



Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

ЗА НАУКУ В СИБИРИ

ОРГАН
ПРЕЗИДИУМА
И МЕСТНОГО КОМИТЕТА
ПРОФСОЮЗА СО АН
СССР

Год издания 9-й.

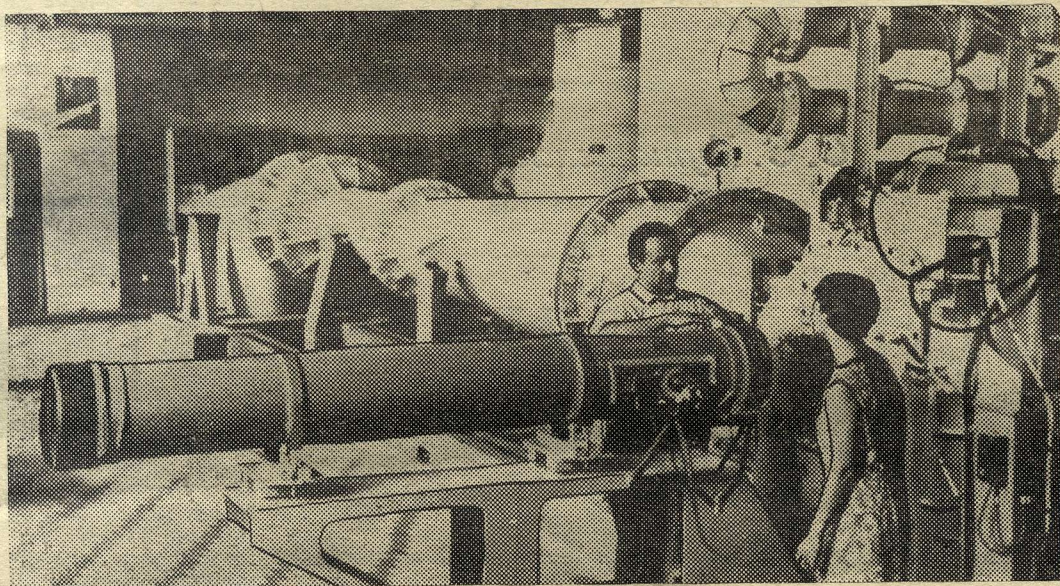
№ 35 (413).

27 августа 1969 г.

СРЕДА.

Цена 4 коп.

ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ



Тепловая аэродинамическая труба лаборатории термогазодинамики.

Фото В. Кириллова.

ДЕНЬ НАУКИ— ДЕВЯТЫЙ

100-летию со дня рождения
В. И. Ленина посвящается

Выступая на III Всесоюзном съезде Советов в 1918 году, Владимир Ильич Ленин говорил: «Раньше весь человеческий ум, весь его гений творил только для того, чтобы дать одним все блага техники и культуры, а других лишить самого необходимого — просвещения и развития. Теперь же все чудеса техники, все завоевания культуры станут общенародным достоянием...».

Дни науки, которые проводятся в Сибирском отделении Академии наук, — одно из множества конкретных тому подтверждений.

Девятый День науки проводят ученые Института теплофизики. Трудно переоценить значение теории теплоты в развитии человеческих знаний вообще и, в частности, энергетики, механики, гидродинамики и других отраслей науки. Не случайно так широки связи института с научными и производственными учреждениями Москвы, Тбилиси, Петропавловска-Камчатского, Ленинграда, Ташкента и других городов страны.

ОБСУЖДАЯ ПРОБЛЕМЫ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ ВЗРЫВА

19 августа в Институте математики начала работу секция численных методов II Международного коллоквиума по газовой динамике взрыва и реагирующих систем.

В работе секции приняли участие ученые США, Франции, Польши и других стран. На ней были представлены различные научные школы.

Гостей приветствовали член-корреспондент АН СССР Р. И. Солоухин и профессор О. М. Белоцерковский (Москва).

Программа секции в достаточной степени отразила положение дел в области использования ЭВМ для решения задач газовой динамики. Были заслушаны доклады о разработке вычислительных методов и алгоритмов, их теоретическом и экспериментальном исследовании, об изучении характери-

стик вязких, трансзвуковых, пространственных течений газа, потоков с химическими реакциями и излучением, задач взрыва и других, о разработке новых аналитических методов.

24 августа начал работу второй Международный коллоквиум по газодинамике взрыва и реагирующих систем. В его работе принимают участие 250 ученых из 14 стран мира.

На открытии коллоквиума с приветственным словом выступили президент СО АН СССР академик М. А. Лаврентьев, президент Международной академии по аэронавтике С. Драпер, профессор Калифорнийского университета в Беркли А. Опенгейм, директор института аэродинамики в Неаполе профессор Л. Наполитано.

Коллоквиум заканчивает работу 29 августа.

