

П.Л. Капица: «Считаю кислородную проблему важнейшей для развития нашей промышленности»

Морозова Стелла Гургеновна

Политехнический музей, Москва, Россия

Представлен выдающийся вклад П.Л. Капицы в дело получения жидкого кислорода, прослежен путь от рождения идеи использовать в качестве конструктивного прототипа водяную турбину до разработки промышленного способа получения жидкого кислорода ожижением воздуха на установках низкого давления. Отмечены упорство и непреклонность ученого, преодолевающего все трудности внедрения «новой» техники в заводскую практику. Подчеркнуто стремление Капицы связать результаты новейших научных разработок с решением самых разнообразных задач современного народного хозяйства, особенно в тяжелые годы Великой Отечественной войны. В статье широко представлены высказывания ученого, оставившего большое эпистолярное наследие с детальным описанием исследований и опытов при достижении желанной цели: «дать стране дешевый кислород».

Ключевые слова: криогеника, ожижение воздуха, турбина, жидкий кислород, интенсификация промышленности

Цитирование: Морозова С.Г. П.Л. Капица: «Считаю кислородную проблему важнейшей для развития нашей промышленности» // Журнал Российского национального комитета по истории и философии науки и техники. 2025. Т. 3, вып. 2. С. 126-138

P.L. Kapitsa: “I consider the oxygen problem to be the most important one for the development of our industry”

Stella G. Morozova

Polytechnic Museum, Moscow, Russia

The article describes P.L. Kapitsa's outstanding contribution to the production of liquid oxygen, from the birth of the idea to use water turbine as a constructive prototype to the development of an industrial method for producing liquid oxygen by air liquefaction in low-pressure units. The scientist showed remarkable persistence and determination in overcoming difficulties associated with introducing “new” technology in the factory's operations. It is emphasized that Kapitsa intended to implement the results of the latest scientific developments in addressing a broad range of tasks of the national economy, particularly in the hard years of the Great Patriotic War. Kapitsa's epistolary heritage is abundant, including detailed descriptions of his studies and experiments aimed to achieve the desired goal of “providing the country with cheap oxygen.” The article contains many of his quotes.

Keywords: Cryogenics, air liquefaction, turbine, liquid oxygen, industrial intensification

Петр Леонидович Капица (1894–1984), охвативший своим творчеством огромный диапазон тем и направлений (сверхсильные магнитные поля, физика низких температур, электроника больших мощностей), входит в плеяду наиболее ярких физиков XX века. В своих исследованиях он проявлял черты и виртуозного экспериментатора, и глубокого теоретика, и выдающегося инженера. Но есть еще одна сфера деятельности Капицы, в которой он предстает как серьезный государственный деятель и блестящий организатор промышленности. Это создание высокоэффективного и экономичного способа получения жидкого кислорода путем ожижения воздуха на установках низкого давления.

Кислород стали получать в химических лабораториях в конце XVIII в., подвергая нагреванию его соединения с другими элементами – перманганат калия (марганцовку), хлорат калия (бертолетову соль) и др. Выделяемый в незначительных количествах кислород не находил в те времена широкого применения, лишь в лабораториях – для проведения химических исследований, и в медицинских целях – для лечения затрудненного дыхания при легочных и сердечных заболеваниях. Ситуация изменилась в XIX в., когда ученые нашли способ производства кислорода из самого обильного его источника – воздуха, путем повышения его естественной концентрации в жидком состоянии. Впервые воздух был получен в жидком состоянии в 1877 г. швейцарским физиком Р. Пикте и одновременно с ним французским инженером Л. Кальете. Каскадный метод Пикте, основанный на принципе испарения, являлся вполне эффективным, но в силу своей сложности и громоздкости он не получил широкого распространения.

В 1895 г. У. Гемпсон (Англия) и К. фон Линде (Германия) независимо друг от друга разработали новый метод ожижения воздуха, основанный на эффекте Джоуля – Томсона. Адиабатическое¹ дросселирование² сжатого воздуха приводило к его охлаждению, наличие теплообменника обеспечивало регенерацию, т.е. использовался холод, производимый в самом процессе. В результате непрерывной циркуляции газа, истекающего из дросселя, он охлаждался настолько, что ожижался. Простота конструкции этих ожижителей, несмотря на малую эффективность холодильных циклов, привела к тому, что жидкий воздух начал шире использоваться в лабораторной практике, главным образом как холодильный агент.

