практиковались и поручения, сопровождаемые жестким императивом: «Мобилизовать всех... Исполнишь – премия. Не исполнишь – тюрьма» [6]. Такое письмо в конце декабря 1920 г. было адресовано Г.М. Кржижановскому в связи с реализацией плана ГОЭЛРО и необходимостью мобилизации ресурсов.

Одним из способов стимулирования процессов Ленин рассматривал трудовое соревнование [7]. Для его популяризации рекомендовалось применять не характерные для того времени меры, основанные на принуждении и насилии, а премиальную систему оплаты труда [9]. Ленин противопоставлял соревнование

конкуренции и частной предприимчивости. Однако такой посыл следует понимать правильно: в отрыве от полного описания может сложиться впечатление о бессмысленности возвращения к модели, при которой конкуренцию можно неверно посчитать тормозом развития. Следуя логике В.И. Ленина, она, наоборот, может стимулировать предприимчивость, энергию и смелость начинаний при определенных условиях, как правило, в мелкотоварном самостоятельном производстве. Как ни удивительно, такие размышления вполне актуальны и для наших дней, а подобный посыл нашел подтверждения на протяжении столетней истории. Есть примеры, когда, по логике, крупные корпорации должны развиваться, конкурируя между собой, а на самом деле учиняют подлоги, ограничивая других участников рынка (касается скандала 2015 г. вокруг компании Volkswagen и фальсификации экологических тестов Audi и Porsche).

Соревнования также применялись с целью пропаганды прогресса – популяризации среди населения использования электричества [4].

По мнению В.И. Ленина, в рассматриваемой им социалистической модели развития общества соревнования, в отличие от конкуренции в капиталистической, создают возможность массового вовлечения трудящихся туда, где они смогут проявить свои таланты и способности.

Таким образом, можно констатировать, что с задачей поиска талантов среди трудоспособного населения и стимулирования экономического роста, будь то путем соревнований, конкуренции или же безусловного дохода, сталкивались ученые и политики в разные времена и в разных социально-экономических моделях. И любое из решений не лишено смысла.

Рассуждая о государственном учете и контроле, Ленин видел, что вычленение талантов «по части организаторских успехов» необходимо осуществлять посредством соревнований в общегосударственном масштабе. Тогда же был предложен заслуживающий внимания механизм распространения передового опыта по образцу. Заместителям была поставлена задача взять под свою ответственность несколько отделов или учреждений одного из народных комиссариатов, а после получения образцовых результатов обобщить и систематизировать наработанный опыт, приемы, способы повышения производительности и методы контроля, чтобы постепенно распространить их в других учреждениях. Кроме того, под контролем заместителей должна была переводиться и издаваться вся лучшая новейшая зарубежная литература об организации труда и управления;

особенно обращалось внимание на американскую и немецкую, поскольку эти государства в тот период были самыми прогрессивными в техническом плане.

Безусловно, заслуживающим внимания является опыт подготовки и реализации первого научного плана для народного хозяйства – «Плана электрификации РСФСР», подготовленного Государственной комиссией по электрификации России и получившего еще одно название – план ГОЭЛРО, изданного в декабре 1920 г. Его опыт важен для обобщения и анализа возможностей государства по мобилизации интеллектуальных ресурсов и способов вовлечения их в экономический оборот, чтобы полученные результаты использовать для последующего формирования оптимального механизма государственного регулирования.

К сожалению, в наши дни уже мало кто знает и помнит, что план ГОЭЛРО подразумевал не только электрификацию, это был всеобъемлющий и детальный проект, который объединял в себе: 1) электрификацию и план государственного хозяйства; 2) топливоснабжение; 3) водную энергию; 4) сельское хозяйство; 5) транспорт и 6) промышленность. Ориентировочный горизонт расчета – 10–20 лет.

Научная ценность прогрессивного для своего времени труда заключается в том, что это прежде всего был впервые подготовленный единый хозяйственный план, в разработке которого принимали участие лучшие ученые того времени и сотни сотрудников-специалистов, под руководством ставшего впоследствии академиком Г.М. Кржижановского. Для справедливости здесь следует отметить, что план родился не с чистого листа, а основывался на идеях К. Баллода, известного латвийского, немецкого и российского экономиста, финансиста, статистика и демографа. Возможно, благодаря его разностороннему развитию и опыту стало возможным объединить в одном документе столь разные направления.

С точки зрения постановки перспективных задач помимо плана ГОЭЛРО заслуживают внимания и другие, связанные с техническим развитием, например вытекающий из переписки с Кржижановским проект А.И. Махонина по созданию электропоезда на аккумуляторной батарее.

Нельзя не упомянуть и о препятствиях, которые чинились на пути реализации плана. Понимание их природы будет весьма полезно для практической управленческой деятельности. Так, из анализа трудов Ленина, в частности, сочинения «Об едином хозяйственном плане» следует, что главной трудностью были традиционные и для наших дней бюро-

кратизм, непрофессионализм чиновников, их самодурство и природное внутреннее сопротивление новшествам, понимание которых требует интеллектуальных усилий. Особенно отмечается конфликт между увязкой научной стороны вопроса и практической [1], для преодоления которого практикам необходимо повышать уровень образования, а обеим сторонам быть более договороспособными.

В томе 45 Полного собрания сочинений В.И. Ленина львиная часть его трудов с марта 1922 г. по март 1923 г., а также идей, заложенных в политических отчетах, пронизаны проблематикой чиновничества, бюрократии и волокиты.

Из этого следует вывод, что проблемам чиновничества уже тогда уделялось много внимания. Существовало полное понимание того, что налаживание нормальных деловых внутрикорпоративных отношений – важный элемент достижения положительного результата, в то время как бюрократия и формализм способны загубить любое начинание. Одновременно набирают актуальность предположения о том, каким уровнем должен обладать чиновник, на которого государством возложена функция планирования и подготовки программных документов, поскольку отсутствие необходимых деловых качеств, навыков и профессиональной подготовки и порождают описанные выше проблемы.

И предъявляемые требования лишь увеличиваются, если речь идет об инновационном развитии и даже интеллектуальном труде как таковом.

На требования о ясности и однозначности понимания, которые должны исходить из содержания документа, неоднократно обращалось внимание в различных поручениях. Один из примеров – отказ от подписания декрета о централизации библиотечного дела 15.07.1920 г. по причине размашистости и неясности самого документа и требование к Совнаркому излагать суть конкретнее [2]. О неясности закона с требованием уточнить его в «10 раз» с конкретизацией ответственных лиц идет речь в записке в малый Совнарком [3].

К сожалению, с подобными проблемами реальный сектор экономики сталкивается и сегодня, когда по причине непонимания требований нормативно-правового акта происходит торможение в экономическом развитии, например путем временного приостановления деятельности до получения официального разъяснения.

Поручения Ленина пронизаны требованиями о конкретизации с использованием слов: «детальная инструкция», «краткий срок», «тотчас усилить и ускорить», «выяснить архиточно», «позвонить тот-

час», «выработка точных постановлений», «безостановочные работы», «поторопитесь и скажите», «недостаточно разработан» (относительно вопроса о продовольственных концессиях), «только на лечение, только в Арозу, на короткое время», «прошу непременно издать к сроку и известить меня тотчас», «надо добавить пояснение», «вносить своевременно точные формальные выражения», «нарком обязан точно провести решение Совнаркома», «побольше вдуматься и детальнее изучить соответствующие факты», «дополнить хронологическим указателем» (из письма М.Н. Покровскому о его книге), «надо в 10 раз точнее и полнее указать ответственных лиц», «этого недостаточно», «бесконечные поправки нетерпимы», «я очень боюсь, что это дело опять «заснуло» (по проклятой привычке российских Обломовых усыплять всех, все и вся)».

Интересная мысль также высказана относительно снабжения промышленности. Так, оставлению на полном государственном обеспечении подлежали те отрасли промышленности, в продукции которых государство было особенно заинтересовано [5]. Если применить такой опыт к текущему времени, то такими производствами для целей государственной поддержки должны стать научные, экспериментальные, внедренческие и иные предприятия, то есть те, которые берут на себя дополнительные риски, работая с новой продукцией – по сути речь идет об инновационных предприятиях.

О роли политических управленческих решений говорит и записка В.И. Ленина от 19.10.1920 г., адресованная Народному комиссару земледелия РСФСР С.П. Середе, в которой дается поручение подготовить в срочном порядке план тракторной компании, включающий как закупку техники за границей, так и ее производство в России [10].

Наличие подобного рода переписки и поручений свидетельствует о системности в подходах к планированию. Данный опыт в совокупности с другими планами, например планом ГОЭЛРО, может быть весьма полезным при создании новых производств и в современных условиях. Проблемы, с которыми приходилось сталкиваться при реализации планов, могут повторяться и в наши дни.

О заинтересованности в изобретениях, особенно важных для народного хозяйства, и глубоком погружении в этот вопрос свидетельствуют резолюции с поручениями Главному управлению кожевенной промышленности ВСНХ и отделу изобретений – подразделению его научно-технического отдела. Вообще, само наличие отдела изобретений может говорить о том, что в каком бы сложном положении



ни находилась страна, думать о науке как о будущем страны нужно всегда.

Особое отношение к выдающимся ученым, даже в непростое военное время, иллюстрируют отдельные беспрецедентные решения на высшем государственном уровне, говорящие и о проводимой кадровой политике, понимании роли науки и необходимости ее сохранения на любой стадии становления государства.

Так, в соответствии с Постановлением Совета Народных Комиссаров от 24.01.1921 г. [8] специальной комиссией поручено в кратчайший срок создать наиболее благоприятные условия для обеспечения научной работы всемирно известного русского академика и Нобелевского лауреата (1904 г.) в области медицины и физиологии И.П. Павлова и его сотрудников; одновременно Павлову и его жене предоставлен паек, равный по калорийности двум академическим пайкам. Кроме того, были даны поручения обеспечить пожизненным пользованием занимаемой ими квартирой с обстановкой ее и лаборатории максимальными удобствами. Еще одним беспрецедентным решением стало оставление за академиком И.П. Павловым права собственности на его научные труды как в России, так и за границей.

