

## О необходимости возрождения криогенного машиностроения в России



**АРХАРОВ И. А.**

*Д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана, ученый секретарь Международного Института Холода IIR/IIF (France), член наблюдательного совета МАС мегасайенс-проекта NISA (Дубна), член экспертного совета ВАК по энергетике, академик Международной академии холода (МАХ)*

аргона, разделение природных газов на фракции и компоненты, сжижение метана, водорода, гелия, неона и других газов.

Во всех высокоразвитых странах мира крупномасштабное производство технических, специальных газов и газовых смесей относится к приоритетным технологиям в составе отдельного стратегического направления развития научно-технического потенциала государства — криогенного машиностроения. Именно криогенные технологии позволяют получать сотни тысяч кубических метров в час промышленных газов высокой и сверхвысокой чистоты, обеспечивая развитие многих отраслей экономики страны. Сложившаяся сегодня в России ситуация в индустрии холода вызывает не просто тревогу, а скорее ощущение фатальной утраты национальной безопасности в данном вопросе!

### Преамбула

Сокращение производства в России технических, специальных и медицинских газов наблюдается последние 20 лет. Ярким примером стал острый дефицит медицинского кислорода в лечебных учреждениях страны в условиях пандемии SARS-CoV-2 в 2019–2020 гг. Данная ситуация явилась следствием значительного, по разным оценкам в три или даже четыре раза, снижения производства медицинского кислорода, так как основными производителями оказались иностранные компании.

Основным сырьем для производства кислорода, азота, аргона и других технических газов является воздух, который в промышленных масштабах на компоненты разделяют на специальных криогенных предприятиях — воздухоразделительных установках (ВРУ). Главная составляющая себестоимости продуктов разделения (70–

80%) — это стоимость потребляемой электроэнергии, а рентабельность производства напрямую зависит от установленных тарифов. Это прекрасно понимали руководители крупнейших мировых газовых транснациональных корпораций, таких как Линде (Linde Group), Эр Ликид (Air L'iquid), Эйр Продакс (Air Products), Праксейр (PRAXAIR Inc.), основным конечным бенефициаром которых является американский капитал. Под благоприятным предложением широкомасштабных инвестиций в отечественную инфраструктуру криогенной отрасли эти международные корпорации, получив льготы на землепользование и беспрецедентную скидку в тарифах на электроэнергию, смогли в кратчайшие сроки подчинить себе фактически весь рынок промышленных и медицинских газов в стране, одновременно разрушив отечественное криогенное машиностроение. Фактически на сегодняшний момент остаются способными к выпуску отечественных ВРУ только ПАО «Криогенмаш» (г. Балашиха, Моск. обл.) и АО НПО «Гелиймаш» (Москва).

Отечественные производители, по сути, были вытеснены с рынка газовой продукции и отстранены от проведения активной ценовой политики в секторе технических газов и, прежде всего, стратегического газа-кислорода. В результате в настоящий момент мы наблюдаем рост цен на кислород, прежде всего медицинский, за счет искусственно созданного ажиотажа на рынке. Только за 2020 г., по моей оценке, бюджет нашей страны потерял на переплате за медицинский кислород от трех с половиной до пяти миллиардов рублей. Другие промышленные редкие газы стратегического назначения — неон, криптон и ксенон вывозятся из страны зарубежными корпорациями по себестоимости, отличающейся от мировых цен на порядок. Анонсированный уход указанных зарубежных корпораций с отечественного рынка в 2022 г. и Постановление Правительства РФ о запрете экспорта редких газов пока только внесли дополнительную неопределенность и не привели к изменению ситуации. Наблюдаемый дефицит ксенона может остановить многие проекты госкорпорации «Роскосмос» или существенно их удорожить.

Однако, сложившаяся ситуация с медицинским кислородом и редкими газами является только видимой частью «айсберга», с которым может столкнуться вся наша экономика в ближайшие несколько лет, в отсутствии консолидированной позиции по сохранению и развитию криогенного машиностроения. И здесь вопросы безопасности страны в целом выходят на первый план и определяются первоочередные задачи по следующим направлениям.

