

“Если академика через десять лет после его смерти помнят, значит, он классик науки.”

П. Капица

## Петр Леонидович Капица и низкотемпературная техника



На этот год приходятся две юбилейные даты, связанные с Петром Леонидовичем Капицей. Они имеют значение для многих – и не только для физиков и инженеров, но и для всех тех, кто интересуется историей нашей страны. П.Л. Капица не только внес существенный вклад в отечественную науку, но и оставил яркий след в истории политической и хозяйственной жизни нашей страны.

Деятельности П.Л. Капицы посвящена обширная литература. Интерес к нему не уменьшается со временем. Более того, становятся известными все новые факты, позволяющие лучше понять как время, в которое он жил и работал, так и его личность.

Для тех, кто работает в области холодильной и криогенной техники, имя Капицы имеет особое значение. Он был единственным “холодным” академиком в славной истории Российской академии наук: только он посвятил основную часть своих теоретических и экспериментальных работ физике и технике низких температур\*. Его идеи подробно изложены как в трудах самого Капицы, так и в обширной литературе по низкотемпературной тематике.

Диапазон его теоретических и экспериментальных исследований в этой области очень широк – от сверхтекучего гелия до жидкого кислорода. Если же учесть и инженерные решения при создании экспериментальных и промышленных

установок, то остается только удивляться, как ему все это удалось сделать.

В короткой статье, естественно, нет возможности сколь-нибудь подробно остановиться даже на основных его работах, относящихся к различным аспектам низкотемпературной техники, да и написано об этом уже много.

По-видимому, целесообразно вспомнить об одном относительно мало освещенном в литературе направлении в работах Капицы – его вкладе в термодинамический анализ процессов техники низких температур (а если смотреть шире – вообще в техническую термодинамику). Он занялся этими вопросами после встречи в марте 1936 г. с пришедшими к нему на консультацию работниками 1-го Московского автогенного завода. На возникший при беседе вопрос, почему на промышленных воздухоразделительных установках удельный расход энергии на получение жидкого и газообразного кислорода в несколько (6–7) раз превышает минимально необходимый, четкого ответа не было. Ни работники завода, ни даже сам Капица не могли его дать.

В отечественной литературе того времени, в основном базировавшейся на немецких источ-

\* “Холодными” проблемами занимались еще два знаменитых академика: М.В. Ломоносов (“Размышления о природе тепла и холода”) и Э.Х. Ленц (первый опыт по замораживанию воды термоэлектрическим методом). Однако для них эти работы были только одним из направлений научной деятельности.

никах (Германия в то время занимала лидирующее положение в мире в области низкотемпературной техники и ее теоретических основ), четкого термодинамического анализа этого вопроса также не было.

После ухода инженеров Капица (как он записал в дневнике) стал размышлять на эту тему, и она настолько его “задела”, что уже на следующий день он стал заниматься этим вопросом и так основательно, что вскоре в значительной мере направил деятельность своего Института физических проблем (ИФП) в сторону техники охлаждения и разделения воздуха.

Потенциальные возможности для успешной работы в этом направлении были – знаменитые исследования Капицы в области жидкого гелия, за которые он впоследствии получил Нобелевскую премию, в какой-то мере способствовали блестящему решению им ряда инженерных вопросов, связанных именно с низкотемпературной техникой.

В результате работ, продолжавшихся до 1946 г., был по существу совершен переворот в криогенной технике, сводившийся не только к разработке эффективного турбодетандера, но и к созданию нового направления в технике получения продуктов разделения воздуха и охлаждения природного и промышленных газов [1]. Драматические события, связанные с этими достижениями, сопротивление отечественных оппонентов и стойкое, поистине героическое поведение Капицы и его сотрудников в это трудное время многократно описаны [2, 3], поэтому нет необходимости на них останавливаться.

Есть, однако, одно крупное достижение П.Л. Капицы, на которое его биографы и авторы воспоминаний не обратили достаточного внимания. Оно связано с базовой наукой всех холодильщиков и криогенщиков – термодинамикой.