Современнику подобный способ признания заслуг и поощрения труда ученого может показаться неактуальным. Вместе с тем это происходило и стало нашей историей, а ее нужно воспринимать такой, какая она есть. Здесь наиболее важным является то, что ученый не остался без внимания со стороны государства и к нему были применены меры, по сути, выходящие за пределы «разумного» для того времени.

Механизмы реализации поставленных задач отчетливо просматриваются на примере стимулирования новых разработок и достижения передовых результатов в таком особо важном для послевоенной экономики России направлении, как тепловозостроение. Так, в январе 1922 г. Совет труда и обороны дал поручение Теплотехническому институту с привлечением Технического комитета Народного комиссариата путей сообщения РСФСР и других учреждений организовать разработку проектов и технических условий для создания тепловозов и объявить конкурс на определение лучшей работы с премированием победителя. При этом Госплану, Теплотехническому институту и НКПС в развитие указанного поручения было предписано разработать предельно конкретные условия самого конкурса и порядка премирования для последующего объявления как в России, так и за рубежом. Данный пример решения достаточно крупной государственной задачи

содержит в себе рыночные основы: реализация осуществляется путем выдачи задания, определения победителя на открытом конкурсе и его поощрения. Как позже выяснилось из записки от 27.12.1921 г., В.И. Ленин остался недоволен результатами работы, о чем сообщил в письме Г.М. Кржижановскому, подчеркнув, что «прозевали» заграничный опыт. Изложенное свидетельствует, что очень многое зависит от исполнения поручений.

Различные подходы к стимулированию инновационной деятельности, заложенные при жизни В.И. Ленина на ранней стадии формирования советского государства, систематизированы в *таблице*.

Подводя итог изложенному, можно сделать следующие выводы.

► В отечественной научной и практической литературе, относящейся к периоду становления СССР, термин «инновационное развитие» или аналог ему не упоминался. В большинстве случаев суть работы экономики сводилась к «тушению пожаров» и борьбе за выживание. Речь о стимулировании инновационной деятельности и вовсе не велась. В то же время материальное поощрение рассматривалось как один из методов стимулирования направлений деятельности, которые были связаны с обеспечением для страны научно-технического прогресса.

► В период становления советского государства системная работа по стимулированию инновационной, научной и иной интеллектуальной деятельности не осуществлялась, и на это были объективные причины, обусловленные сложной институциональной средой. Вместе с тем рыночные (материальные) подходы к стимулированию интеллектуального труда преобладали над командно-административными. Особенно четко это прослеживается на ранней стадии формирования СССР, в период реализации новой экономической политики.

► Полученный опыт полезен для разработки современных организационно-экономических механизмов стимулирования инновационной деятельности.

► Одним из способов массового вовлечения трудовых ресурсов в деятельность, связанную с научно-техническим прогрессом, стали трудовые соревнования, близкие по духу естественной конкуренции. В социалистической модели экономического развития они рассматривались как альтернатива конкуренции.

► Именно государство рассмотрело потенциальную потребность (говоря современным языком – инновационную потребность) в электрификации страны и, реализуя план ГОЭЛРО, по сути, сформировало

№ п/п	Описание подхода	Тип подхода
1	Материальное стимулирование и личная заинтересованность	Экономический (стимулирующий)
2	Отмена уравниловки и хозрасчет	
3	Трудовое соревнование как альтернатива конкуренции	
4	Трудовое соревнование как способ поиска талантов	
5	Использование мирового опыта в области науки и техники	
6	Приказ как способ принуждения к работе	Командно-административный
7	Пропаганда научно-технического прогресса	
8	Постановка глобальной народно-хозяйственной задачи	
9	Требования гибкости при реализации программ. Сокращение объема программы в случае ее громоздкости и невозможности выполнения	
10	Профессионализм чиновников. Ясность в документах, простота и однозначность их понимания. Требование максимальной конкретизации норм и поручений	
11	Всемерная поддержка науки и ученых	
12	Заинтересованность и осведомленность политического руководства о научных достижениях и передовых изобретениях	Административно-экономический
13	Государственная поддержка и внедрение достижений науки и техники	
14	Использование специальных источников государственного финансирования	
15	Распространение передового опыта по образцу	

Таблица. Отдельные подходы по стимулированию инновационной деятельности в период формирования советского государства 1921–1924 гг.

Источник: авторская разработка

рвало спрос на электроэнергию, что соответственно повлекло перестройку промышленного производства. Аналогичная ситуация была и в других отраслях экономики: тракторо-, тепловозостроении и др.

► Масштабное планирование экономики 20-х гг. XX в. имеет схожесть с нынешними пятилетними государственными программами. Опыт показал, что такие планы способны объединить для работы на общий результат различные коллективы ученых и практиков, массово вовлечь в нее разные отрасли народного хозяйства, а правильно поставленная цель может стать серьезным ориентиром для развития научно-технического прогресса.

► Реализация плана ГОЭЛРО показала, что проблемы, которые его сопровождали, характерны и для наших дней: бюрократизм, непрофессионализм чиновников, их внутреннее сопротивление новшествам, понимание которых требует интеллектуальных усилий.

► Руководители проектов обладали достаточно высоким уровнем профессиональной (научной) подготовки. Для ответственной интеллектуальной работы в Госплан привлекались научные работники, труд которых оценивался выше среднего.

► Заслуги отдельных выдающихся ученых со стороны государства оценивались исключительными мерами. К выдающимся личностям применялись особые индивидуальные подходы. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кржижановский Г.М. Товарообмен и плановая работа / Г.М. Кржижановский. – М.: [б.и.], 1924.
2. Ленин В.И. В малый Совнарком / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 51: Письма, июль 1919 – ноябрь 1920. – М., 1982. С. 240.
3. Ленин В.И. В малый Совнарком / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 53: Письма, июнь – ноябрь 1921. – М., 1982. С. 106–108.
4. Ленин В.И. Г.М. Кржижановскому / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. – 5-е изд. Т. 52: Письма, ноябрь 1920 – июнь 1921. – М., 1982. С. 1–2, 38–40, 122, 128–129, 134, 141–143, 175–176, 210, 214–215, 242–243, 248, 250–251, 269–271, 293.
5. Ленин В.И. Замечания к тезисам ВСНХ «О хозяйственной политике» / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. – 5-е изд. Т. 44: Июнь 1921 – март 1922. – М., 1982. С. 477–481.
6. Ленин В.И. Записка Кржижановскому / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 52: Письма, ноябрь 1920 – июнь 1921. – М., 1982. С. 62–63.
7. Ленин В.И. Как организовать соревнование? / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 35: Октябрь 1917 – март 1918. – М., 1981. С. 195–205.
8. Ленин В.И. Об условиях, обеспечивающих научную работу академика И.П. Павлова и его сотрудников / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 42: Ноябрь 1920 – март 1921. – М., 1981. С. 262–263.
9. Ленин В.И. Примечания / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 42: Ноябрь 1920 – март 1921. – М., 1981. С. 437–493.
10. Ленин В.И. С.П. Серее / В.И. Ленин // Полн. собр. соч.: [в 55 т.]. 5-е изд. Т. 51: Письма, июль 1919 – ноябрь 1920. – М., 1982. С. 309.

# ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В БЕЛАРУСИ

УДК 581.52:625.7:630.182

**Александр Судник,**

завлабораторией оптимизации и мониторинга экосистем Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук;  
[asudnik@tut.by](mailto:asudnik@tut.by)

**Ирина Вознячук,**

ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук; [ipv@tut.by](mailto:ipv@tut.by)

**Дмитрий Дубовик,**

ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и систематики растений Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук;  
[dvdubovik73@gmail.com](mailto:dvdubovik73@gmail.com)

**Аннотация.** В статье приводятся данные по результатам загрязнения придорожных территорий комплексом техногенных металлов и компонентами противогололедных реагентов. Отмечается, что солевое загрязнение по масштабам и интенсивности многократно превосходит загрязнение тяжелыми металлами и является одной из основных причин деградации растительности в опушечных зонах вдоль автомагистралей. Описаны последствия воздействия ионов натрия и хлора на экологическое состояние почвы и растений. По результатам анализа солеустойчивости 221 вида дикорастущих и культивируемых деревьев и кустарников, используемых при озеленении дорог и населенных пунктов Беларуси, подобран ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, придорожная территория, противогололедные реагенты (ПГР), загрязнение, ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) и хлора ( $\text{Cl}^-$ ), состояние растительности.

**Для цитирования:** Судник А., Вознячук И., Дубовик Д. Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси. Наука и инновации. 2023. №1. С. 72–78.  
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78>

В связи с развитием инфраструктуры дорог Беларуси, изменением технологий их содержания, ростом парка автотранспорта становится все актуальнее проблема негативного воздействия на придорожные экосистемы. При эксплуатации автотрассы прилегающие к ней территории подвергаются загрязнению, связанному как с ее содержанием, так и непосредственным использованием для грузо- и пассажироперевозок.

Оно характеризуется следующими комплексами элементов:

- 1) выбросы автомобильного транспорта;
- 2) компоненты противогололедных реагентов (ПГР);
- 3) продукты выветривания дорожных материалов, частиц металлов, красок, перевозимых грузов, горюче-смазочных материалов и пр.

В последние годы отмечается особенно значительный рост загрязнения из-за увеличения интенсивности движения и объемов применения ПГР [1].

Огромной проблемой становится засоление территорий вдоль автодорог вследствие использования дефростировочной соли в зимний период. Сырьем для получения ПГР чаще всего являются природные источники галита ( $\text{NaCl}$  – каменной соли), бишофита ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), карналита ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), а также отходы пищевой и химической промышленности. Наиболее распространены силвинитовые отвалы, образующиеся

при получении калийных удобрений, и «белые моря» – при содовом производстве. В первом случае при обогащении получают ПГР на основе NaCl, во втором – на основе CaCl<sub>2</sub>.