— *Оборонные технологии.* Низкотемпературная и криовакуумная техника крайне важна для оборонных отраслей: заправочные ракетные комплексы, имитационные испытания авиационно-космической техники, спутниковые системы, криогенная оптика в системах раннего предупреждения, микрокриогенные охладители для инфракрасных систем высокоточного оружия.

— *Энергетика.* Искусственный холод на уровне криогенных температур необходим при создании современной водородной энергетики, в технологиях сжижения природного газа, физике элементарных частиц, прикладной сверхпроводимости, термоядерного синтеза. Для экономики страны имеет колоссальное значение перевод транспорта (автомобильного, железнодорожного, авиационного, водного, космического) на новые виды топлива — СПГ, метан и водород, как наиболее экологичные и экономичные, которые без криогенных технологий получения, хранения и заправки становятся малорентабельными.

— *Криоэлектроника и криомедицина.* Квантовые суперкомпьютеры, системы биоконсервации клеточных структур, криотерапии и многих другие технологии современного мира и ближайшего будущего невозможны без криогенных температур.

— *Техника низких температур* играет важнейшую роль в обеспечении стратегической безопасности России, в технологиях многих отраслей промышленности, в решении основополагающих социальных вопросов, таких как обеспечение населения качественными и доступными пищевыми продуктами, создание комфортных условий для развития инфраструктуры, работы и проживания граждан, качественное здравоохранение, особое место научные разработки в области искусственного холода занимают в программе борьбы с изменением климата.

Ряд проектов в этом направлении уже находится в стадии реализации корпорациями «Росатом» и «Ростех», компанией «Газпромнефть» и другими. Однако эти проекты скорее исключение, а общее состояние отрасли криогенного машиностроения явно удручающее. Сегодня уход из России большинства зарубежных компаний побуждает активно заняться возрождением отечественного криогенного машиностроения.

### **Что делать? Или первоочередные меры по восстановлению и развитию отрасли**

Для того, что разработать дорожную карту восстановления отрасли следует учесть: опыт СССР, обладавшего одним из самых сильных в мире потенциалов в области криогенного машиностроения и холодильной техники; современную глобальную инфраструктуру транснациональных корпораций; состояние мировых рынков технологического оборудования и промышленных газов.

Криогенное машиностроение в целом и профильное оборудование в частности в силу своей физической сущности, применяемых материалов и работы в условиях сверхнизких температур и глубокого вакуума является технически сложной, деликатной, дорогостоящей (затратной) и наукоемкой сферой. Создание такого оборудования требует научного задела и *жесткой системы централизованного и корпоративного (сбалансированного) управления производством* с подключением значительного числа соисполнителей и поставщиков.

Примером эффективного решения жизненно важной научно-практической задачи в нашей стране по производству газообразного и жидкого кислорода для нужд металлургии и обороны были работы, выполненные под научно-техническим руководством академика Капицы П. Л. С этой целью по личной инициативе Стали-

на И. В. в самый разгар Второй мировой войны, в 1943 г. был создан «Главкислород», а академик, ученик и соратник Э. Резерфорда, Нобелевский лауреат Капица П. Л. был назначен начальником этой организации с прямым подчинением Председателю Совета Министров СССР. При «Главкислороде» был образован Научно-технический совет, в задачи которого входило как собственно организация производства кислородных установок низкого давления, так и изучение перспективных областей применения кислорода в народном хозяйстве.

По существу «Главкислород» представлял собой своего рода особую государственную корпорацию в современном понимании. Результат деятельности «Главкислорода» — создание и освоение в короткие сроки впервые в мире серийного производства не имеющих аналогов высокопроизводительных установок низкого давления с турбодетандером, единичная производительность которых в 10 раз превосходила существующие. Задачи решались впервые и комплексно: наряду с производством и внедрением новых кислородных установок началась подготовка в ряде вузов Москвы инженеров для работы с новыми кислородно-криогенными установками. В короткие сроки страна вышла в мировые лидеры по объему производства технических газов — кислорода для металлургии; азота, кислорода и гелия для химических предприятий; фтора и аргона для других отраслей.