Е. М. ТЯЖЕЛЬНИКОВ В НОВОСИБИРСКЕ

Несколько дней в Новосибирске находился первый секретарь ЦК ВЛКСМ Евгений Михайлович Тяжелников. Вместе с ним прибыли летчик-

космонавт Б. В. Волинов, заведующий отделом спортивной и оборонно-массовой работы ЦК ВЛКСМ Б. Н. Рогатин, олимпийский чемпион по

боксу, заслуженный мастер спорта В. В. Попенченко.

Гости побывали в Академгородке.

В минувшую пятницу они приняли участие в работе пленума областного комитета ВЛКСМ.

ПОИСКИ ПРОДОЛЖАЮТСЯ

В Улан-Баторе, куда на днях вылетел академик А. П. Окладников, состоялось подписание соглашения программы работы советско-монгольской археологической экспедиции по изучению каменного века Центральной Азии.

В 1949 году А. П. Окладниковым около горы Хэрэ была найдена древняя стоянка людей каменного века, живших здесь, по предварительным данным, более 10 тысяч лет назад. За последнее десятилетие советскими и монгольскими археологами проведены многочисленные раскопки и получены весьма ценные результаты. Так, в течение двух последних лет в долине реки Керулен открыто несколько

ко десятков поселений, места погребения людей, остатки жилищ, дошедшие до нас со времени каменного века.

Археологические исследования показали, что древние культуры Монголии имеют многие черты, общие с сибирскими.

В этом году комплексная экспедиция Института истории, филологии и философии Сибирского отделения АН СССР продолжит более детальное изучение наиболее важных памятников. Планируются также разведывательные работы на юге Монголии, в Гоби. Этот район интересен тем, что здесь сохранились самые древние памятники Центральной Азии.

Итоги смотра

ПОДВЕДЕНЫ итоги смотра-конкурса на лучшую постановку спортивно-массовой работы в школах Советского района. В программу смотра вошли: строительство спортивных площадок и их содержание, улучшение спортивно-массовой работы и туризма в школе, улучшение связи школ с домоуправлениями по спортивно-оздоровитель-

ным мероприятиям, подготовка значкистов и разрядников.

Лучше других оказались подготовленными и выполнили все условия конкурса школа № 162 (директор Н. Р. Белоусова, старший преподаватель П. И. Баладурин) и школа № 166 (директор П. С. Сиволобов, старший преподаватель Б. А. Нокорин). Приказом комитета по физической культуре и

спорту эти школы награждены дипломами и памятными призами, а их руководителям вручены денежные премии.

Однако не все школы района приняли активное участие в конкурсе. Оказались неподготовленными к смотру школы № 61 (директор Н. Б. Бычков), № 121 (директор А. А. Савилов), № 119 (директор Н. И. Тархов).

В. ЛЕОНТЬЕВ,
Б. ЮРГЕЛЕВИЧ.

КТО, ЧТО, КАК?

ДЕНЬ НАУКИ— ДЕВЯТЫЙ

Бурно развивающаяся в настоящее время и непрерывно расширяющаяся в области своих практических приложений, теория теплоты стала складываться в XVIII столетии на основе исследований различных термометров, явления тепловое расширение газов и оценок тепловыделения при трении (в частности, при сверлении стволов пушек).

Появление к концу этого столетия работоспособной паровой машины привело к исследованиям ее рабочего процесса, завершившимся блестящим открытием С. Карно идеального теплового цикла.

Ко второй половине XIX века был накоплен материал, приведший к удивительно быстрому и совершенно созданию общего учения о превращениях энергии - термодинамики с ее фундаментальными общезначимыми законами сохранения энергии и (для замкнутых систем) роста энтропии. Параллельно создавалась кинетическая теория газов и термодинамика (учение о передаче тепла). В конце века возникает химическая термодинамика, явившаяся надежной теоретической основой для развития многочисленных проблем химии, а в начале XX столетия изучение проблемы теплового излучения приводит к введению совершенно революционного понятия — кванта действия.

Пожалуй, этого небольшого перечня достаточно для того, чтобы оценить значение теории теплоты в общем развитии физики и человеческого знания вообще.

В конце XIX века, одновременно с формированием термодинамики и теории теплопроводности, были сделаны два фундаментальных изобретения, создавших базу всей современной машиной цивилизации, — паровая турбина и электрический генератор переменного тока.