В Республике Беларусь в качестве противогололедного средства применяют техническую соль галит, на 96–98% состоящую из хлорида натрия (остальные примеси – нитраты, фосфаты, сульфаты натрия, кальция и т.д.), в чистом виде или в смеси с песком (преимущественно в соотношении 1:1). При этом на отдельных участках автодорог нормы внесения ПГР превышены в 2 и более раз [2]. Использование хлорида натрия в таком качестве, тем более с превышением предельных норм и в сочетании с другими негативными факторами, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог, неизбежно ведет к ослаблению и деградации придорожных экосистем [3].

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В систему объектов исследования вошли выборочные участки магистральных автомобильных дорог: М1/Е30 Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации (Редьки), М3 Минск – Витебск, М9 – Минская кольцевая автомобильная дорога (МКАД). Для мониторинга загрязнения придорожных территорий компонентами ПГР проводился отбор образцов почвы (два слоя: 0–10 см и 10–20 см), лесной подстилки и зеленых мхов на расстоянии 5, 10, 20, 35, 150 и 300 м от МКАД (всего отобрано 192 образца) отдельно на участках прохождения дороги в выемке, насыпи

и в нулевых отметках в соответствии с руководством [4].

Химический анализ образцов на загрязнение тяжелыми металлами и компонентами ПГР (ионами натрия и хлора) осуществлялся центральной лабораторией филиала РУП «Белгеология». Кроме того, в ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» получены данные о загрязнении ионами хлора снежного покрова вдоль автодорог на территории Беларуси.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Средние показатели загрязнения почвы тяжелыми металлами и компонентами ПГР на различном удалении от дорожного полотна приведены в табл. 1. В результате анализа пространственного распределения рассеянных элементов в снежном покрове, почве и компонентах лесных фитоценозов установлено, что наибольший вред наносится, как правило, непосредственно опушечным территориям вдоль автодорог. Можно выделить 3 зоны загрязнения: первая (5-метровая) – с концентрацией элементов, в 2 и более раз превышающей средний уровень; вторая (5–35 м) – среднего накопления; третья (35–300 м) – с содержанием поллютантов ниже среднего. Открытые территории способствуют переносу загрязнителей, главным образом с воздушным потоком, на более дальние от проезжей части участки. При отсутствии на полях защитного древесного барьера в снежном покрове (а летом – в растительности) доля загрязнителей значительна на 300-метровом

расстоянии от дороги, а наивысшие их концентрации приходятся на первые 150 м от нее.

По результатам проведенного анализа загрязнения придорожных территорий комплексом техногенных металлов и компонентов ПГР установлено, что в них происходит долговременное накопление различных привнесенных элементов и формируются относительно четкие градиенты их содержания в пространстве. В результате изучения аккумуляции и распределения веществ-загрязнителей в придорожных растительных сообществах можно сделать следующие выводы:

- масштабы проявления загрязнения придорожных экосистем зависят от категории дороги, ее положения в рельефе, интенсивности движения транспортных средств, объема и качества вносимых ПГР (чистая соль или в смеси с песком);
- загрязнение растительных сообществ прослеживается не менее чем на 300 м от дорожного полотна; на этом отрезке валовое содержание тяжелых металлов больше их базовых величин, но не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК);
- следствие применения в зимний период на автодорогах NaCl в качестве ПГР – значительное увеличение содержания ионов хлора и натрия в компонентах придорожных биогеоценозов, а наибольшее число отклонений выявлено в зеленых мхах лесных экосистем;
- сравнение анализов смылов с хвоей придорожных насаждений с контрольными



Расстояние от полотна дороги, м	Тяжелые металлы					Компоненты ПГР		
	Ni	Co	Pb	Cu	Zn	Cd	Cl-	Na+
0–5	24,1 ± 1,85	2,7 ± 0,50	12,6 ± 0,82	38,9 ± 3,58	34,0 ± 2,70	>9,4 ± 0,12	69,9 ± 16,89	110,8 ± 16,90
10	25,7 ± 1,21	3,2 ± 0,46	11,5 ± 0,74	35,5 ± 2,39	30,7 ± 1,58	>9,4 ± 0,05	58,2 ± 11,41	61,2 ± 16,21
20	27,3 ± 1,84	3,7 ± 0,45	11,9 ± 0,72	33,8 ± 2,08	30,4 ± 1,72	>9,4 ± 0,09	58,2 ± 6,82	38,3 ± 5,99
35	25,7 ± 2,57	4,1 ± 0,48	10,6 ± 0,77	33,1 ± 2,58	29,5 ± 1,20	>9,4 ± 0,04	52,1 ± 8,67	18,0 ± 3,50
150	25,1 ± 2,12	3,8 ± 0,47	12,2 ± 0,78	34,9 ± 2,54	28,4 ± 0,12	>9,4 ± 0,04	49,0 ± 10,93	14,8 ± 5,67
300	22,8 ± 1,82	3,5 ± 0,55	12,7 ± 0,82	30,3 ± 2,70	28,4 ± 0,15	>9,4 ± 0,05	39,2 ± 2,49	5,0 ± 0,37
Среднее значение	25,1	3,5	11,9	34,4	30,3	9,4	54,2	41,9

Таблица 1. Средние показатели элементов загрязнителей (мг/кг сухого вещества) в почве лесных фитоценозов на различном удалении от дорожного полотна

показывает, что у дорог содержание практически всех токсичных элементов и соединений превышает их значения в 2 и более, а ионов натрия и хлора – в десятки раз даже через месяц после начала вегетации;

- аккумуляция соединений хлора происходит в 10-метровой полосе вдоль автомагистралей и обусловлена механическим поступлением веществ при разбрызгивании растаявших снеговых вод с растворами солей с дорожного покрытия при движении автотранспорта, а также дальностью разброса снега роторными снегоуборочными машинами. Сопоставление данных по содержанию хлоридов в снежном покрове показало превышение фонового уровня на всех профилях исследования; превышение ПДК отмечено в единичных точках магистральных автодорог на расстоянии 5–10 м от дорожного полотна;
- наблюдается тенденция к увеличению ионов хлора и цинка в почве, меди и кобальта –

в почве и растительных компонентах относительно данных 10-летней давности. При сохранении существующего режима обслуживания дорог в зимний период имеется угроза достижения порога токсичности ионов хлора для растений (100 мг/кг в почве) [5, 6], после которого угнетение их роста и развития – лишь вопрос времени;

- сравнительный анализ содержания свинца в компонентах лесных фитоценозов на одних и тех же участках дороги в различный временной период показал, что за 10 лет количественные показатели элемента имеют тенденцию к значительному снижению, что, возможно, является положительным результатом смены качества парка автомобилей и топлива.

Таким образом, транспортные выбросы в почву и растительность вдоль автодорог характеризуются двумя комплексами элементов: солевыми компонентами (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) и тяжелыми металлами (Pb, Zn, Ni, Co, Cd, Cu). Солевое загрязнение по масштабам и интен-

сивности многократно превосходит засорение тяжелыми металлами и является одной из основных причин деградации растительности в опущенных зонах вдоль автострад.

Солевые компоненты ПГР (ионы натрия и хлора) в больших концентрациях токсичны для всех компонентов биогеоценозов [7]. В биоцикл придорожных насаждений они попадают в результате снегоуборочных работ, с дорожными стоками и при попадании в виде аэрозолей при движении транспорта [8]. Создаваемые им турбулентные потоки воздуха способствуют распространению водно-солевых взвесей вверх (средняя высота повреждения – 15–17 м) и их оседанию на хвое и побегах деревьев (рис. 1). Весной часть солей, аккумулированных в снеге, удаляется с талым стоком; оставшаяся становится источником засоления почв. Его уровень постепенно снижается по мере промывания атмосферными осадками, достигая минимума к началу осени [3, 7, 9].

Хлориды в больших концентрациях токсичны для большинства видов растений, у которых осевшая на хвое и побегах соль вызывает обезвоживание, а при проникновении в ткань – повреждение. Ее мелкодисперсные частицы приводят к солевому ожогу деревьев, изменению их анатомической, морфологической структуры, уменьшению количества хлорофилла, смещению физиолого-биохимических показателей, внешние признаки которого – некроз хвои и листьев, отставание в росте и развитии, преждевременное опадение листьев. Отличительная особенность отрицательного воздействия

ПГР на состояние лиственных деревьев и кустарников, произрастающих вдоль автодорог, состоит в повреждении вегетативных почек, а не листьев. Это приводит к образованию «розоватости» вегетативных побегов (рис. 2) [7, 9]. Воздействие хлоридов проявляется в биохимических нарушениях процессов ассимиляции и метаболизма в клетках растений, отмирании ткани и блокировке проводящих путей, что ведет к ослаблению и гибели всего растения.

Автомагистрали являются также источником загрязнения почв, которое влияет на изменение их кислотности, ионообменных свойств органо-генных горизонтов, характера естественных миграционных потоков элементов в системе «почва – растение», что в конечном итоге приводит к засолению земель, в том числе сельскохозяйственных. Рост содержания хлоридов оказывает отрицательное действие на активность почвенной микрофлоры и вызывает ее частичную гибель, с чем связано уменьшение ферментативной активности подстилки и плодородного слоя. Засоление особенно опасно на пониженных участках, куда скатываются большие массы талых и дождевых вод с растворенной в них солью. Чрезмерное использование песчано-соляной смеси для борьбы с наледями приводит к тому, что остаточные количества ПГР скапливаются в грунте, что негативно сказывается на состоянии зеленых насаждений уже в период вегетации.