В дальнейшем были построены, перепрофилированы и введены в строй крупные промышленные предприятия кислородно-криогенного направления в Москве и Московском регионе, Ленинграде, Свердловске, Омске, Харькове и Одессе. За сравнительно короткие сроки на предприятиях кислородно-криогенного направления было освоено производство широкой номенклатуры сложного оборудования, страна была полностью освобождена от импорта дорогостоящего стратегически важного оборудования, в разы был увеличен экспорт.

Благодаря применению *корпоративного принципа* Научно-технического Совета «Главкислорода» П. Л. Капицы, при создании кислородно-криогенного оборудования, были сокращены в среднем в 2...2,5 раза общепринятые сроки создания новой техники. На предприятиях кислородно-криогенного направления была реализована идея научно-производственного объединения, «пресловутое» понятие «сроки внедрения» новой техники было исключено благодаря проведению жесткой централизованной, выверенной на практике и эффективно направленной системы управления наукой и производством. Возглавлял работы генеральный конструктор по криогенной технике, талантливый ученый и руководитель член-корреспондент АН СССР, Герой Социалистического Труда — Беляков В. П.

В период 80–90 гг. прошлого века предприятиями кислородно-криогенного направления впервые в мировой практике были проведены масштабные приоритетные работы национальных целей развития, среди которых особое значение имеют следующие:

- криогенные наземные системы хранения и заправки криогенными компонентами ракетно-космических комплексов, прямое и непосредственное участие в реализации космического проекта «Энергия — Буран»;
- полномасштабные имитаторы космического пространства и термобарокамеры;

— гелиевые системы криогенного обеспечения термоядерных установок «Токамак»;

— криогенное производство дейтерия ректификацией жидкого водорода, осуществленное впервые в мире группой ученых и инженеров под руководством М. П. Малкова, обеспечило страну тяжелой водой  $D_2O$  и гарантировало успешное развитие атомного проекта как в гражданских, так и в оборонных технологиях;

— криогенное оборудование для протон-протонного коллайдера на сверхпроводящих магнитах (УНК);

— кислородно-криогенное оборудование для промышленного МГД-генератора, сверхпроводящих кабелей и участков сверхпроводящих линий электропередач, включая системы охлаждения жидким гелием до температур 4 К;

— крупнотоннажные воздухоразделительные установки часовой производительностью 70 тыс. кубометров газообразного кислорода и 10 тонн жидкого кислорода и азота;

— работы по программе устранения последствий аварии на Чернобыльской АЭС;

— кислородные и криогенные устройства и системы для медицинских целей.

Предприятия кислородного машиностроения тесно сотрудничали с академическими учреждениями страны, что позволило реализовать на практике достижения и идеи выдающихся научных деятелей и ученых. Среди них академики Александров А. П., Велихов Е. И., Кадомцев Б. Б., Бармин В. П., Шейндлин А. Е., Глушко В. П., Чазов Е. И., Ефуни С. Н., Веркин Б. И.

В этот период была создана стройная система профильной подготовки инженерных кадров для криогенной отрасли. Высшие учебные заведения Москвы, Санкт-Петербурга, г. Казани и г. Омска полностью обеспечивали промышленность и научно-исследовательские центры специалистами в области техники низких температур и глубокого холода.

Наибольшей практической направленностью всегда отличалась признанная школа подготовки инженерных кадров для криогенной отрасли в МВТУ им. Баумана. Создателем этой школы и ее ярким представителем является академик РАЕН, председатель московского регионального отделения Международной академии холода (МАХ) профессор Архаров А. М. Под его руководством и при личном участии была сформирована и внедрена концепция системы подготовки специалистов факультета Энергомашиностроения таким образом, что эта созданная система активно воздействует на направленность и практическое развитие всей криогенной отрасли.