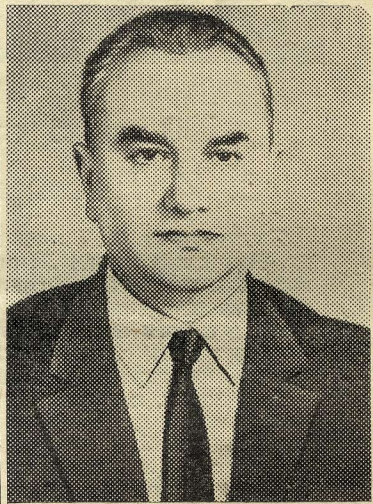
Тридцатые годы нашего века связывают термодинамику и термодинамику с аэродинамикой в связи с приближением к звуковому порогу в авиации, а появление атомной энергии, реактивных двигателей, электроники, магнитогидродинамических систем, мощных взрывных процессов привели к теснейшему переплетению термодинамических, газодинамических, гидродинамических и электродинамических процессов в многочисленных идеальных и реальных объектах.

В результате возникла та отрасль физического знания, которая называется теплофизикой. Теоретическую основу теплофизики составляют термодинамика и теория теплообмена, тесно связанные с современной физической гидродинамикой и газодинамикой, и молекулярная физика, объясняющая природу калорических и транспортных свойств рабочих сред.

Объектами изучения тепло-

физики и приложений ее методов являются чуть ли не все явления в природе и технологические процессы в человеческой деятельности.

Связано это, во-первых, с тем фактом, что огромная масса веществ имеет высокие температуры (звезды, ядра планет) и, во-вторых, с действием в нашем мире закона возрастания энтропии — приводящего к диссипации в теплоту энергии, трансформируемой в технологических



процессах.

В связи с этим тепловые процессы имеют в тех или иных явлениях и технологиях или главное значение (тепловое излучение звезд, тепловой режим планет, рабочие процессы тепловых двигателей, обогрев зданий и т. п.), или играют важную вспомогательную роль, подчас определяя практическую реализацию физического или химического процесса совершенно иной природы (безопасные режимы работы ядерного реактора, тепловая защита космических кораблей, горячая металлургия, технология полимерных материалов и т. п.).

В биологических системах значение тепловых процессов (в первую очередь процессов терморегуляции) связано с относительно узким диапазоном температур, в котором возможно существование известных нам форм живой материи.

В нашей стране теплофизика длительное время развивалась главным образом в связи с развитием теплоэнергетики. Теплоэнергетические системы (в первую очередь тепловые электростанции на органическом и ядерном топливе, транспортные двигатели) остаются одним из основных объектов приложений теплофизических исследований и в настоящее время.

Как известно, около 80 процентов всей электрической мощности в нашей стране и на земле в целом вырабатывается именно на тепловых станциях, единичная мощность которых достигает нескольких миллионов киловатт. Этот процент будет возрастать в связи с ограниченностью (а в европейской части СССР практически полным исчерпыванием) гидроресурсов.

В настоящее время удвоение энергетических мощностей происходит за 9—10 лет, и мощность электростанций СССР выросла по сравнению с планом ГОЭЛРО более чем в 70 раз, а по сравнению с предвоенным 1940 годом более чем в 10 раз.

При этом происходит непрерывное увеличение единичных

мощностей агрегатов и повышение рабочих параметров. Так, современные паровые станции на органическом топливе работают на сверхкритических параметрах ($P=240$ ата), вводятся турбоагрегаты мощностью 500 и 800 мегаватт, проектируется турбоагрегат мощностью 1200 мегаватт и обсуждается возможность создания машин еще большей мощности.

Следует отметить, что в обозримом будущем применение магнитогидродинамических генераторов электричества будет экономичным, видимо, только при очень больших единичных мощностях МГД-установок, а то обстоятельство, что 50 процентов коэффициента полезного действия идеального теплового двигателя лежит в области 600°C , не снимает необходимости существования мощных турбоагрегатов в «низкотемпературной» части цикла.

Отсюда вытекают проблемы организации высокотемпературных процессов, отвод интенсивных тепловых потоков, применение новых рабочих тел, переход к новым низкотемпературным системам охлаждения электрогенераторов и т. п.

Энергетические установки на ядерном топливе, для которых наступает время бурного развития, особенно в европей-

ской части страны, также требуют совершенно новых решений.

Так, например, для реакторов на быстрых нейтронах, позволяющих не только вырабатывать энергию, но и воспроизводить ядерное топливо, эффективными охлаждающими агентами являются щелочные металлы.

Достаточно вспомнить школьные опыты с маленьким кусочком натрия, чтобы хоть немного представить себе те сложности проблемы, которые приходится решать при наличии десятков и сотен тонн этого металла, нагретого до $700-300^\circ\text{C}$, в установках, где он соседствует с водой или другой агрессивной средой.

В 1957 г., при создании Сибирского отделения Академии наук СССР, Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР была предусмотрена организация первого в то время специализированного Института теплофизики.

В настоящее время Институт теплофизики СО АН СССР является одной из ведущих научных организаций в области теории теплообмена, физической гидродинамики и в некоторых новых областях теплоэнергетики.

Именно в этих направлениях работает основная часть коллектива института, и им посвящен данный номер нашей газеты.