Внесение ПГР стало причиной формирования солонцеватости почв – нового явления для придорожных территорий, которое происходит в результате периодической смены про-



Рис. 1. Высота повреждения крон деревьев в среднем достигает 15–17 м над уровнем полотна дороги

цессов засоления (ранней весной) и рассоления (летом). Вследствие этого содержание обменного натрия в грунте растёт. По данным, полученным в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси, сезонная динамика накопления остаточных количеств ПГР в плодородном слое имеет 2 выраженных пика – в апреле и июле, а глубина залегания ионов натрия в летний период превышает 1 м [10, 11]. Хотя в условиях Беларуси этот процесс обстоятельно не изучен, феномен формирования солонцеватых земель вдоль Московской кольцевой автомобильной дороги хорошо известен: «безлесную придорожную полосу отвода можно считать зоной техногенного галогенеза, а сформировавшиеся здесь почвы, загрязняемые аэральным путем, определить как импัลверизационные поверхностные солончаковые конструкторы» [12].

Действие засоления на растительные организмы связано с двумя основными причинами: ухудшением водного баланса и токсическим влиянием высоких концентраций солей.

**Первая причина.** Засоление приводит к созданию в почве низкого (резко отрицательного) водного потенциала, поэтому поступление воды в растение сильно затруднено [13]. В физиологии есть такое понятие, как механизм корневого давления. Он состоит в том, что благодаря осмотическому явлению вода поглощается корнями растений. Фактор, уменьшающий интенсивность этого процесса, – высокая концентрация солей в почвенном растворе. При большом содержании натрия в почве, даже если ее влажность соответствует полевой влагоемкости, всасывание воды корнями может почти полностью прекратиться.

Высокая доля солей натрия вызывает структурные проблемы в почве; по мере увеличения его содержания растёт риск диспергирования агрегатов. Описана существенная разница между флокулированной (агрегированной) и диспергентной структурой почвы. Флокуляция (комкообразование) важна: вода движется через большие поры, а корни растений растут в основном в поровом

пространстве. При диспергентности почвенные поры блокируются, что препятствует движению воды и дренированию во всех видах грунтов, кроме содержащих наибольший процент песка. Натрий – менее активный флокулятор по сравнению с кальцием, поскольку имеет меньший заряд и размер его иона в воде значительно больше. Замена натрия кальцием перед выщелачиванием стабилизирует структуру почв, а их гипсование позволяет удалить избыток обменного натрия, отрицательно влияющего на физические свойства. Это один из способов химической мелиорации солонцов и солонцеватых грунтов. В результате гипсования натрия, растворенный в грунте, замещается кальцием. В итоге улучшаются физические, физико-химические и биологические свойства почвы, что благоприятно сказывается на ее плодородии.

**Вторая причина.** Под влиянием натриевых солей происходит нарушение ультраструктуры клеток, в частно-

сти изменения в хлоропластах, а при высокой концентрации – повреждение мембранных структур, вследствие чего возрастает их проницаемость, теряется способность к избирательному накоплению веществ. Надо также учесть, что большая концентрация натрия препятствует накоплению других катионов, в том числе и таких необходимых для жизни растения, как калий и кальций. Другая сторона вредного воздействия солей – нарушение метаболических процессов. В работах Б.П. Строганова [14] показано, что под влиянием солей в растениях нарушается азотный обмен, накапливается аммиак и другие ядовитые продукты.

Один из рациональных путей решения проблемы засоления придорожных территорий – подбор ассортимента, способного выдерживать негативную антропогенную нагрузку, в том числе хлоридное загрязнение [15–17]. Под солеустойчивостью подразумевается способность растений в силу анатомо-физиологических осо-

бенностей выдерживать поступление в грунт вредных легкорастворимых солей [18].

По этому признаку выделены следующие категории:

- **сильноустойчивые к соляному загрязнению:** аморфа кустарниковая; боярышники колючий и кроваво-красный; вяз малый; гледичия трехлопучковая; ива вавилонская; клен Гиннала; лох узколистный; можжевельник казацкий; свидина кроваво-красная; тамариски изящный, мелкоцветковый, развесистый, Хохенакера; тополя бальзамический, Болле, Жака, черный (особенно пирамидальная форма); шелковица белая; в том числе виды, проявляющие склонность к инвазиям, использование которых ограничено: арония черноплодная, дуб красный, карагана древовидная (акация желтая), облепиха обыкновенная, пузыреплодник калинолистный, робиния ложноакациевая (акация белая), свидина побегообразующая, тополь белый, шиповник морщинистый;
- **среднеустойчивые к соляному загрязнению:** бересклет бородавчатый; барбарис Тунберга; береза маньчжурская; бук лесной; вязы гладкий, равнинный, шершавый; дуб черешчатый; жимолость татарская; ивы ломкая и белая; кизил обыкновенный; кизильник блестящий; клены полевой, татарский, серебристый, остролистный; крушина слабительная; лох смешиваемый; миндаль низкий; осина; рябина обыкновенная; скумпия обыкновенная; сирень обыкновенная; слива приземистая; смородины золотистая, черная; сосны обыкновенная,



Рис. 2. «Розеточность» вегетативных побегов березы вдоль Минской кольцевой автомобильной дороги



черная альпийская; сумах уксусный; тополя гибридный, дельтовидный, канадский, Симона; шиповники коричноморщинистый, майский (коричный), сизый, Шерарда; форзиция европейская; ясень пенсильванский;

- **слабоустойчивые к соляному загрязнению:** бархат амурский; береза повислая; бересклет европейский; бирючина обыкновенная; все виды боярышников, за исключением колючего и кроваво-красного; вишня кустарниковая; груши дикая, обыкновенная; ель европейская; жескер слабительный; ивы козья, корзиночная, остролистная, пепельная, пурпурная, пятичичинковая; ирга колосистая и ольхолистная; кизил шведский; клены красный и ложноплатановый (явор); липы американская, амурская, войлочная; магония падуболистная; магалебка обыкновенная; миндаль трехлопастной; можжевельник виргинский; орех серый; робиния клейкая; сирени венгерская, Генри; сливы колючая (терн), растопыренная, степная, терновая; смородины альпийская, колосистая, красная; снежноягодник приречный; спиреи белая, Бумальда, зверобоелистная, ложноивовлистная, многоцветковая, ниппонская, средняя, японская; тополя берлинский, душистый, корейский, лавролистный, седоватый; чубушники мелколистный и обыкновенный; шиповники виргинский, войлочный, гололистный, даурский, кустарниковый, ржаво-красный, собачий, столбистый, франкфуртский, щитконосный, Юндзилла; черемуха Маака, ясени

зеленый, ланцетолостный, обыкновенный, орехолистный, остроплодный;

- **очень слабоустойчивые и неустойчивые к соляному загрязнению.** К данной категории относится большинство используемых древесных и кустарниковых видов, особенно стоит обратить внимание на конский каштан обыкновенный, липу мелколистную и др.

### Уход за дорогами за рубежом

В 1995 г. в России было принято решение использовать в качестве ПГР хлорид натрия. Зимой 2001–2002 гг. от NaCl на дорожных покрытиях страны решили отказаться и использовать вместо него хлористые кальций и магний (твердые средства «Биомаг» или жидкие «Нордекс»). Начиная с зимы 2005–2006 гг. отказались и от применения хлористого магния («Биомаг») из-за тенденций к накоплению аниона магния. Хотя оба препарата были признаны экологически безопасными и достаточно эффективными, часть реагентов обнаружили свойство создавать «масляную» пленку на дороге, в результате чего тормозной путь автомобилей увеличивался в несколько раз.

Сейчас для борьбы со льдом коммунально-дорожные службы России используют:

- на основе хлорида натрия – соль техническую (галит);
- на основе хлористого кальция и магния – жидкий хлористый кальций модифицированный (ХКМ); хлористый кальций твердый, ингибированный фосфатами (ХКФ); «Биомаг» твердый, модифицированный хлористым магнием;

- смеси хлористых кальция и натрия «Айсметт»;
- на основе ацетатов аммония и калия (соли или эфиры уксусной кислоты): «Анти-снег»-1 – ацетат аммония; «Нордекс-II» – ацетат калия. При этом практически все реагенты, в которые входят соли и эфиры уксусной кислоты, способны вызывать неспецифические реакции кожи, слизистых и бронхов. После их применения резко увеличилось количество жалоб от людей, страдающих астмой, атопическим дерматитом, аллергодерматозами, аллергическими заболеваниями кожи.

В некоторых районах Москвы в настоящее время в качестве эксперимента применяют жидкий «ЭСБГ» (на основе композиции солей кальция и магния с добавлением биофильных элементов) и твердый «Биодор» (реагент форматной группы), который после применения разлагается на природные составляющие. Благодаря своему химическому составу эти материалы не оказывают вредного воздействия на зеленые насаждения и применяются на аэродромах, а также в парковых и лесных зонах и на особо охраняемых природных территориях.

Хлористый кальций и его аналоги проходили испытания в Италии, Франции, Швейцарии, Германии и США. «Рискула» его использовать одна только Швейцария, в которой морозов не бывает. В Норвегии и Швеции вообще не употребляют никакой химии, просто убирают заносы снегоуборочной техникой. В Финляндии и Нидерландах пользуются рецептом



времен царской России: солевой мраморной крошкой.