В 1899 г. К. Линде и Е. Бейли (Англия), исследуя жидкий воздух как смесь жидких газов – азота и кислорода, почти одновременно открыли, что жидкий воздух при испарении обогащается кислородом. Это происходит благодаря тому, что температура кипения азота при атмосферном давлении на 12,8° ниже, чем кислорода. Линде применил к жидкому воздуху известный с незапамятных времен способ разгонки смесей

¹ Адиабатический процесс (адиабатный процесс) – термодинамический процесс, происходящий в системе без теплообмена с окружающей средой.

² Дросселирование – понижение давления газа или пара при протекании через сужение проходного канала трубопровода – дроссель, либо через пористую перегородку.

жидкостей, основанный на разнице температур кипения компонентов (например, спирта, нефти) и положил это явление в основу своего технического метода разделения воздуха, открыв тем самым возможность дешевого получения кислорода. В первой трети XX в. строительство «кислородных» установок приобрело значительные масштабы. В основном это были установки по схемам высокого давления воздуха с химической очисткой и поршневыми компрессорами. Все возрастающий спрос промышленности на кислород ставил перед учеными и инженерами задачу о наиболее экономичных методах его получения как в части удешевления аппаратуры, так и с точки зрения повышения эффективности ее работы.

П.Л. Капица подключился к проблемам получения кислорода в марте 1936 г. В ходе встречи группы инженеров 1-го Московского автогенного завода с сотрудниками Института физических проблем (ИФП) обсуждались «вопросы разделения кислорода и азота из воздуха с точки зрения использования газа для доменных печей» (Бродянский, 1994, с. 32). Инженеров интересовали причины малого по сравнению с теоретическим минимумом КПД современных воздухоразделительных установок (0,14–0,15), но ученые затруднились с ответом. Для выяснения природы низкой эффективности современных методов производства кислорода и усовершенствования их П.Л. Капица проанализировал источники возможных потерь энергии на всех этапах многоступенчатого процесса разделения воздуха.

Производство кислорода состояло из следующих операций: очистка и теплообмен поступающего воздуха с выходящим кислородом и азотом; его охлаждение до уровня температуры ожижения; и наконец, ректификация, обеспечивающая разделение. Капица определил, что основным элементом разделительной

установки с точки зрения потерь является аппаратура, создающая жидкий воздух. Отвергая принятые на практике схемы сжатия воздуха (частично до низких давлений (5–6 атм), частично до высоких значений (200 атм)), он, прежде всего, предложил разрабатывать холодильные циклы при низких давлениях, что «сделает возможным применять только одно сжатие» и позволит полностью перейти на турбокомпрессоры, которые, в отличие от поршневых (как в случае высоких давлений), имеют больший КПД, значительно меньшие габариты и высокую надежность (Капица, 1939а,

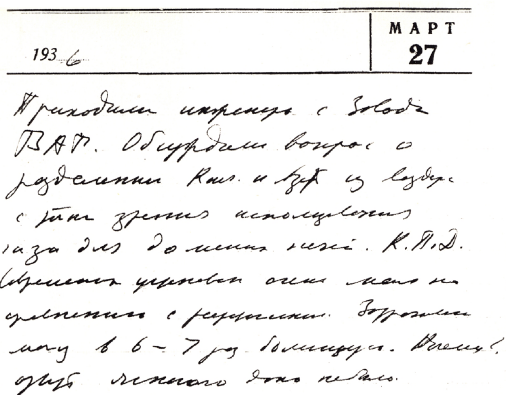


Рис. 1. Дневниковые записи П.Л. Капицы о начале работ по кислородной проблеме. 27 марта 1936 г.³

³ Подписи к изображениям предоставлены Мемориальным музеем-кабинетом академика П.Л. Капицы при ИФП РАН.

с. 103). Только при этом условии, по Капице, можно было перейти к получению жидкого воздуха в больших масштабах, чтобы из него разгонкой отделять кислород. Расчеты Капицы показали, что причина низкого КПД холодильного цикла лежит, главным образом, в несовершенстве работы поршневых детандеров, особенно проявляющегося при низких давлениях (трудности заключаются в обеспечении движения поршня в цилиндре с малым трением в условиях отсутствия жидкостей со смазывающими качествами при низких температурах). Единственным условием, по Капице, перехода к получению жидкого воздуха в больших масштабах, чтобы из него разгонкой отделять кислород, является отказ от поршневых компрессоров и детандеров и переход к турбинам (Капица, 1974, с. 30).