Изучение термогазодинамических и термогидродинамических явлений сосредоточено главным образом на экстремальных ситуациях — мощные тепловые потоки, достигающие плотности 1000 ватт/см², т. е. больше чем на фотосфере Солнца; интенсивные турбулентные течения при больших, в том числе гиперзвуковых скоростях и больших неизоэнтропических химических реакциях (гетерогенное горение); теплообмен при фазовых превращениях вещества; термогазодинамические явления в разреженных газах и плотной плазме; взаимодействие интенсивного теплового излучения с поглощающими конвективными пограничными

слоями; течения сред с неньютоновской вязкостью.

Особое внимание в институте уделяется развитию теории пристенной турбулентности, причем впервые удалось получить некоторые важные результаты, не содержащиеся, так называемые, эмпирические «константы турбулентности».

В институте подробно изучается устойчивость режимов течения газ-жидкостных систем, в том числе важного для ядерной и ракетной техники явления кризисов теплообмена в кипящих металлических и неметаллических жидкостях.

Для исследования тонкой структуры турбулентных течений созданы новые методики и экспериментальные установки, позволяющие измерять осредненные и пульсационные характеристики потока вплоть до твердой стенки. Разработана методика непосредственного измерения локального трения в газожидкостных потоках.

В институте были проведены теоретические и экспериментальные исследования, позволившие построить первые обобщенные характеристики электродуговых плазматронов.

Проведено измерение теплофизических свойств ряда новых рабочих тел, в том числе впервые измерено поверхностное натяжение всех щелочных металлов до температуры 1300°K .

Среди новых проблем, которые развиваются в институте, следует остановиться на изучении взаимодействия тел с потоком разреженного газа, имеющего важнейшее прикладное значение. В институте создан уникальный комплекс экспериментальных стендов для исследования потоков разреженных газов при температурах торможения до нескольких десятков тысяч градусов, скоростях с числами Маха до 25, статических давлениях до 10 мм рт. ст., что стало возможным благодаря применению плазменного подогрева и криогенной откачки.

Развитие в институте методов электронно-пучковой диагностики позволило проводить тонкие физические исследования структуры гиперзвуковых потоков.

Особенность течений разреженного газа такова, что зоны существенно градиентных параметров — ударные волны, тепловые, гидродинамические и диффузионные пограничные слои — имеют значительные размеры, что позволяет при наличии локальных измерений исследовать процессы массо- и энергообмена на линейных разрезах порядка средней длины свободного пробега молекул, экспериментально решать вопросы физической кинетики на молекулярном уровне.

Наличие такой экспериментальной базы позволило провести в короткий срок ряд интересных исследований — изучение характеристик плазменных генераторов при низком давлении; исследована структура свободной струи при истечении в вакуум из сильно недорасширенных сопел; развита методика измерения колебательной и вращательной температуры по излучению в оптическом диапазоне, возбужденному электронным пучком, а также методика измерения плотности по тормозному рентгеновскому излучению; реализован одномерный сферический поток со стационарной ударной волной,

что открывает новые пути исследования релаксационных процессов. Интересные результаты получены при исследованиях бародиффузионных процессов в градиентных потоках разреженного газа. Важными для практики являются систематические исследования характеристик криогенной вакуумной трубы в широком диапазоне давлений.

Полученный в этом направлении опыт передается в другие научные и прикладные организации.

В последнее время большое внимание уделяется исследованиям моделей сред с микроструктурой, выходящих за рамки классических теорий жидкости, упругости и пластичности (жидкости с микровращениями, моментная теория упругости и т. п.). В институте проведены общие исследования по нелокальной механике сплошных сред, учитывающей такие эффекты, как существование масштабного параметра, дискретной структуры, сил дальнего действия, внутренних степеней свободы, пространственной и временной дисперсий волн и т. п. На этой основе построены новые модели сред с микроструктурой, содержащие указанные выше модели в качестве предельного случая. Одним из результатов этой работы явилось дальнейшее развитие теории дислокаций и точечных дефектов, более полно отражающей реальные свойства кристаллов. Методы нелокальной механики могут, по-видимому, оказаться полезными также в теории турбулентности и неньютоновских жидкостей.

В институте сложилось новое научное направление — низкотемпературная энергетика, в сферу которой входят проблемы использования низкокипящих (преимущественно с большим молекулярным весом) веществ в стационарной и транспортной энергетике, создание эффективных термохимических преобразователей тепла (термотрансформаторов), применение умеренного и глубокого холода в рабочих процессах крупных энергетических установок, использование геотермальных источников.

Институт получил авторские свидетельства на несколько крупных изобретений в области энергетических машин и аппаратов и работает в тесном контакте с рядом организаций по реализации этих предложений.