Таким образом, состояние растительности вдоль основных автомагистралей в последние годы обусловлено загрязнением окружающей среды в придорожных полосах комплексом тяжелых металлов и компонентами противогололедных реагентов на основе хлорида натрия в сочетании с комплексом других негативных факторов, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог. Следует отметить, что попытка объединить все вариации происходящих процессов накопления и распределения элементов в различных компонентах придорожных фитоценозов может привести к определенным ошибкам, не позволяющим отнести их к выводам. Тем не менее акцент на изучение последствий применения ПГР безусловно оправдан, так как формирует представления о современном состоянии окружающей

среды вдоль дорог и является базовым материалом для дальнейших исследований. И если сегодня мы констатируем, что аккумуляция веществ-загрязнителей, как правило, не достигает опасного уровня, влияющего на жизненно необходимые функции растительных сообществ, то угроза их вовлечения в биологический круговорот, последней ступенью которого является человек, бесспорно существует. ■

ного уровня, влияющего на жизненно необходимые функции растительных сообществ, то угроза их вовлечения в биологический круговорот, последней ступенью которого является человек, бесспорно существует. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Судник А.В. Оценка степени загрязнения придорожных экосистем комплексом техногенных металлов и хлоридов / А.В. Судник, И.П. Вознячук / Мониторинг і оцінка стану рослинного світу / Мат-лы V Міжнар. навуков. конф., Мінськ – Белаўежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. – Минск, 2018.
2. Судник А.В. Влияние противогололедных реагентов на зеленые насаждения вдоль улиц и дорог г. Минска / А.В. Судник, О.Е. Ефимова, А.П. Яковлев // Леса Евразии – Белорусское Поозерье. Мат-лы XII Междун. конф. молодых ученых, посвящ. 145-летию Г.Ф. Морозова, НП «Браславские озера», Браслав, Беларусь – Аукштайтский национальный парк, г. Игналина, Литва, 30 сент. – 6 окт. 2012 г. – М., 2012.
3. Судник А.В. Воздействие автомобильных дорог на природно-растительные комплексы и животный мир Беларуси: состояние, реальные и потенциальные угрозы, мониторинг / А.В. Судник, Р.В. Новицкий // Мат-лы науч.-техн. конф., посв. 50-летию РУП «БелдорНИИ», Минск, 25–26 окт. 2012 г.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). 5-е изд., перераб. и доп. – М., 1985.
5. Аккумуляция ионов хлора почвами и ассимиляционными органами деревьев в городских насаждениях Минска / Е.А. Сидорович [и др.] // Проблемы озеленения городов: альманах. Вып. 10. – М., 2004.
6. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей / С.В. Какарека, В.С. Хомич, Т.И. Кухарчик и др.; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 1998.
7. Яковлев А.П. Влияние солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в городской среде / А.П. Яковлев, А.В. Судник // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь: тез. Респ. науч.-практ. семинара, Минск, 26–27 апреля 2018 г. / НАН Беларуси; ЦБС НАН Беларуси; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2018.
8. Бельков М.В., Бураков В.С., Кириш В.В., Максимова И.А., Райков С.Н., Судник А.В. Лазерный атомно-эмиссионный анализ аэрозольного загрязнения зеленых насаждений противогололедными реагентами // Прикладная спектроскопия. 2010. Т. 77, №2. С. 292–298.
9. Центральный ботанический сад НАН Беларуси: сохранение, изучение и использование биоразнообразия мировой флоры / В.В. Титок [и др.]; под ред. В.В. Титка, В.Н. Решетникова. – Минск, 2012.
10. А.В. Судник. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Лесной вестник. 2020. Т. 24. №6. С. 83–95.
11. Яковлев А.П. Устойчивость древесно-кустарниковых растений к негативному влиянию противогололедных материалов / А.П. Яковлев [и др.] // Антропогенная трансформация ландшафтов: мат-лы IV Республиканской науч.-методич. конференции – Минск, 2008.
12. Лысиков А.Б. Солевое загрязнение придорожных лесных насаждений // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов. Выпуск 44. – Брянск, 2016.
13. Физиология растений: Учебник для студ. вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М., 2005.
14. Строганов Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почв) / Б.П. Строганов. – М., 1962.
15. А.В. Судник. О воздействии строительства и содержания автомобильных дорог на придорожную растительность / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Наука и инновации. 2021. №11 (225). С. 34–41.
16. Судник А.В. Типовая схема проектирования мероприятий по минимизации воздействия автомобильных дорог на растительность придорожных территорий / А.В. Судник, А.П. Яковлев / Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов // Мат-лы III Междун. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского, 7–9 октября 2015 г., Минск, Беларусь. В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2015.
17. Судник А.В. Разработка комплекса мер по минимизации воздействия строительства и содержания автодорог на растительность придорожных территорий // Сборник научных трудов «Природные ресурсы и окружающая среда». – Минск, 2016.
18. Судник А.В. Ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами / А.В. Судник, А.П. Яковлев, А.Н. Скуратович // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 6–7 апреля 2016 г. / Отв. ред. А.В. Скок; М-во образования Рос. Федерации, Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. – Брянск, 2016.

Статья поступила в редакцию 06.04.2021 г.

■ **Summary.** The article provides data on the results of pollution of roadside areas by a complex of technogenic metals and components of antiglaze reagents. Salt pollution in scale and intensity is many times greater than the pollution with heavy metals and is one of the main causes of vegetation degradation in border areas along highways. The consequences of impact of pollution on roadside territories by sodium and chlorine ions on the ecological state of soil and plants were described. Assortment of tree-shrub plants that are resistant to pollution by antiglaze reagents was selected according to the results of the salt tolerance analysis of wild-growing and cultivated species of trees and shrubs (221 species) of the flora of Belarus used in landscaping roads and settlements.

■ **Keywords:** road, roadside territory, antiglaze reagents (AGR), ions of sodium (Na<sup>+</sup>) and chlorine (Cl<sup>-</sup>), pollution, state of plants.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78>

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ПЦР В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОРОТКИХ ИЗОФОРМ ГЕНА IKZF1 (IKAROS)

**Аннотация.** Внутригенные делеции в гене IKZF1 – одна из наиболее значимых генетических aberrаций при прогнозировании рецидивов В-клеточного острого лимфобластного лейкоза (В-ОЛЛ). Диагностика делеций IKZF1, особенно редких типов, осложняется разнообразием точек разрыва ДНК, необходимостью подбора ПЦР-праймеров для каждой из них, реже – пациент-специфических праймеров для подтверждения делеции и точек разрыва методом секвенирования по Сенгеру. В связи с этим определение коротких транскриптов (изоформ), которые всегда формируются в результате делеции функционального участка гена IKZF1, является альтернативным методом оценки статуса данного гена в рутинной лабораторной практике. Статья посвящена разработке быстрого, выполняемого в течение одного рабочего дня, метода мультиплексной ПЦР в реальном времени, позволяющего выявлять экспрессию 3 прогностически значимых транскриптов в одной реакции, и оценке его эффективности. Диагностическая чувствительность метода составила 90,14%, а специфичность – 89,47%.

**Ключевые слова:** IKZF1, Ikaros, острый лимфобластный лейкоз, мультиплексная ПЦР.

**Для цитирования:** Богатенкова Д., Вшивкова О., Мелешко А. Оценка эффективности метода мультиплексной ПЦР в реальном времени при определении коротких изоформ гена IKZF1 (Ikaros) // Наука и инновации. 2023. №1. С. 79–84. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-79-84>

**Дарья Богатенкова,**  
младший научный сотрудник лаборатории  
молекулярно-генетических исследований РНПЦ  
детской онкологии, гематологии и иммунологии;  
[yanchenko.darya255@gmail.com](mailto:yanchenko.darya255@gmail.com)

**Ольга Вшивкова,**  
старший научный сотрудник лаборатории  
клинических исследований РНПЦ детской  
онкологии, гематологии и иммунологии;  
[vshyukova@gmail.com](mailto:vshyukova@gmail.com)

**Александр Мелешко,**  
ведущий научный сотрудник  
РНПЦ детской онкологии, гематологии  
и иммунологии, кандидат биологических наук;  
[meleshko@tut.by](mailto:meleshko@tut.by)

Аберрации (внутригенные делеции) гена транскрипционного фактора IKZF1 (Ikaros) встречаются в среднем у 15% детей при первично диагностированном В-клеточном остром лимфобластном лейкозе, чаще всего – у пациентов с транслокацией BCR-ABL1 (>60%) и до 85% случаев – у пациентов с BCR-ABL1-подобным ОЛЛ. Большинство исследований демонстрирует, что пациенты с делецией IKZF1 имеют значительно худший прогноз при В-ОЛЛ, ее наличие – надежный прогностический маркер развития рецидива этого заболевания [1, 2]. Наши собственные исследования подтверждают это: у пациентов, про-

ходивших лечение в Республиканском научно-практическом центре детской онкологии, гематологии и иммунологии, частота aberrаций составила 10,4% при первичном В-ОЛЛ и 27,7% – при рецидивах заболевания ( $p=0,0005$ ). Сравнительный анализ показал, что пациенты стандартного риска с aberrациями IKZF1 имеют значительно более высокую 5-летнюю кумулятивную частоту рецидивов ( $66,7 \pm 22,7\%$  против  $11,6 \pm 2,9\%$  в группе с нормальным генным статусом,  $p<0,001$ ) [4–7].

Ген IKZF1 экспрессируется в нормальных лимфоидных клетках костного мозга и клетках других тканей, он является ключевым

транскрипционным фактором, регулирующим ранние этапы дифференцировки Т- и В-лимфоцитов, НК-клеток и дендритных [3].

Белок Ikaros, продукт экспрессии гена IKZF1, включает два отдельных домена 4 ДНК-связывающих «цинковых пальца» на N-конце и 2 – для белок-белковых взаимодействий вблизи С-конца. Ген IKZF1 состоит из 7 экзонов и транскрибируется как минимум в 14 различных транскриптов (изоформ) путем альтернативного сплайсинга с использованием альтернативных экзонов. Нормальные лимфоциты характеризуются относительно высокой экспрессией длинных изоформ (Ik1, Ikx, Ik2, Ik3) и на порядок меньшей экспрессией коротких изоформ (Ik4–9). Самая короткая из них (Ik10) является нетранскрибируемой и в норме не экспрессируется.

Длинные изоформы Ik1, Ikx, Ik2 и Ik3, которые содержат, по крайней мере, 3 «цинковых пальца» в ДНК-связывающем домене, сохраняют высокую аффинность связывания с ДНК и локализуются в ядре.

Изоформы Ik4–Ik10, имеющие менее 2 «цинковых пальцев», теряют свою ДНК-связывающую активность и сосредотачиваются в цитоплазме. Такие изоформы сохраняют способность образовывать гетеродимеры с полными изоформами, что приводит к потере ими транскрипционной активности и подавлению димеризации функциональных изоформ, в связи с чем короткие изоформы называют доминантно негативными. Несмотря на все многообразие транскриптов IKZF1, наши исследования показали, что гиперэкспрессия только 3 коротких изоформ – Ik6, 9, 10 (Ik-DN) – имеет прогностическое значение при В-ОЛЛ [4]. Представленный в данной статье метод оценки основан на мультиплексной ПЦР, позволяющей выявлять их экспрессию в одной реакции, что значительно экономит реактивы, биоматериал пациента и сокращает время диагностики.