Очевидно, что в современных условиях повторить опыт наших предшественников и учителей в полном объеме невозможно. Но не взять его за основу было бы не разумно. Именно поэтому, исходя из уже проработанных и озвученных Правительством РФ принципов развития отраслей народного хозяйства, с учетом исторического опыта формирования в нашей стране криогенного машиностроения и сектора промышленных газов, предлагается следующий подход.

Обратиться от имени Международной академии холода к органам государственной власти России организовать на базе, пока еще существующих предприятий

криогенного направления, объединяющую их материальные и кадровые ресурсы в единую государственную корпорацию (госпредприятие) по типу «Главкислорода» с прямым подчинением Правительству (через ВЭБ РФ).

Поскольку определяющим условием создания государственной корпорации (государственного предприятия) является ориентир на достижение национальных целей развития, то в условиях сложившейся ситуации таким направлением приоритетного отечественного развития является отрасль «Криогенного машиностроения и холодильной промышленности».

Совершенствование системы управления предприятиями и повышение эффективности работы отраслей народного хозяйства в целом постоянно находится под пристальным вниманием со стороны государственных органов и правительства РФ. В ноябре 2020 г. председатель Правительства Российской Федерации М. В. Мишустин объявил о предстоящей крупной реорганизации в системе так называемых «российских институтов развития». Их ориентируют на достижение национальных целей развития, дублирующие функции сократят, часть структур ликвидируют, часть укрупнят. По поручению президента РФ В. В. Путина правительство проанализировало работу основных действующих институтов развития. Вот слова из доклада премьер-министра: *«За последние годы появились новые вызовы, которые требуют существенной корректировки их работы и перспективных планов. Наш анализ показал, что деятельность этих институтов, по сути, слабо увязана с новыми национальными целями развития, отсутствуют единые механизмы управления, есть существенное пересечение функций с федеральными органами исполнительной власти и коммерческими организациями».*

Цель предстоящей реформы: сделать так называемые институты развития более эффективными и переориентировать их на достижение национальных целей развития.

Сегодня в стране уже созданы и функционируют более 40 различных фондов, банков и корпораций. Все они создавались для решения конкретных задач — поддержки инноваций, малого и среднего бизнеса, экспорта, регионального развития. Наиболее яркой структурой управления является государственная корпорация, понятие которой введено Федеральным законом от 08.07.1999 N 140-ФЗ статья пункт 7.1. Отличительная особенность государственной корпорации состоит в том, что это некоммерческая организация, которая создается на основании федерального закона, а имущество, переданное государственной корпорации Российской Федерацией, является собственностью государственной корпорации. Законом предусмотрено, что Государственная корпорация не отвечает по обязательствам РФ, а Российская Федерация не отвечает по обязательствам государственной корпорации, если законом, предусматривающим создание государственной корпорации, не предусмотрено иное.

Государственные корпорации и государственные предприятия близки между собой по смыслу и входят они в общее понятие госкомпания. Оба типа организации регулируются положениями одного и того же закона.

В случае положительного решения в России будет сохранена исключительно важная наукоемкая отрасль, которая напрямую активно влияет на развитие опреде-

ляющих отраслей промышленности, здравоохранения и укрепления обороноспособности страны. Первостепенными задачами вновь созданной госкорпорации должны стать следующие:

1. Создание научно-технического совета (НТС) с привлечением ведущих специалистов промышленности, бизнеса и академического сообщества в области криогенного машиностроения, холодильной промышленности и инженерной криологии.

2. Формирование федеральной программы развития по низкотемпературным и криогенным технологиям, которая может включать в себя следующие направления.

— Водородная энергетика и криогенные топливные системы.

— Системы сжижения, хранения и транспортировки криогенных газов, жидкостей и льда. Крупнотоннажные технологии производства и ожижения кислорода, водорода, СПГ и гелия.

— Получение промышленных и специальных газов, изотопов, веществ, в том числе особо чистых, низкотемпературными методами. Криогенные системы разделения и получения редких газов неона, ксенона и криптона, для обеспечения работы фабрик полупроводников.