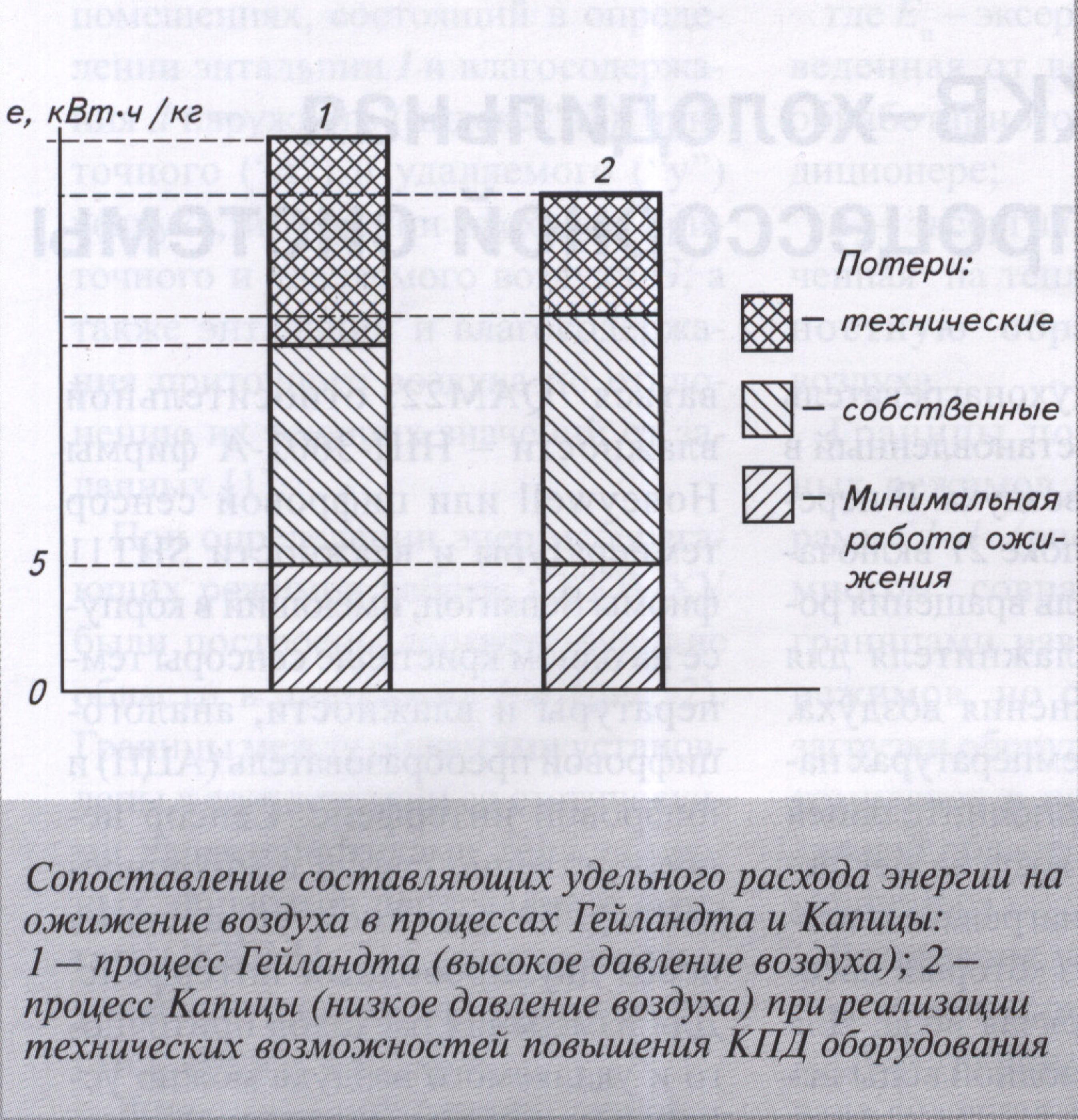
Сам Капица писал об этом так [3]: “Подходя к холодильному процессу... Я ставил вопрос не так, как это было узаконено многолетней практикой... Обычно принято, как это и указывается во всех учебных курсах, рассматривать весь тепловой баланс установки суммарно, не входя в разбор термодинамической эффективности каждого отдельного цикла, и по этому общему энергетическому балансу опре-

делять энергетический и экономический балансы установки. Я же разбил весь процесс на все возможные элементы и определял термодинамические показатели каждого элемента в отдельности. Такой подход мне нужен был для того, чтобы отыскать те звенья процесса, которые надо в первую очередь заменять новыми, а также получить более точные и ясные основания для расчетов.