Цель настоящего исследования – оценить эффективность метода мультиплексной ПЦР в реальном времени при определении коротких изоформ гена IKZF1 (Ikaros).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Биологический материал и пробоподготовка.

Для проведения исследования использованы образцы костного мозга (КМ) 65 пациентов с первичным В-ОЛЛ, 18 образцов КМ и 4 образца периферической крови здоровых доноров.

Для контроля и установления границ нормальной экспрессии изоформ был исследован материал 6 здоровых доноров КМ, полученный в лаборатории цитофереза РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии, а также клеточная линия эритробластного лейкоза K562 и трансгенная клеточная линия K562\_Ik6, характеризующаяся высоким уровнем экспрессии короткой изоформы Ikaros 6.

Выделение суммарной РНК из клеточных суспензий, мононуклеаров КМ и периферической крови проводили с помощью TRIreagent (США) [8]. Очищенную РНК растворяли в деионизированной воде, измеряли концентрацию и чистоту РНК на спектрофотометре и немедленно замораживали при  $-80^{\circ}\text{C}$ ; кДНК синтезировали из РНК обратной транскрипцией с применением рандом-праймеров или Oligo-dT и обратной транскриптазы. Для синтеза использовали 1 мкг РНК. После отжига с праймерами/олиго-dT в течение 5 мин. при  $70^{\circ}\text{C}$ , аликвоту РНК вносили в смесь для обратной транскрипции с 10 единиц/мкл обратной транскриптазы и инкубировали при  $37^{\circ}\text{C}$  в течение одного часа.

### Метод сравнения – моноплексная RQ-PCR.

Диагностика aberrаций IKZF1 в РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии проводится с 2013 г. согласно разработанному нами методу, описанному в утвержденной Министерством здравоохранения Республики Беларусь инструкции по применению [9]. Он подразумевает постановку 9 отдельных реакций для детекции как длинных, так и коротких изоформ IKZF1. С учетом накопленных за прошедшие годы данных прогностически значимыми в отношении развития рецидивов В-ОЛЛ являются только 3 короткие изоформы [4, 5]. Для оптимизации диагностики нами предложено объединить 3 реакции в одну, поскольку гиперэкспрессия любого из указанных 3 маркеров (Ik6, 9 или 10) является прогностически значимой, а оценка уровня экспрессии других изоформ не несет практической пользы.

### Подбор праймеров и зондов для коротких изоформ гена Ikaros.

Короткие изоформы амплифицировались при участии консенсусного «обратного» праймера (Ik-Ex7–5'R) и зонда к 7 экзону IKZF1 (Ik-Ex7–5'TM), и специфических «прямых» праймеров (Ik6\_alt2-F, Ik\_Ex1/7\_F, Ik\_Ex0/7\_F для амплификации транскриптов Ik6, 9 и 10 соответственно).

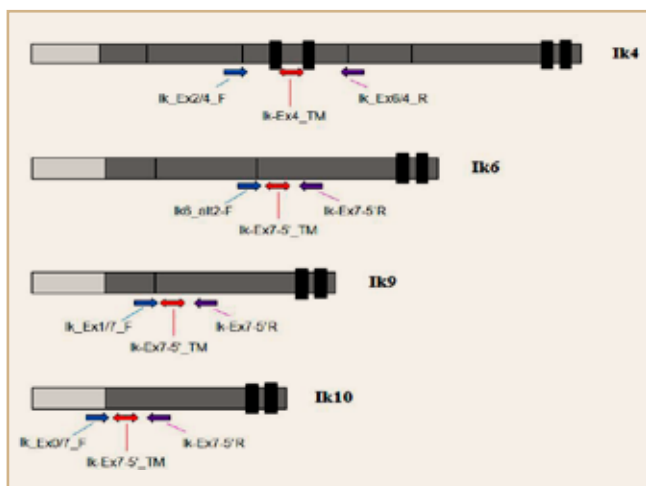


Рис. 1. Схематическое расположение олигонуклеотидов и TaqMan-проб для амплификации коротких изоформ Ik6, 9 и 10

Схема расположения праймеров и зондов показана на рис. 1.

Для каждой изоформы подобрана своя пара праймеров и проб, так же, как и для контрольного гена GUS. В табл. 1 приведена комбинация олигонуклеотидов и Taq-Man-проб для анализа экспрессии коротких изоформ Ikaros и гена внутреннего контроля GUS в мультиплексной реакции.

#### Анализ экспрессии.

Анализ экспрессии 3 коротких изоформ IKZF1 – Ik6, 9 и 10 (Ik-DN) проводили методом мультиплексной ПЦР в реальном времени (RQ-PCR) в объеме 10 мкл с готовым супермиксом. В реакцию вносили по 10 пмоль каждого праймера и 3 пмоля ТМ-пробы. Раскапывали по 15 или 7,5 мкл мастермикса и 5 или 2,5 мкл образца кДНК для достижения общего объема реакции 20 или 10 мкл соответственно. Условия ПЦР-реакции соблюдали согласно инструкции набора супермикса и прибора для RQ-PCR. Проводили 40 циклов амплификации: 95 °C – 15 мин., 95 °C – 15 сек., 60 °C – 15 сек., 72 °C – 30 сек. Реакции выполняли в дублях, в каче-

Транскрипт	Прямой праймер	Обратный праймер	TaqMan-проба	Флуоресцентная метка
GUS	GUS_F	GUS_R	GUS_TM	FAM
Ikaros 6	Ik6_alt2-F			
Ikaros 9	Ik-Ex1/7_F	Ex7-5'R	Ex7-5'_TM	ROX
Ikaros 10	Ik-Ex0/7_F			

Таблица 1. Комбинации олигонуклеотидов и Taq-Man-проб для анализа экспрессии коротких изоформ Ikaros в мультиплексной реакции

стве отрицательного (неспецифического) контроля использовали деионизированную воду.

Для полуколичественного выражения уровня экспрессии применяли метод расчета  $\Delta C_t$ , который подразумевает соответствие результатов ПЦР математической модели, когда на каждом цикле ПЦР количество мишени удваивается. В этом случае продукта ПЦР составляет  $2^N$ , где N – номер цикла. При этом измеряется не исходное количество мишени в копиях, а разница в ее экспрессии по сравнению с контрольным геном. Разница в значении  $C_t$  контрольного гена (GUS) и  $C_t$  измеряемой мишени (Ik-DN) есть  $\Delta C_t$ , а относительная разница в уровне экспрессии определялась как  $2^{\Delta C_t}$  (единица измерения – отн. ед.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Определение порогового уровня экспрессии коротких изоформ.

Поскольку анализ RQ-PCR является количественным, требуется порог, чтобы отличить гиперэкспрессию Ik-DN от нормы. Медиана уровня Ik-DN в лейкозных клетках пациентов составила 0,018, максимальное значение – 8,3, минимальное – 0,0001 отн. ед. Экспрессия в мононуклеарах периферической крови и костного мозга здоровых доноров – 0,0286, 0,075 и 0,000014 отн. ед. соответственно. Таким образом, разделение по медиане, часто используемое для количественной оценки экспрессии генов, в данном

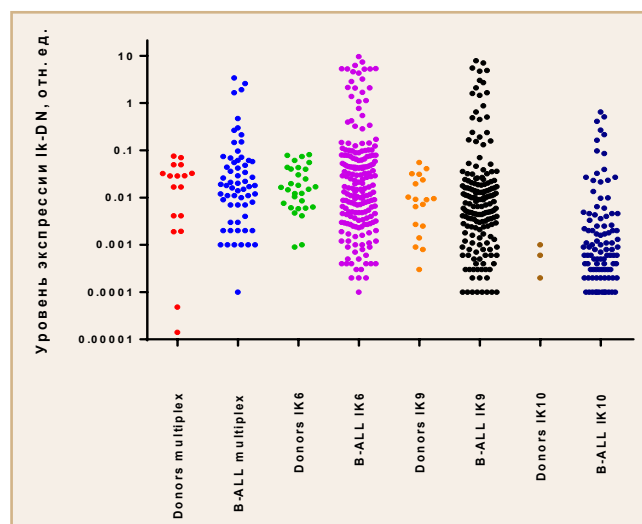
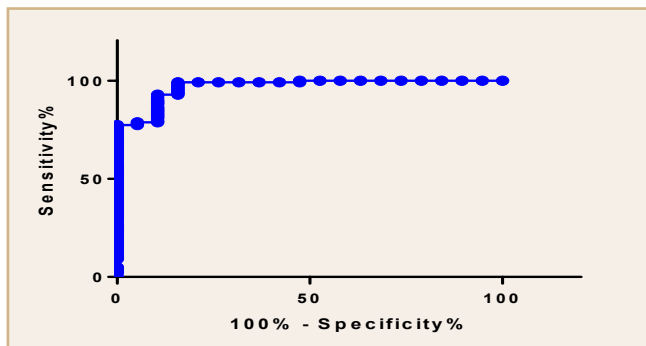
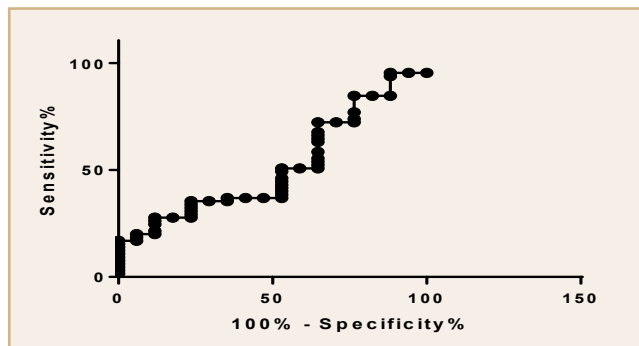


Рис. 2. Точечная диаграмма распределения уровня экспрессии Ik-DN у пациентов с В-клеточным ОЛЛ и здоровых доноров (donors). Анализ коротких изоформ был проведен как мультиплексным методом, так и для каждой изоформы в отдельности





А: Моноплексная ПЦР (порог 0,2 отн. ед.)