— Низкотемпературные материалы, сплавы и композиты.

— Криоэлектроника и криоэлектроэнергетика. Сверхпроводящие магнитные системы, электроприводы и кабели.

— Криогенное и холодильное машиностроение.

— Промышленные холодильные системы.

— Искусственный холод в обеспечении продовольствием.

— Системы кондиционирования и жизнеобеспечения.

— Криомедицина и криобиология.

— Криофизика.

3. Определение в качестве опорных вузов по развитию научных исследований и подготовке специалистов в области инженерной криологии Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана и Университет ИТМО (Санкт-Петербург), сохранивших наиболее сильные научно-педагогические школы в данной области. Воссоздание Института РАН физики низких температур.

4. Формирование базовых научно-исследовательских центров по криологии с частичным бюджетным финансированием в университетах, при которых функционируют Диссертационные Советы по специальности ВАК 02.04.08.: Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Университет ИТМО (Санкт-Петербург), Дагестанский государственный технический университет, Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна).

5. Разработка программы привлечения к софинансированию научно-исследовательских центров, лабораторий, НИР и НИОКР в области инженерной криологии профильных предприятий и госкорпораций.

### Заключение

В России, в результате неконтролируемого и зачастую стихийного процесса приватизации 90-х и 2000-х

годов отрасль криогенного машиностроения понесла существенные потери. Разрушена ранее существовавшая централизованная система производства технических, специальных и медицинских газов.

Практически ликвидированы национальные структуры по разработке, проектированию и производству специального оборудования криогенного и холодильного машиностроения, являющегося профильным для получения промышленных газов в крупных масштабах.

Система подготовки кадров высшей квалификации лишилась многих научных школ и практик опорных предприятий. К 2022 г. Россия во многом утратила свои разработки и технологии в области криогенного и холодильного машиностроения, микрокриогенной техники, разделения воздуха и природных газов, ожижения, транспортировки и хранения криогенных жидкостей. Особенно в крупнотоннажных производствах кислорода, водорода, гелия.

Сохранившиеся научно-педагогические школы в российских университетах и НИИ утрачивают свои позиции. Данное направление не включено в перечень приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса РФ и список критических технологий на ближайшую перспективу и отсутствуют государственные программы его целевой поддержки. Однако большинство прорывных открытий в мире за последних 20 лет связано с исследованиями свойств живой и неживой материи при криогенных температурах, что наглядно отражает перечень работ лауреатов Нобелевской премии в области физики, химии, биологии. Пять Нобелевских премий в области крио за 20 лет:

— 2001 г. (физика) Вейман К., Кеттерле В., Корнелл Э. А — за работы по получению конденсата Бозе — Эйнштейна в разреженных газах. Исследования применяются в сфере высокоточных измерений и нанотехнологий, позволяют контролировать поведение лазерного луча и материи. Это работа на будущее;

— 2003 г. (физика) Абрикосов А. А, Гинзбург В. Л., Леггет Э. — за труды в области изучения сверхпроводимости и сверхтекучести. Эти работы были выполнены более 50 лет назад!

— 2012 г. (физика) Арош Серж, Уайнленд Дэвид за создание прорывных технологий манипулирования квантовыми системами, которые сделали возможными измерение отдельных квантовых систем и управление ими. Наше настоящее и будущее квантовых вычислений;

— 2016 г. (физика) Дэйвид Таулесс, Данкан Холдейн, Джон Костерлиц — за теоретические открытия топологических фазовых переходов и топологических фаз вещества. Настоящее и будущее квантовых систем;

— 2017 г. (химия) Жак Дебуше, Йоахим Франк, Ричард Хендерсон — за разработку криоэлектронной микроскопии для определения структуры молекул с высоким разрешением в растворе.

Увеличивающееся отставание от мировых лидеров в отрасли, с фактическим приближением к фатальному порогу, будет иметь долговременные негативные последствия для научно-технологического развития России. В случае окончательной утраты существующего потенциала потребуется длительное время на создание заново кадрового потенциала, научно-технологической базы и должного уровня разработок.