Идея использования холодильной турбины в качестве детандера с целью исключения проблем смазки поршневых машин была высказана еще в 1898 г. английским физиком Дж. Рэлеем, однако вплоть до конца 1930-х гг. она так и не нашла применения. Главное затруднение заключалось в том, что все построенные до тех пор турбины отличались низким КПД, и поэтому использовались лишь как вспомогательные источники холода. П.Л. Капица на основании расчетов доказал ошибочность применения в качестве конструктивного типа турбин для холодильного цикла активной паровой турбины с аксиальным движением воздуха. Он отметил, что при низких температурах воздух приобретает высокую плотность и малую скорость потока, т.е. проявляет свойства жидкости, оставаясь в то же время газом (сжимаемой средой), и предложил взять за конструктивный прототип нового турбодетандера водяную турбину. Экспериментальная проверка подтвердила правильность его теоретических соображений.

Уже в январе 1938 г. в мастерских ИФП был создан небольшой опытный турбодетандер, показавший почти сразу феноменальный для такой машины КПД – около 0,8, и сконструирована первая опытная лабораторная установка низкого давления для ожижения воздуха (Бродянский, 1994, с. 34). Эти успехи тем более поразительны, что институт к этому времени представлял собой небольшой коллектив: 7 научных сотрудников, 7 лаборантов, техников, конструкторов и около 20 рабочих высокой квалификации – механиков, стеклодувов, столяров, электриков. В декабре 1938 г. в институте были закончены опыты по разгонке жидкого воздуха и получению жидкого кислорода концентрации 93,5%. После незначительных усовершенствований установки на ней удалось добиться производительности около 30 кубических метров жидкого воздуха в час при затратах 1,3 киловатт-часа 16 сентября 1938 г. Капица получил авторское свидетельство на изобретение нового центростремительного реактивного турбодетандера. Впоследствии на турбодетандер Капицы были получены патенты в Германии, Англии, Франции и США.

Чтобы преодолеть недоверие отечественных специалистов по холодильному делу к новым идеям в области получения жидкого воздуха, опровергающим подходы, узаконенные многолетней практикой инженерной техники, Капица проводит активную разъяснительную работу: выступает

с докладом на Президиуме Академии наук СССР, в феврале 1939 г. в «Журнале технической физики» печатает две статьи с теоретическим обоснованием нового принципа ожижения воздуха «Турбодетандер для получения низких температур и его применение» и «Устойчивость и переход через критические обороты быстро вращающихся роторов при наличии трения» (Капица, 1939а; Капица, 1939b). Капица выпускает статьи на эту тему в ряде популярных журналов: «Плановое хозяйство», «Техника – молодежи», «Знание – сила». 3 апреля 1939 г. по приглашению Всесоюзного совета научно-технических обществ Капица читает лекцию «Получение жидкого воздуха при низких давлениях с применением турбодетандера» в большой аудитории Политехнического музея при значительном стечении публики, в основной инженерной аудитории (афиша лекции и стенографический отчет выступления П.Л. Капицы хранятся в фондах отдела письменных источников Политехнического музея); в течение 1939 г. он развивает эту тему в выступлениях в инженерно-технических обществах Москвы и Ленинграда.

В начале 1939 г. постановлением правительства к освоению турбокислородных установок (ТК) была привлечена промышленность: Наркомату тяжелого машиностроения (НКТМ) в течение года предписывалось выпустить 10 установок, причем первую – к 10 августа 1939 г. На ИФП была возложена задача подготовки и передачи в производство чертежей ТК. Но Капица не ограничился ролью ученого, теоретически обосновавшего новый принцип ожижения воздуха и доказавшего его осуществимость на построенной им установке. Он считает: «Всякое искание нового, еще не сделанного сопряжено с неожиданностями и трудностями, которые могут появиться даже на самом конечном этапе работы, и поэтому пока из первой домны не потечет чугун, выплавляемый на обогащенном дутье, нашу задачу нельзя считать законченной» (Капица, 1986, с. 5).