Мы тесно связаны с Институтом гидродинамики, Институтом теоретической и прикладной механики, Сибирским энергетическим институтом, Вычислительным центром СО АН СССР, имеется очень хорошая координация с Институтом высоких температур АН СССР и рядом крупных отраслевых институтов и СКБ Министерства энергетики и электрификации СССР, Министерства нефтяного и химического машиностроения СССР, Министерства электрохимической промышленности и некоторых других.

Наиболее крупные технические предложения института могут быть реализованы только в тесном сотрудничестве с рядом ведущих СКБ страны.

Для реализации других разработок СО АН в области холодильной техники, турбомашин на неводных парах, оборудования для плазмы - химии Миннефтехиммашем принято решение о создании СКБ «Энергохиммаш» под научным руководством Института теплофизики СО АН.

Особое внимание институт уделяет подготовке квалифицированных кадров, в первую очередь для Сибири и Дальнего Востока. Кафедра теплофизики Новосибирского Государственного университета имеет в институте специальные лекционные и лабораторные помещения, студенты НГУ и многих других вузов страны проходят практику и выполняют дипломные работы в ведущих лабораториях института.

Наши воспитанники, многие из которых успешно защитили кандидатские диссертации, работают в исследовательских организациях, конструкторских бюро Новосибирска, Омска и других городов страны.

(Окончание на 8 стр.).

За науку
в Сибири

2 стр.
№ 35 (413).
27 августа 1969 г.

СИБИРСКИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

В 1962 г. Институт теплофизики еще не имел своего корпуса, но в здании Института химической кинетики и горения уже проходил Первый теплофизический семинар. На нем присутствовали 40—50 человек, в основном сотрудники ИТФ и других институтов СО АН СССР. Было принято решение проводить тематические семинары два раза в год. На семинаре были заслушаны доклады сотрудников института о первых результатах исследований. Основной задачей семинара было признано обсуждение новых результатов исследований по основным научным направлениям института: турбулентному пограничному слою и теплообмену; исследованию теплофизических свойств веществ в широком диапазоне параметров и проблемам низкотемпературной энергетики.

В 1965 г. семинар стал местом широкого обмена информацией между теплофизиками не только Сибири, но и всей страны. На VII заседании семинара в сентябре 1965 г. при обсуждении результатов исследования по турбулентному пограничному слою и механизму кипения было заслушано 50 докладов, из них 20 докладов сделали сотрудники московских, ленинградских организаций.

В работе теплофизического семинара регулярно принимают участие представители ведущих теплофизических и теплоэнергетических институтов; такие, как Всесоюзный теплотехнический институт им. Дзержинского, Научно-исследовательский институт высоких температур АН СССР, Энергетический институт им. Кржижановского, Институт теплообмена АН БССР, Центральный котлотурбинный институт им. Ползунова, Киевский институт технической теплофизики и ряд других.

Семинар позволяет установить личные контакты между сотрудниками Института теплофизики и представителями других институтов, работающих по данной тематике.

В 1967 г. состоялся юбилейный — X сибирский теплофизический семинар, на котором были представлены доклады ведущих сотрудников института по результатам проведенных исследований. В семинаре приняли участие свыше 150 специалистов, в том числе 90 человек из различных городов страны, представители 49 организаций и 30 сотрудников различных институтов СО АН СССР.

Активное обсуждение докладов и большая заинтересованность представителей научно-исследовательских институтов и отраслевых НИИ и ОКБ показали актуальность представленных исследований. В мае 1968 г. в институте проходил Международный коллоквиум, на котором обсуждались вопросы современного состояния и перспективы развития теории пристенной турбулентности, а также исследования механизма кризисов теплообмена при кипении. В работе коллоквиума приняли участие 140 специалистов, в том числе профессор Сполдинг (Англия), Зубер и Хартнетт (США), Зарич и Афган (Югославия), Семерия и Делаи (Франция), всего 16 ученых из-за рубежа. На коллоквиуме не требовалось представлять доклады заранее, поэтому могли обсуждаться результаты самых последних исследований. Коллоквиум прошел на высоком научном уровне и дал возможность ознакомиться нашим специалистам с состоянием работ по обсужденным проблемам в ряде ведущих лабораторий США, Англии, Франции и Югославии. Институт получил большое количество репринтов, отчетов и диссертаций от зарубежных гостей.

В этом году с 3 по 5 сентября состоится XII заседание теплофизического семинара, посвященное проблеме «Пристенная турбулентность». В программу включено 30 докладов, из них 19 докладов сотрудников иногородних организаций. Семинар обещает быть интересным.

В научно-производственной деятельности партийная организация Института теплофизики СО АН СССР руководствуется сентябрьским постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по повышению эффективности работы научных организаций и ускорению использования в народном хозяйстве достижений науки и техники».