Б: Мультиплексная ПЦР (порог 0,7 отн. ед.)

Рис. 3. ROC-кривые взаимосвязи между чувствительностью и специфичностью теста при принятии порогового значения экспрессии Iκ-DN, оцененной моноплексной за 0,2 отн. ед. (А) и мультиплексной ПЦР – за 0,7 отн. ед. (Б)

случае не применимо, так как порог будет слишком низким. Реалистичный порог гиперэкспрессии Iκ-DN должен быть выше максимально возможного уровня экспрессии в КМ здоровых доноров.

Для определения порогового значения были построены точечные диаграммы распределения экспрессии Iκ-DN (рис. 2).

Исходя из распределения случаев в логарифмической шкале, в качестве порогового уровня было принято значение 0,7 отн. ед. (красная линия на диаграмме), тогда как для моноплексного метода оно было 0,2.

Для оценки чувствительности и специфичности этого порога пациенты с В-клеточным ОЛЛ были разделены на две группы: с делециями IKZF1, наличие которых было подтверждено геномными методами (ПЦР и анализ фрагментов) и без них. Параллельно для всех участников был проведен анализ уровня экспрессии коротких изоформ.

Также осуществлена оценка групп с применением ROC-анализа (рис. 3), который демонстрирует, что при принятии порогового значения экспрессии Iκ-DN, оцененной методом мультиплексной ПЦР, за 0,7 отн. ед. чувствительность теста составит 90,14% (95%CI 84,01–94,50%), а специфичность – 89,47% (95%CI 66,86–98,70%). Площадь под ROC-кривой – 0,9711 (95%CI 0,9389–1,003),  $p < 0,0001$ .

## Точность и сходимость результатов.

Оценка теста была проведена на основе 4 повторных измерений в дублирующих пробах с использованием биологического материала 6 пациентов с ОЛЛ одним лабораторным на одном приборе (CFX96 BioRad, США).

Как видно из табл. 2, минимальное значение абсолютной погрешности (ΔX, разницы между наблюдаемым и ожидаемым значением

Критерии точности (GUS)	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4	Пациент 5	Пациент 6
Минимум Ct	25,99	23,66	21,94	24,61	22,28	21,17
Максимум Ct	29,20	26,29	23,20	26,11	23,83	23,41
Абсолютная погрешность (ΔX), максимальное значение, %	0,93	0,77	0,41	0,41	0,37	0,56
Стандартное отклонение, (σ)	1,11	0,92	0,48	0,49	0,44	0,67
Среднее значение	27,41	24,85	22,58	25,05	22,99	22,18
Коэффициент вариации (CV), %	4,06	3,71	2,15	1,94	1,92	3,00

Таблица 2. Точность метода для гена внутреннего контроля GUS

Критерии точности (Iκ-DN)	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4	Пациент 5	Пациент 6
Минимум Ct	25,30	27,29	26,86	28,53	26,96	27,27
Максимум Ct	27,78	30,52	29,59	31,24	28,64	29,95
Абсолютная погрешность (ΔX), максимальное значение, %	0,65	0,93	0,73	0,80	0,50	0,69
Стандартное отклонение, (σ)	0,78	1,12	0,88	0,95	0,60	0,83
Среднее значение	26,34	28,44	28,04	29,68	27,98	28,40
Коэффициент вариации (CV), %	2,94	3,93	3,13	3,22	2,14	2,91

Таблица 3. Точность метода в отношении детекции мишени

теста) для гена внутреннего контроля GUS варьировало от 0,37 до 0,93%. При этом коэффициент вариации был на уровне от 1,92 до 4,06%.

Однако характеристикой воспроизводимости и сходимости результатов серии измерений является их межгрупповая или внутри-

	Критическое значение В	p, Bartlett test	Результат
Пациент 1	7,74	0,052	Воспроизводимо (пограничное значение)
Пациент 2	1,452	0,694	Воспроизводимо
Пациент 3	3,789	0,285	Воспроизводимо
Пациент 4	0,656	0,884	Воспроизводимо
Пациент 5	0,674	0,879	Воспроизводимо
Пациент 6	0,269	0,966	Воспроизводимо

Таблица 4. Однородность дисперсий значений  $2\Delta Ct$ , характеризующих воспроизводимость/сходимость теста, согласно критерию Бартлетта

групповая дисперсия. Ее однородность оценивали с помощью критерия Бартлетта (данные характеризовались нормальным распределением), согласно которому значение  $p \geq 0,05$  является весомым доказательством того, что серия измерений характеризуется высокой воспроизводимостью/сходимостью (табл. 4).

Согласно данным таблицы 4, результаты теста для пациентов с нормальным уровнем экспрессии коротких изоформ Ikaros характеризовались высокой сходимостью, однако у образца с гиперэкспрессией Ik-DN (пациент №1) отмечался большой разброс значений (рис. 4) и пограничный результат теста Бартлетта.

Невысокая сходимость результатов у пациента с гиперэкспрессией Ik-DN объясняется стохастической природой амплификации мишени при проведении RQ-PCR: чем больше копий мишени, тем быстрее происходит накопление продукта реакции, и даже небольшие колебания объема или качества кДНК, ингибиторов ПЦР и других факторов могут оказывать влияние на воспроиз-

водимость теста. Однако его результаты у данного пациента во всех проведенных измерениях свидетельствовали о повышенной экспрессии Ik-DN и характеризовались высокой точностью.

#### Влияние объема реакции на результат теста.

Как известно, амплификация нуклеиновой кислоты в ПЦР представляет собой стохастический процесс, во многом зависящий от различных факторов, в том числе от конечного объема реакции. В большинстве случаев он, согласно рекомендациям производителей ПЦР-смесей, должен составлять 20–25 мкл. В данном методе мы уменьшили его вдвое с целью экономии биологического материала пациента и реагентов.

На рис. 5 приведены результаты оценки влияния объема реакции на результаты измерений мишени в реакциях с полным (20 мкл) и с конечным объемом 10 мкл для 6 пациентов.

Значимых различий в показателях относительного уровня экспрессии Ik-DN не выявлено ( $p=0,197$ , Mann Whitney test). Коэффициент вариации наблюдался в диапазоне от 0,05 до 6,5%. Визуально можно отметить незначительные (статистически не значимые) колебания у мишени у пациентов с нормальным статусом гена IKZF1, где уровень экспрессии Ik-DN был очень низким, в сторону уменьшения значения при увеличении объема реакции 20 мкл, тогда как у пациента с повышенным уровнем экспрессии он оставался неизменным при любом объеме реакции.

#### Предел обнаружения (LoD).

Предел обнаружения мишени Ik-DN может быть ограничен небольшим количеством лейкозных клеток (бластов) в образце костного мозга. Для определения их минимума мы провели серийное разведение трансгенной культуры

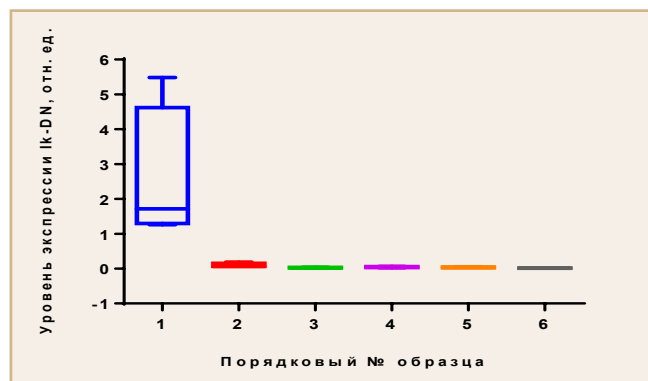


Рис. 4. Оценка сходимости/воспроизводимости результатов теста на основе 3 повторных измерений в дублирующих пробах

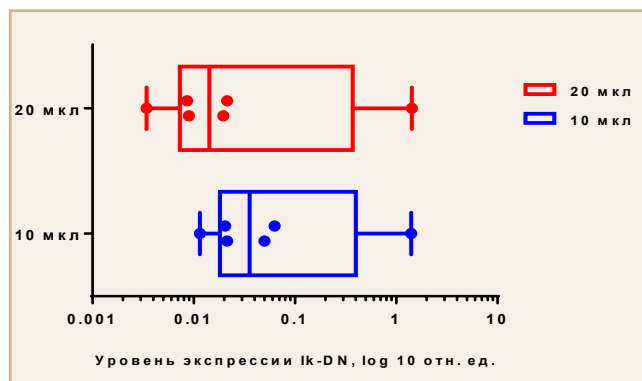


Рис. 5. Влияние объема реакции на результаты измерения мишени Ik-DN у 6 пациентов с ОЛЛ (вертикальная красная линия – порог нормы экспрессии Ik-DN)

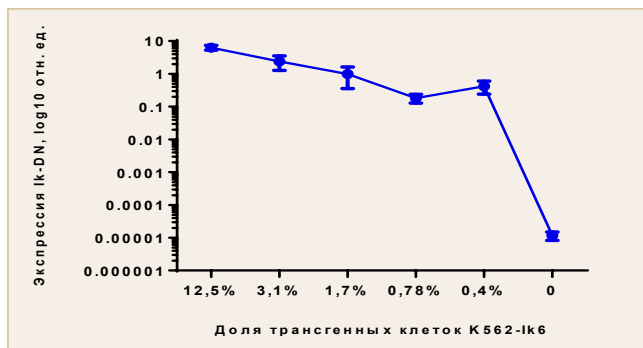


Рис. 6. Оценка предела обнаружения Ik-DN на серии разведений трансгенной клеточной культуры K562\_Ik6 в культуре K562

клеточной линии K562\_Ik6, экспрессирующей на высоком уровне короткие изоформы Ik6 и Ik9, в нормальной клеточной линии K562 в следующем соотношении: 1/8 (12,5%), 1/32 (3,1%), 1/64 (1,7%), 1/128 (0,78%) и 1/256 (0,4%). Разведение «0» представляло собой суспензию клеток K562 без присутствия трансгенного белка Ikaros и служило контролем, характеризующим нормальную экспрессию коротких изоформ (рис. 6).