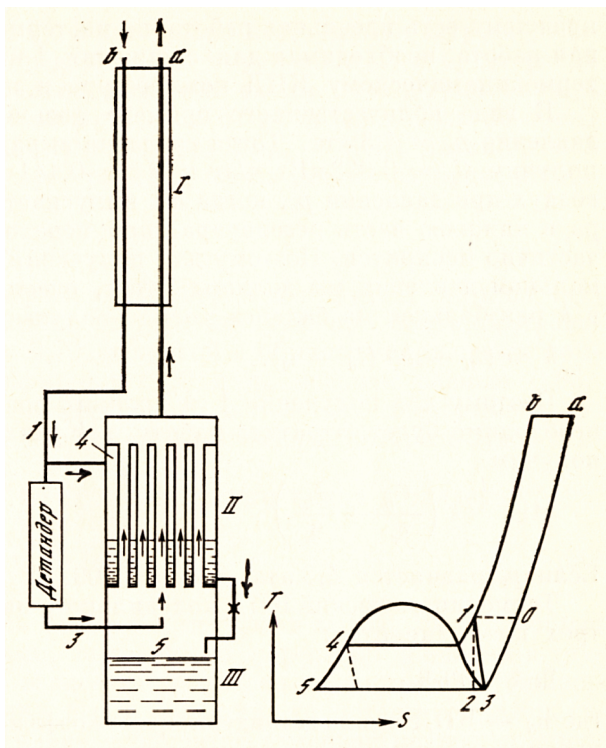


Рис. 2. Схема цикла ожижения воздуха на установках с низким давлением:
I – теплообменник, II – конденсор, III – резервуар.
Источник: Журнал технической физики, статья П.Л. Капицы, 1939 г., рис.2

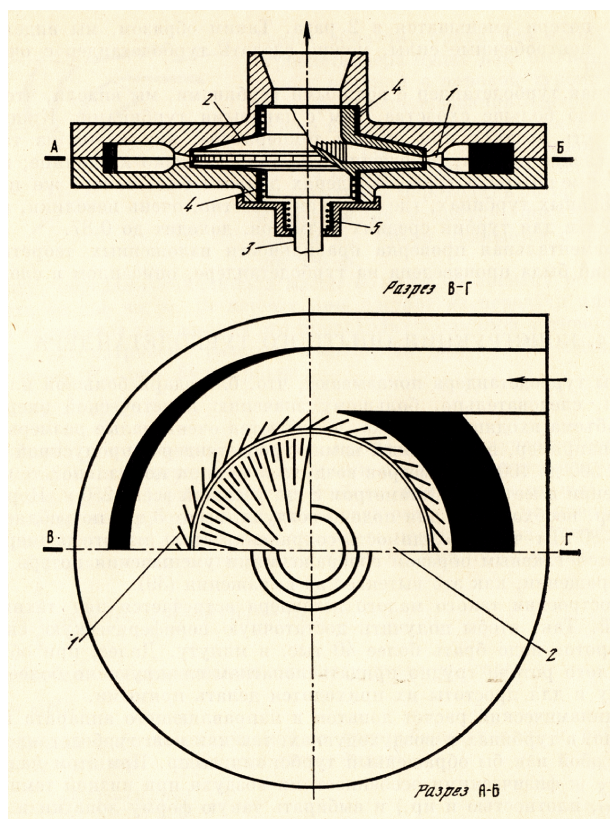


Рис. 3. Чертеж конструкции турбодетандера:
1 – сопла, 2 – ротор, 3 – вал, 4 – лабиринтовые уплотнения, 5 – ось.

Источник: Журнал технической физики, статья П.Л. Капицы, 1939 г., рис. 5

Из специальных ежегодных отчетов, которые П.Л. Капица направлял в Экономсовет при СНК СССР в период с 14 февраля 1939 г. по 30 июня 1941 г. с детальным описанием всех моментов внедрения новых установок в отечественную промышленность, видно, как трудно протекал этот процесс (Капица, 1986). На пути внедрения «новой техники» Капице пришлось преодолевать сопротивление не только неповоротливого громоздкого механизма серийного производства, но и скептическую, а порой и негативную позицию отечественных специалистов. В 22 составленных Капицей отчетах «путь к получению кислорода» делился им на три части: «жидкий воздух», «жидкий кислород», «газообразный кислород»; рассказывалось о состоянии дел в каждой части. При-

чем, если в первой части (самой трудной, по определению Капицы) он считал путь пройденным и задача заключалась лишь в освоении опыта промышленностью, во второй части «осталось всего несколько шагов» и особых затруднений не предвиделось, то третью часть пути он считал конечной и наиболее важной, эта часть работы находилась в стадии расчетов и могла осуществляться только после окончания работ по второй части. Капица писал: «Свое положение я ближе всего мог бы сравнить сейчас с положением руководителя экспедиции, задача которого – взять вершину еще никому не известной горы. Мы стоим у подножья горы, перед нами, в облаках, рисуется вершина... В процессе восхождения не один раз придется заходить в тупик, спускаться вниз и пытаться пройти трудное место другим путем. Но пока пик не будет взят – экспедиция не выполнит своей задачи» (Капица, 1986, с. 6).