Коммунисты партийной организации имеют ясное представление о направлении научной деятельности и эффективности работы института. В улучшении научно-организационной деятельности института партийная организация вносит заметный вклад. Ряд мероприятий, проведенных партийной организацией в 1968—69 гг., способствовал улучшению организации работы производственных и хозяйственных подразделений института. Так, по инициативе партийного бюро создана постоянно действующая комиссия по автоматизации измерений. Это должно способствовать снижению непроизводительных затрат рабочего времени. Перед дирекцией института поставлен вопрос о

необходимости приобретения ряда автоматических приборов.

В результате анализа работы ряда вспомогательных отделов, на контакты с которыми тратится заметная доля времени научных сотрудников и инженеров, по рекомендации партийного бюро была несколько изменена

По инициативе партийной организации в декабре 1967 года институт принял социалистические обязательства к 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. Эти обязательства связаны с подготовкой материалов для разработки и внедрения водо-фреоновых энергетических блоков мощностью 1—2 млн. квт., а

КОММУНИСТЫ И ПРОИЗВОДСТВО

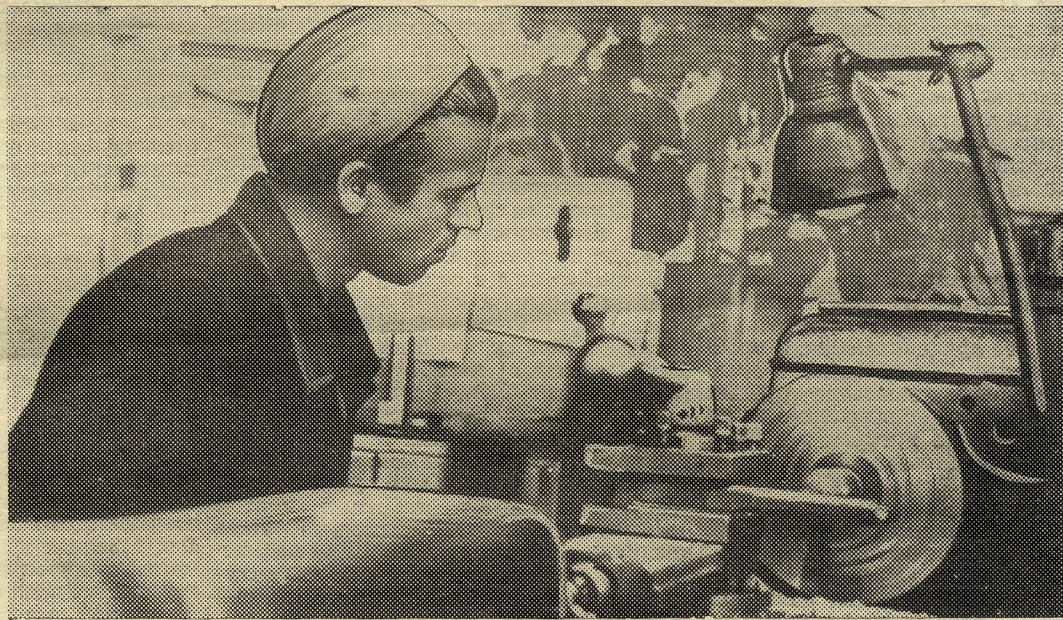
структура отдела снабжения института. Это способствовало улучшению работы отдела по выполнению текущих заявок, более оперативной стала информация о получаемом оборудовании.

Вопросам повышения производственной дисциплины, вопросам эффективного использования рабочего времени сотрудниками института партийное бюро уделяет значительное внимание.

также на разработку системы теплохладификации мощных гидростанций и осуществление ее на Нурекской ГЭС на базе тепловых потерь гидротурбин и тепла низко-температурных геотермальных источников.

Выполнение этих обязательств находится под неослабным контролем партийного бюро.

П. КУПРИЕНКО,
секретарь партбюро института.



Токарь В. А. Чугунов в экспериментальной мастерской института.

Фото В. Кириллова.

КООРДИНАЦИЯ И ЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВЕТ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

логов, вулканологов, теплофизиков, химиков, инженеров, агрономов, экономистов и направил их на комплексное решение задачи использования геотермальных источников не только для Сибири и Дальнего Востока, но и для других районов нашей страны.

Совет рассмотрел работы Института вулканологии и теплоэлектропроекта по проблемам Паужетской ГЕОТЭС, являющейся первой электрической станцией с непосредственным использованием пароводяной смеси подземных источников.

Большое внимание было уделено созданию первой в мировой практике энергетической установки с фреоном в качестве рабочего вещества, разработанной Институтом теплофизики СО АН СССР совместно с ВНИИХолодом и осущ

ествленной на Паратунских термах Камчатки. Совет рассмотрел разработанную Институтом теплофизики СО АН совместно с «Теплоэлектропроектом» систему теп-

лоснабжения Петропавловска-Камчатского и прилегающих к нему районов на базе Паратунских термальных источников и дал важные практические рекомендации. В этой работе, как и во всех других вопросах использования термальных источников Камчатки, значительную роль играют камчатские общественные организации.