Такой метод нелегко воспринимается обычными инженерами; при определении КПД холодильных циклов мне пришлось базироваться на более глубоком знании термодинамики, особенно второго начала, которым обычно инженеры владеют слабо...”

Этот подход совпадал с начавшимся тогда же переходом в технической термодинамике к эксергетическому методу термодинамического анализа, который исходил из работ Кинана и Бошняковича. Базой для него послужила величина  $(i_x - i_y) - T_{oc}(s_x - s_y)$ , по современной терминологии – эксергия потока рабочего тела. Метод совершенно не был воспринят тогдашними отечественными специалистами в области низких температур, полностью находившимися под влиянием немецкой термодинамической идеологии. Получив от Капицы “отворот” при попытке наставить академика на истинный путь и руководить его работами [4], они заняли по отношению к нему резко враждебную позицию, всячески препятствуя продвижению его работ. Естественно, что и термодинамические рассуждения Капицы не вызывали положительной реакции; их просто не поняли. В Германии были опубликованы две статьи ведущих специалистов в области низкотемпературной техники – Г. Хаузена [5] и П. Грасмана. Они, отдавая Капице должное как физику, возражали против вводимых им процессов низкого давления воздуха, как менее эффективных в принципе. История этих событий подробно описана в литературе, и здесь нет необходимости к ней возвращаться.

Капица по существу ввел понятие о *технических и собственных* энергетических потерях, получившее в дальнейшем признание в научной литературе и практике. Он показал, что *технические* потери могут быть существенно сниже-



ны путем усовершенствования оборудования установки без радикальных изменений ее схемы или принципа работы отдельных элементов. Однако *собственные* энергетические потери, неотъемлемо связанные с данным типом оборудования и схемой процесса, не могут быть устранены, если не изменить *принципиальную* основу системы.

Рассматривая возможности совершенствования своих установок низкого давления воздуха для получения жидкого кислорода\*, он показал, что, несмотря на их меньшую энергетическую эффективность в существующем варианте, они могут быть усовершенствованы путем такого уменьшения технических потерь, которое перекроет недостатки схемы, связанные с *собственными* энергетическими потерями. Дальнейшее развитие низкотемпературной техники доказало его правоту. В частности, в турбодетандере Капицы адиабатный КПД достиг 0,85 (а теперь – 0,95) против 0,6–0,62 в немецком турбодетандере 40-х годов. Уже одно это обеспечивало резкое снижение технических потерь, не говоря о других усовершенствованиях.

Представленная на рисунке (качественно) ди-

аграмма составляющих расхода энергии двух низкотемпературных систем иллюстрирует сказанное. Несмотря на существенно большие собственные потери от необратимости, цикл Капицы оказывается эффективнее, чем цикл Гейланда, который его оппоненты брали за образец.

Сейчас во всем мире работают низкотемпературные системы самых различных видов (в том числе предназначенные для получения жидкого кислорода) с турбодетандерами Капицы: его термодинамический подход к повышению КПД низкотемпературных (и не только низкотемпературных) систем прочно вошел в арсенал инженерной термодинамики.

Описанная история борьбы двух направлений развития техники показывает, как Капица наряду с физическими исследованиями, определившими его вклад в эту науку, отмеченный Нобелевской премией, успешно занимался созданием нового направления в технике оживления газов и разделения газовых смесей. Попутно, что не всегда отмечалось, он существенно продвинул и термодинамику низкотемпературных процессов, непосредственно используя ее для обоснования своих технических решений.

Это классический пример использования теории при разработке новых технических решений не только в области техники низких температур, но и энергетики в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродянский В.М. Как появилась инженерно-криогенная школа Капицы. П.Л. Капица. Воспоминания, документы. – М.: Наука, 1994.
2. Бродянский В.М. Кислородная эпопея Капицы //Природа. 1994. № 4.
3. Капица П.Л. Научные труды. Физика и техника низких температур. Отчет № 12. – М.: Наука, 1989.
4. Капица П.Л. О статье С.Я. Герша “Низкие и высокие давления в системах глубокого охлаждения” //Вестник машиностроения. 1944. № 7/8.
5. Hausen H. Zeitschr. für die gesamte Kälte-Industrie. Febr. 1941.

Д-р техн. наук, проф. **В.М. БРОДЯНСКИЙ**  
МЭИ

\* Эти установки (ТК-200) сыграли важную роль в снабжении кислородом заводов, работавших на оборону во время Великой Отечественной войны.