Одной из ключевых Капица считал проблему «консерватизма инженеров»: «У них наблюдается отсутствие устремления к чему-нибудь новому,

критического мышления и самостоятельного подхода к проектированию» (Капица, 1986, с. 19). Причину сложившейся практики он видел в неправильной политике подготовки инженерных кадров: «Это, конечно, результат нашего технического воспитания, которое ведется как раз такими инженерами и профессорами, которые не привыкли к новым самостоятельным завоеваниям техники, в большинстве своем раболепно молятся на достижения Запада и стараются извлечь оттуда те формулы и указания, которые они получают из литературы или из непосредственного ознакомления с заграничными машинами... таком духе они воспитывают нашу молодежь. Ей дается определенная программа знаний, очень старательно и широко продуманная, но к самостоятельному мышлению их не приучают, привычки принимать собственные решения не воспитывают» (Капица, 1986, с. 20). Для исправления положения в деле подготовки квалифицированных специалистов он предлагает использовать работы со студентами в английских университетах.

Дальнейшие работы созданию турбокислородных установок по настоячивым рекомендациям Капицы были переданы постановлением правительства на Автогенный завод №1 НКТМ в Москве (1-й МАЗ), институту предписывалось осуществлять техническое руководство проектированием ТК и их испытаниями на заводе. П.Л. Капица очень серьезно отнесся к данному поручению: он выделил своего заместителя О.А. Стецкую для работы на заводе с тем, «чтобы она там проводила по крайней мере половину своего времени», что должно было, по его мнению, «обеспечить живой контакт между заводом и институтом» (Капица, 1986, с. 51). На заводе был создан специальный цех и по предложению П.Л. Капицы организовано опытно-конструкторское бюро по созданию турбодетандеров новой конструкции; первая установка была запущена в феврале 1941 г. (Открытое акционерное общество «НПО «Гелиймаш». История становления и развития (1931–2006 гг.), с. 14). Так впервые в истории криогеники удалось оживить воздух в установке промышленного типа, полностью исключив его предварительное сжатие до высокого давления и предварительную очистку. В результате новый процесс для сжижения газов – процесс Капицы – вошел наряду с классическими процессами Линде и Клода во все учебники по криогенике. 13 марта 1941 г. ученому была присуждена Сталинская премия 1 степени за работу «Турбодетандер для получения низких температур и его применение для ожижения воздуха» (Рубинин, 1994, с. 16).

Работы по обработке отдельных узлов установки и звеньев технологического процесса получения жидкого кислорода в ИФП продолжались вплоть до начала Великой Отечественной войны и после эвакуации института 23 июля 1941 г. в Казань. Теперь приемка и испытания установок проводилась в Москве членами Физической комиссии Государственного комитета по обороне (ГКО) с вызовом для этой цели сотрудников института (Капица, 1989, с. 191). Начавшаяся война придала работам над ТК мощный импульс. Запросы на кислород многократно возросли: кроме

применения в медицинских целях в госпиталях и на полях сражений, он использовался и при производстве взрывчатых веществ, и при дальних бомбардировочных полетах военных летчиков. В своих воспоминаниях о войне С.В. Кафтанов, который был уполномоченным Государственного комитета обороны, пишет: «...Взрывчатка. Страна потеряла почти все основные предприятия, производившие до войны взрывчатые вещества: они находились на территории, занятой фашистами. Конечно, производство взрывчатых веществ было организовано на Урале и в Сибири, но фронт требовал большего. И вот химики предложили использовать оксиликвиты – смеси жидкого кислорода с органикой, например, с древесными опилками. Эта простая идея потребовала для своего воплощения больших усилий. Заряженные оксиликвитами бомбы и снаряды нельзя долго хранить, а значит – и транспортировать на большие расстояния. Поэтому получать жидкий кислород надо было прямо в прифронтовой полосе с помощью достаточно мобильных установок. Тут сыграли свою роль новые методы получения жидкого кислорода, разработанные академиком Капицей. Я был на испытаниях оксиликвитных бомб, они хорошо взрывали...» (Кафтанов, 1985).

Осенью 1941 г. были испытаны, приняты правительственной комиссией под руководством заместителя председателя СНК СССР М.З. Сабурова изготовленные и смонтированные в ИФП две опытные установки производительностью до 200 литров в час (ТК-200), затем демонтированы и отгружены на Нижнетагильский вагоностроительный завод (будущий «Танкоград») и на «Уралмаш» в г. Свердловск. Установки ТК-200 сыграли выдающуюся роль в выпуске бронированных листов стали (резка) и заготовке деталей для танков Т-34. Количество выпускаемых танков возросло от нескольких единиц в сутки до нескольких десятков в середине 1942 г. (Удут, 2010, с. 26). В начале 1942 г. Капица предложил использовать жидкий кислород для создания боевого оружия – ранцевых огнеметов и оборудования для противохимической защиты. С этой целью специалисты ИФП и 1-го МАЗ провели многочисленные испытательные работы на полигонах по эффективному использованию кислорода, для чего потребовалось значительное количество жидкого кислорода, который в то время был дефицитом (Удут, 2010). За четыре года работы по усовершенствованию установки под руководством П.Л. Капицы было рассчитано и сконструировано 12 турбин с различными деталями и узлами.