При использовании модельных клеточных линий минимальное количество клеток минорной популяции для успешной детекции мишени выше порогового уровня нормы составило 0,4%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безусловно, использование одного молекулярно-генетического маркера не позволит с высокой долей вероятности прогнозировать развитие рецидива лейкоза. Тем не менее определение делеций IKZF1, согласно современным стандартам диагностики, необходимо во всех случаях первичного В-ОЛЛ. Анализ экспрессии изоформ на основе предлагаемого метода существенно расширяет диагностические возможности, поскольку большое разнообразие редких делеций, не выявляемых рутинной ПЦР, проявляются в указанных нарушениях сплайсинга.

На основании ROC-анализа диагностическая чувствительность метода мультиплексной ПЦР в реальном времени при определении коротких изоформ гена IKZF1 (Ikaros) составила 90,14% (95%CI 84,01–94,50%), а специфичность – 89,47% (95%CI 66,86–98,70%). Площадь под ROC-кривой 0,9711 (95%CI 0,9389–1,003),  $p < 0,0001$ .

Метод экономически эффективный, быстрый и обладает высокой диагностической чувствительностью и специфичностью, воспроизводим

и выполним в любой молекулярно-биологической лаборатории, оснащенной амплификатором с флуоресцентным детектором. Допустимо проведение реакции в объеме 10 мкл при отсутствии большего количества биологического материала. ■

**Summary.** Intragenic deletions of IKZF1 gene are one of the most significant genetic aberrations in predicting of relapse of B-cell acute lymphoblastic leukemia (B-ALL). Investigation of IKZF1 deletions, especially rare types, is complicated by the diversity of DNA breakpoints, the need to select PCR primers for each of the known breakpoints, less commonly, patient-specific primers to confirm the deletion and breakpoints by Sanger sequencing. In this regard, determination of short transcripts (isoforms), which are always formed as a result of deletion of the functional region of the IKZF1 gene, is an alternative method for assessing the status of the IKZF1 gene in routine laboratory practice. This article is devoted to the development of a real-time multiplex PCR method, which allows to detect the expression of three prognostical transcripts in one reaction, and to evaluate its effectiveness. This is the fastest method and can be completed within one day. The diagnostic sensitivity of the method was 90.14% (95% CI 84.01–94.50%), and the specificity was 89.47% (95% CI 66.86–98.70%).

**Keywords:** IKZF1, Ikaros, acute lymphoblastic leukemia, multiplex real-time PCR.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-79-84>

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Vairy S., Tran T.H. (2020). IKZF1 alterations in acute lymphoblastic leukemia: the good, the bad and the ugly. *Blood Reviews* // <https://doi.org/10.1016/j.blre.2020.100677>.
- Mullighan C.G., Downing J.R. (2009) Global genomic characterization of acute lymphoblastic leukemia. *Semin Hematol.* Vol. 46, N.1. PP. 3–15.
- Роль транскрипционного фактора Ikaros в нормальном гемопоэзе и лейкозогенезе: биологические и клинические аспекты / О.С. Вшивкова, А.Н. Мелешко // *Успехи молекулярной онкологии*. 2015. №1. Т. 2. С. 13–16.
- Expression of aberrantly spliced oncogenic Ikaros isoforms coupled with clonal IKZF1 deletions and chimeric oncogenes in acute lymphoblastic leukemia / V. Vshyukova, A. Valochnik, A. Meleshko // *Blood Cells Mol Dis*. 2018. Vol. 71. P. 29–38.
- Прогностическое значение aberrаций гена IKZF1 у пациентов с В-клеточным острым лимфобластным лейкозом / Вшивкова О.С., Мелешко А.Н. // *Достижения белорусской науки*, вып. XXIII. – Минск, 2019.
- Внутригенные делеции в локусе IKZF1 при остром лимфобластном лейкозе у детей / А.Н. Мелешко, О.С. Вшивкова // *Лабораторная диагностика*. Восточная Европа. 2014. №4 (12). С. 57–65.
- Достижения в терапии острого лимфобластного лейкоза у молодых взрослых Республики Беларусь / Н.В. Мигаль, О.И. Быданов, А.С. Лелей, Е.А. Столярова, Л.В. Мовчан, Е.В. Волочник, О.С. Вшивкова, В.В. Дмитриев, И.В. Тарасевич, Н.Ф. Казакевич, Л.В. Артюшкевич, М.В. Белевцев, О.В. Алейникова // *Гематология и трансфузиология*. Восточная Европа. 2017. №3. Т. 3. С. 352–364.
- Инструкция производителя по использованию TRI Reagent® // <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/protocols/biology/tri-reagent.html>.
- Методы определения aberrаций гена IKZF1 для диагностики острого лимфобластного лейкоза / Мелешко А.Н., Прохоренко И.В. – Минск, 2013.

Статья поступила в редакцию 12.04.2022 г.





**Зарубежный опыт и перспективы правового обеспечения формирования и развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь** / М. Н. Сатолина [и др.] ; под ред. Н. С. Минько. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 249 с. ISBN 978-985-08-2943-6.

Монография представляет собой первое отечественное комплексное исследование международного и зарубежного опыта правового регулирования применения технологий искусственного интеллекта. На основе проведенного анализа определены концептуальные направления правового обеспечения формирования и развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь.

Издание будет интересно практикам, научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам высших учебных заведений, факультетов и специальностей как в юридической сфере, так и в сфере разработки и применения робототехники и робототехнических систем.



**Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года** / В. М. Байчоров [и др.] ; под общ. ред. В. С. Хомича ; Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 332 с. : ил. ISBN 978-985-08-2944-3.

В книге представлен комплексный прогноз изменения и состояния природной среды Беларуси на период до 2035 г., включающий прогнозы изменений климата, состояния атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земельных ресурсов и почв, растительного и животного мира, биологического разнообразия, а также значимых для окружающей среды проблем обращения с отходами и радиационного загрязнения. Рассматриваются методические аспекты прогноза, приводятся ретроспективный анализ, оценка и прогноз факторов, оказывающих влияние на природную среду Беларуси. Анализируются основные угрозы в экологической сфере в прогнозируемый период, обосновываются приоритетные направления действий по их устранению.

Издание предназначено для работников органов управления, ученых и специалистов в области охраны окружающей среды, преподавателей и студентов вузов, широкого круга лиц, интересующихся экологическими проблемами Беларуси.



**Прилуцкая, В. А. Клинические и медико-социальные основы оценки здоровья маловесных и крупновесных детей** / В. А. Прилуцкая, А. В. Сукало. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 300 с. ISBN 978-985-08-2950-4.

Монография посвящена проблеме сохранения здоровья детей, рожденных с крупной и низкой массой, и актуальным вопросам изучения основ и перспектив их роста и развития. Отражены современные представления и результаты многолетних исследований авторов о причинах и факторах риска рождения детей с отклонениями массы тела, состоянии здоровья крупновесных и маловесных новорожденных в период адаптации и в последующие годы жизни. Комплексно изучены факторы депонирования и мобилизации энергетических субстратов, механизмы, определяющие формирование избыточной массы тела и ожирения, представлена программа медицинской профилактики нарушений физического развития и метаболического дисбаланса.

Предназначена для врачей-неонатологов, врачей-педиатров, акушеров-гинекологов, врачей общей практики, студентов медицинских учреждений высшего образования.

## РУП «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «БЕЛОРУССКАЯ НАУКА»

*предлагает литературу*

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

*принимает заказы на печать*

- бланки формата А<sub>5</sub>, А<sub>4</sub>, А<sub>3</sub>
  - грамоты ● дипломы
  - канцелярские книги
  - блокноты ● блоки для записей
  - календари ● буклеты
  - проспекты (с разработкой дизайна)
- тираж от 1 экземпляра*

*Получить информацию об изданиях и оформить заказы можно по телефонам: (+37517) 396-83-27, 370-64-17, 267-03-74. Адрес: ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск, Республика Беларусь belnauka@mail.ru www.belnauka.by*





Иридодиктиум Катарины 2011 г.  
(*Iridodictyum x catharinae*  
D. Dubovik nothosp. nov.)



Кандык собачий зуб 2010 г.  
(*Erythronium dens-canis* L.)



Нарцисс несовершенный 2010 г.  
(*Narcissus x incomparabilis* Mill.)



Рябчик камчатский 2011 г.  
(*Frutillaria camschatcensis* (L.) Ker Gawl.)



Кувшинка Марлика 2020 г.  
(*Nymphaea x marliacea* hort.  
ex Latour-Marliac)

# Национальное достояние Республики Беларусь – ГЕРБАРИЙ Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси



Мак ложновосточный 2010 г.  
(*Papaver pseudo-orientale*  
(Fedde) Medw.)



Мышинный гиацинт армянский  
2011 г. (*Muscari armeniacum*  
Leichtlin ex Baker)



Нарцисс ложнонарциссовый 2010 г.  
(*Narcissus pseudonarcissus* L.)



Рябчик императорский 2010 г.  
(*Frutillaria imperialis* L.)



Кандык сибирский 2010 г.  
(*Erythronium sibiricum*  
(Fisch. et C.A. Mey.) Krylov)



Пион гибридный 2010 г.  
(*Paeonia x hybrida* hort.)



Хоста подорожниковая 2010 г.  
(*Hosta plantaginea* (Lam.) Aschers.)



Хоста Форчуна 2010 г.  
(*Hosta x fortunei* (Baker) L.H. Bailey)



Щирица хвостатая 2006 г.  
(*Amaranthus caudatus* L.)

Подробности на сайте: <https://herbarium-msk.botany.by>