Особый интерес представляет VI заседание совета, проведенное в 1967 году с активным участием камчатских организаций совместно с отделением физико-технических проблем энергетики АН СССР.

Важное место в работе совета было отведено вулканологическим и геологическим проблемам, связанным с определением запасов геотермальных источников и методов их выведения на поверхность.

Вопросы коррозии, очистки термальных вод в связи с их большой минерализацией рассматривались советом на ряде заседаний с участием геохими-

ков, химиков и других специалистов.

Совет способствовал расширению работ по использованию термальных источников для сельского хозяйства и в частности для создания теплично-парниковых комбинатов.

Совет уделял внимание координации работ по использованию термальных вод для теплоснабжения в Сибири и в частности в Омской области, где применена система с трансформацией тепла.

На одном из заседаний рассматривалась программа работ по расширению использования термальных вод для лечебных целей во многих районах страны.

За пять лет плодотворной работы совет приобрел большую известность, а сборники с материалами его заседаний оказывают значительную помощь многим организациям.

Деятельность совета вышла далеко за границы Сибири и Дальнего Востока.

Совет уделял внимание рассмотрению работ отдела подземного тепла земли Мингазпрома СССР по использованию термальных вод.

Были рассмотрены вопросы комплексного использования термальных вод для Махач-Калы и ряда южных районов

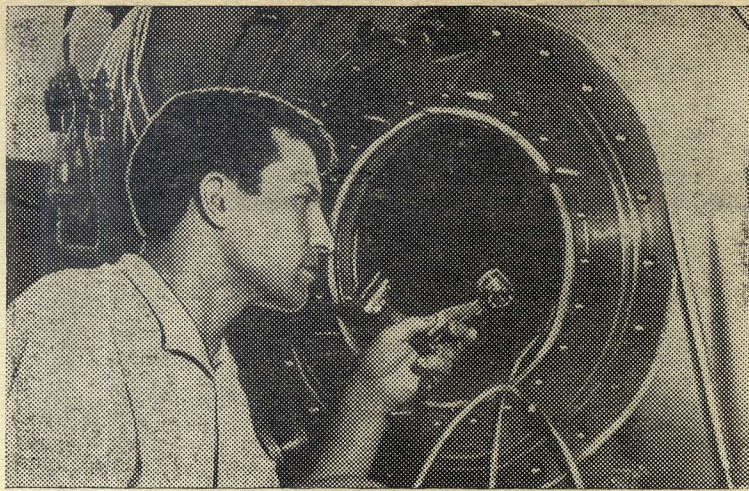
страны, где наряду с теплоснабжением необходим также и холод.

Интересные проблемы возникли в связи с использованием термальных вод в Грузии (Зугриди), Узбекистане (Ташкент) и других районах страны.

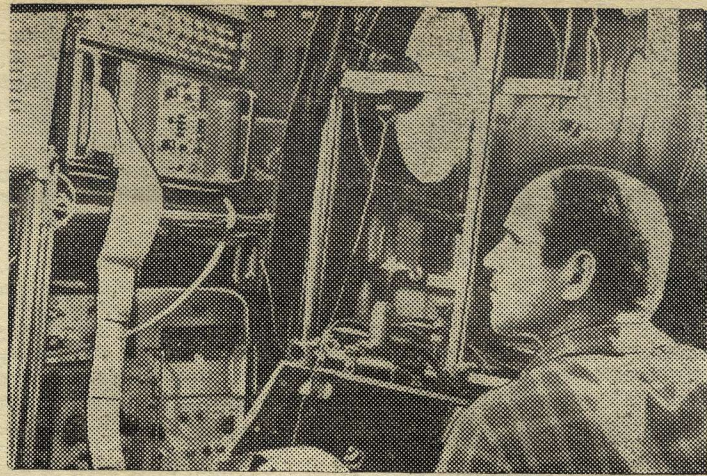
Совет направлял работы по использованию термальных вод для выращивания овощей и фруктов во многих районах страны, уделял внимание бальнеологическим проблемам.

Совет играет важную роль в расширении применения термальных источников в разных областях народного хозяйства нашей страны.

**За науку
в Сибири**



На снимке (слева): монтаж вакуумной газодинамической установки.



На снимке (справа): инженер Г. В. Мякин ведет эксперимент.

Фото В. Кириллова.

ПРИСТЕННАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

ТЕЧЕНИЯ, для которых характерно неупорядоченное хаотическое движение отдельных частиц жидкости, наиболее часто встречаются в природе и носят название турбулентных. Теория турбулентных течений представляет важнейший для практики и одновременно наиболее трудный раздел гидродинамики. О распространенности таких течений в природе можно судить по тому, что движение атмосферного воздуха, океанических вод и даже галактических туманностей подчиняется закономерностям турбулентности. В своей практической деятельности человек встречается с необходимостью понять природу турбулентности при проектировании судов, энергетических установок, летательных аппаратов, аппаратов химической технологии и т. д.