Сотрудниками ИФП под руководством Капицы была смонтирована и запущена в начале 1943 г. первая промышленная установка низкого давления по методу академика Капицы ТК-200 (величина давления равнялась 4–5 атмосферам при значениях в 200 атмосфер на существующих установках) с КПД 0,81–0,82. Комиссия СНК СССР, принимавшая новую установку, рекомендовала ее к внедрению в промышленность. Характеризуя установку в целом, комиссия отметила, что она является «принципиально новым шагом в технике низких температур и большим достижением советской науки» (ГАРФ. Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. Л. 10).

Постановление ГКО № 3317 от 8 мая 1943 г. «Об организации производства и внедрения в промышленность турбокислородных установок академика Капицы» повторило формулировки заключения комиссии СНК о введении в строй ТК-200 и предписало «для организации широкого внедрения в промышленность нового метода получения жидкого кислорода, а также с целью развития метода получения дешевого газообразного кислорода и применения его для интенсификации технологических процессов ряда отраслей промышленности» создать при СНК Главное управление по кислороду (Главкислород) под руководством Капицы (ГАРФ. Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. Л. 72).

Следует отметить, что в основу правительственного решения легли предложения Капицы, которые он развивал в письмах, направленных заместителю председателя ГКО В.М. Молотову 6 и 7 апреля 1943 г. В них ученый вскрыл узловые моменты, приводящие к затруднению процесса внедрения нового метода, наметил основные направления и детальный план работ по реализации своего изобретения. Беспокоясь за судьбу своего изобретения, Капица предлагал создать специальное управление, непосредственно подчиняющееся СНК СССР. Он писал: «Дальше при такой организации труда успеха добиться трудно. Все это время я был погонщиком мулов, а в руке у меня не было не только палки, но даже хворостинки. Поэтому полагаю, что в той или иной форме мне нужно дать официальную власть, чтобы я сам мог руководить вопросами внедрения в производство» (ГАРФ Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. ЛЛ.52–56об). Капица выражал также несогласие с предложением свернуть в ИФП из-за условий военного времени работы по получению газообразного кислорода. В письме к И.В. Сталину от 19 апреля 1943 г. он отмечает: «Сейчас как я, так и члены комиссии Кафтанова считаем, что проблема получения жидкого кислорода в больших масштабах уже решена и готова к внедрению, а мне нужно заняться получением в больших масштабах газообразного кислорода нашим методом. В нормальных условиях, я думаю, что этот последний шаг не труден и есть все основания рассчитывать, что он будет удачно завершен. А тогда открываются перспективы интенсификации металлургии, газификации угля, производства в печах алюминия, карбида и прочие проблемы современной техники, решение которых тормозит на сегодняшний день недостаточная дешевизна газообразного кислорода. Все это, конечно, можно решить, и за эту проблему я с радостью возьмусь» (Капица, 1989, с. 200).

Успехи в запуске установки промышленного масштаба были отмечены правительством: группа сотрудников ИФП, принимавших участие в разработке и внедрении турбокислородных установок, была награждена орденами и медалями, а Капица удостоен ордена Ленина. Выступая на митинге 3 мая 1943 г., посвященном этому торжественному событию, он сказал: «Работа эта примечательна тем, что возникла не из какой-нибудь изобретательской идеи, которая получила чисто конструктивное развитие, а из идеи дать стране дешевый кислород... Все, что мы сделали, – это то, что



Рис. 4. П.Л. Капица – начальник Главкислорода при Совнаркоме СССР. 1945 г.

мы направили нашу научную мысль на поиски возможностей усовершенствования процессов получения дешевого кислорода» (Капица, 1986, с. 3). В августе 1943 г. завершается эвакуация ИФП в Москву.

Наряду с внедрением установки ТК-200 в ИФП с 1942 г. велись работы по проектированию установки производительностью 1500 литров в час (ТК-2000), которая должна была стать крупнейшей в мире воздухо-разделительной установкой низкого давления. 10 октября 1944 г. она вступила в строй на заводе № 28 (г. Балашиха Московской области). По расчетам новая установка должна была давать 2000–2200 литров жидкого кислорода в час, но при испытаниях получалось на 40% меньше, т.е. 1300 литров в час. Однако даже с отклонениями от расчетных величин установка производила в 3–4 раза больше кислорода, чем самые крупные машины поршневого

типа. Впоследствии причины потерь холода были устранены, и установка заработала в полную силу. Подводя результаты пробных испытаний в письме к секретарю ЦК КПСС Г.М. Маленкову 20 октября 1944 г. Капица отмечал: «После первого пуска Балашихи считаю для себя, что стратегически кампания за большие турбокислородные установки выиграна и в этом будущее кислородной проблемы» (Капица, 1994, 68).

И он не ошибся. Его изобретение послужило мощным импульсом к развитию низкотемпературной техники; в стране образовалась крупная новая отрасль народного хозяйства – кислородное и криогенное машиностроение (Грушевский, 2008). Разработанный П.Л. Капицей высокоэффективный радиальный турбодетандер низкого давления с КПД 0,8–0,85 предопределил развитие во всем мире современных крупных установок разделения воздуха для получения кислорода. Сейчас воздухоразделительные установки



Рис. 5. Стационарные цистерны для хранения жидкого кислорода (емкостью 13,5 тонн) на Балашихинском кислородном заводе

низкого давления работают во всем мире, и турбодетандер Капицы использует не только в них, но и во многих других криогенных системах.

Правительственная комиссия во главе с академиком И.П. Бардиным дала высокую оценку работе по созданию установки ТК-2000, которая полностью удовлетворила потребности в кислороде на завершающем этапе войны. 30 апреля 1945 г. указом Президиума Верховного Совета СССР

«за успешную научную разработку нового турбинного метода получения кислорода и за создание мощной турбокислородной установки для производства жидкого кислорода» Капице было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Институт физических проблем был награжден орденом Трудового Красного Знамени (Рубинин, 1994, с. 17).

Внедрение нового метода ожижения воздуха, сделавшее доступным и дешевым производство кислорода, вызвало цепную реакцию появления новых областей его применения. Существенно расширилась традиционная сфера его применения как фактора интенсификации и нормализации процессов дыхания: например, в микробиологии при выращивании дрожжевых микроорганизмов на жидких парафинах нефти, на подводных лодках в кислородных масках для личного состава и т.д. Но самым главным



Рис. 7. Транспортировка жидкого кислорода в железнодорожных цистернах



Рис. 6. Наполнение жидким кислородом транспортных танков (объемом 1000 куб. м) с помощью раздаточной колонки

потребителем стала техника. По выражению Капицы, «логическое развитие техники в огромном большинстве ее отраслей приводит к необходимости интенсифицировать основные технологические процессы путем повышения концентрации участвующего в них кислорода»; таким образом «интенсификация производственных процессов является одной из основных задач современной техники» (Капица, 1944).

Кислород стал широко использоваться на всех стадиях получения черных и цветных металлов: для интенсификации доменных процессов, производства стали конверторным способом, в мартеновских и электроплавильных печах. Хорошо известна еще одна область широкого применения кислорода – сварка и резка металлов. Существенный эффект дает применение кислорода в химической промышленности. Он используется почти во всех производствах: аммиака, ацетилена, метилового спирта, серной кислоты, при переработке нефти и т.д. В больших количествах его применяют в ракетной технике в качестве компонента ракетного топлива, в горнодобывающей промышленности при выработке руд в карьерах и проходке скважин методом огневого бурения. Трудно охватить все те поистине революционные изменения в уровне развития техники и технологий, к которым привела разработка П.Л. Капицей новых принципов ожижения воздуха.

Источники и литература

1. Бродянский В.М. Кислородная эпопея // Природа. 1994. № 4. С. 32–41.
2. Государственный архив Российской Федерации. Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. Л. 10.
3. Государственный архив Российской Федерации. Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. Л. 52–56об.
4. Государственный архив Российской Федерации. Ф. Р-5446. Оп. 44а. Д. 2059. Л. 72.
5. Грушевский В.М. Главкислород, экспериментальный завод № 28, ВНИИКИМАШ // НПО «Гелиймаш»: этапы большого пути. М.: РУСАКИ, 2008. С. 151–183.
6. Капица П.Л. Турбодетандер для получения низких температур и его применение // Журнал технической физики. 1939. Т. 9, вып. 2. С. 99–123.
7. Капица П.Л. Устойчивость и переход через критические обороты быстро вращающихся роторов при наличии трения // Журнал технической физики. 1939. Т. 9, вып. 2. С. 124–136.
8. Капица П.Л. Проблемы интенсификации технологических процессов кислородом // Кислород. 1944. № 1. С. 1–4.
9. Капица П.Л. Приручение кислорода, или один из примеров того, как отвлеченная физическая теория может открыть путь к миллиардной экономии // Наука и жизнь. 1974. № 10. С. 25–31.
10. Капица П.Л. Дешевый кислород – народному хозяйству. М.: Знание, 1986. 64 с.
11. Капица П.Л. Письма о науке. М.: Московский рабочий, 1989. 400 с.
12. Капица П.Л. Отчет секретарю ЦК КПСС Г.М. Маленкову о пробном пуске турбокислородной установки ТК-2000 на Балашихе 20.X.1944 г. // Химия и жизнь. 1994. № 7. С. 65–68.
13. Кафтанов С.В. По тревоге // Химия и жизнь. 1985. № 3. С. 6–10.
14. Открытое акционерное общество «НПО «Гелиймаш». История становления и развития (1931–2006 гг.) / под ред. В.Н. Удута. М.: КолосС, 2006. 276 с.
15. Рубинин П.Е. Хроника: 1894–1984 (основные даты жизни и деятельности П.Л. Капицы) // Природа. 1994. № 4. С. 8–20.
16. Удут В.Н. Петр Леонидович Капица и 1-й Московский автогенный завод в годы Великой Отечественной войны // Наука и техника – фронту. Междунар. научн. конф. 21–23 апреля 2010 г. М.: Политехнический музей, 2010. С. 25–28.

References

1. Brodyanskii, Viktor M. "Kislorodnaya epopeya." Priroda, no. 4, 1994, pp. 32–41.
2. Gosudarstvennyi arkhiv Rossiiskoi Federatsii. F. R-5446. Op. 44a. D. 2059. L. 10.
3. Gosudarstvennyi arkhiv Rossiiskoi Federatsii. F. R-5446. Op. 44a. D. 2059. L. 52–56ob.
4. Gosudarstvennyi arkhiv Rossiiskoi Federatsii. F. R-5446. Op. 44a. D. 2059. L. 72.

5. Grushevskii, Vsevolod M. «Glavkislород, eksperimental'nyi zavod № 28, VNIIMASH.» NPO «Geliimash»: etapy bol'shogo puti, RUSAKI, 2008, p. 181.
6. Kapitsa, Pyotr L. «Turbodetander dlya polucheniya nizkikh temperatur i ego primeneniye.» Zhurnal tekhnicheskoi fiziki, vol. 9, no. 2, 1939, pp. 99–123.
7. Kapitsa, Pyotr L. «Ustoichivost' i perekhod cherez kriticheskie oboroty bystro vrashchayushchikhsya rotorov pri nalichii treniya.» Zhurnal tekhnicheskoi fiziki, vol. 9, no. 2, 1939, pp. 124–136.
8. Kapitsa, Pyotr L. «Problemy intensivatsii tekhnologicheskikh protsessov kislородom.» Kislород, no. 1, 1944, p. 1.
9. Kapitsa, Pyotr L. «Priruchenie kislорода, ili odin iz primerov togo, kak otvlechennaya fizi-cheskaya teoriya mozhet otkryt' put' k milliardnoi ekonomii.» Nauka i zhizn', no. 10, 1974, pp. 25–31.
10. Kapitsa, Pyotr L. Deshevyi kislород – narodnomu khozyaistvu. Znanie, 1986.
11. Kapitsa, Pyotr L. Pis'ma o nauke. Moskovskii rabochii, 1989.
12. Kapitsa, Pyotr L. «Otchet sekretaryu TsK KPSS G.M. Malenkovu o probnom puske turbokislородnoi ustanovki TK–2000 na Balashikhe. 20 oktyabrya 1944 g.» Khimiya i zhizn', no. 7, 1994, pp. 65–68.
13. Kaftanov, Sergei V. «Po trevoge.» Khimiya i zhizn', no. 3, 1985, p. 6–10.
14. Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo «NPO «Geliimash». Istoriya stanovleniya i razvitiya (1931–2006 gg.). Edited by Vadim N. Udut, KolosS, 2006.
15. Rubinin, Pavel E. «Khronika: 1894–1984 (osnovnye daty zhizni i deyatel'nosti P.L. Kapitsy).» Priroda, no. 4, 1994, pp. 8–20.
16. Udut, Vadim N. «Pyotr Leonidovich Kapitsa i 1-i Moskovskii avtogennyi zavod v gody Velikoi Otechestvennoi voyny.» Nauka i tekhnika – frontu. Mezhdunar. nauchn. konf. 21–23 aprelya 2010 g., Politekhnicheskii muzei, 2010, pp. 25–28.

Сведения об авторе:

Морозова Стелла Гургеновна, ученый секретарь Политехнического музея;
e-mail: sgmozova@polytech.one.

Дата поступления статьи: 03.05.2025

Одобрено: 05.05.2025

Дата публикации: 28.07.2025