Проблема турбулентности является, таким образом, одной из фундаментальных научных проблем, решение которой имеет громадное принципиальное и практическое значение. Эта проблема в разное время привлекала внимание крупных ученых и больших коллективов, но вплоть до настоящего времени она весьма далека от разрешения.

Существующие теории турбулентных течений можно разделить на две группы: теорию для осредненных характеристик течения, в которых недостаток информации о процессе возмещается соответствующими экспериментальными данными, статистическую теорию турбулентности, основанную на представлении о турбулентности, как о случайном процессе. В работах первого направления удается получить суммарные характеристики потока (напряжение трения, интенсивность теплоотдачи и т. д.), работы второго направления пока не дают такой возможности, хотя и являются более перспективными с точки зрения своей теоретической обоснованности.

В Институте теплофизики основное внимание уделяется проблемам турбулентных течений вблизи твердых поверхностей, у которых образуются так называемое турбулентное течение со сдвигом. В практике эти течения почти всегда усложнены наличием сжимаемости газа, неизотермичности, проницаемости поверхности, наличием продольного перепада давления и других возмущающих обстоятельств.

Пристенную турбулентность с одной стороны следует считать более сложным процессом по сравнению со свободной турбулентностью вследствие сильной анизотропии турбулентных вихревых структур у стенки, что делает весьма сложным подход с точки зрения статистической гидродинамики. С другой стороны, стенка приводит к упорядочению движения в среднем, что позволяет выделить некоторые консервативные, независимые от внешних в поток возмущений, свойства турбулентных пограничных слоев. Последнее обстоятельство имеет весьма общее значение и, в частности, позволило разработать модель турбулентного течения жидкости с исчезающей вязкостью, строго справедливой при бесконечно больших

числах Рейнольдса. Теория такого течения по своей теоретической обоснованности занимает некое промежуточное положение между строгим, но пока практически неосуществимым, статистическим рассмотрением и полумпирическими методами расчета.

Асимптотическая теория турбулентного течения жидкости с исчезающей вязкостью и теория предельных законов позволили проводить расчеты турбулентных течений в условиях сильной неизотермичности, влияния градиентов давления, наличия химических реакций на поверхности тела и в объеме газа и т. д. Основные ее выводы хорошо подтверждаются рядом экспериментальных исследований, проведенных за последние годы в СССР, США, Англии, и находят широкое практическое применение.

Второй подход к анализу течений со сдвигом также (по своей идеологической основе), промежуточный между вероятностным и полумпирическим анализами, был выдвинут в институте в последние годы и может быть сформулирован как принцип максимальной устойчивости осредненных турбулентных течений. Принцип состоит в предположении, что любое возмущение, внесенное в реализуемый турбулентный поток, гаснет, и притом максимально быстро. С помощью этого принципа удалось вычислить некоторые универсальные константы, лежащие в основе полумпирических теорий турбулентности.

Изложенные методы работают до тех пор, пока течение примыкает к поверхности, если же давление вдоль обтекаемой поверхности растет, возникает явление отрыва потока от поверхности.

В отрывной зоне существуют обратные по отношению к первоначально выбранной системе координат вихревые потоки. Пристенная область между вихрем и стенкой, по-видимому, подчиняется общим закономерностям пристенной турбулентности со сдвигом, но анализ процесса существенно усложнен тем обстоятельством, что неизвестны основные закономерности сложного вихревого течения в зоне отрыва. Для анализа течения в зоне отрыва использовался новый подход, в основе которого лежит гипотеза академика М. А. Лаврентьева относительно распределения в потоке некоторой специальной величины — завихренности.

В зоне отрыва величина завихренности предполагается постоянной, хотя и неизвестной. В такой модельной постановке задача допускает точную математическую формулировку, которая позволяет выявить ряд интересных свойств течения и доказать теорему их существования.

Специальные эксперименты подтвердили справедливость основной гипотезы постоянства завихренности с хорошей степенью точности.

Природа турбулентных переносов тепла существенным образом осложняется при учете теплового излучения.

В теплофизических приложениях, если гидродинамическая особенность турбулентных движений всецело определяется поперечным сдвигом в пристенной области, влияние излучения проявляется в тепловом состоянии пограничного слоя. Анализ этого состояния представляется далеко не тривиальным, так как помимо гидродинамических особенностей здесь приходится учитывать оптические свойства движущейся среды и границ, молярный и молекулярный процессы переноса тепла к стенке, а также ряд других физических особенностей, придающих задаче в целом характер исследования многосвязного процесса.

В математическом аспекте указанное обстоятельство проявляется в необходи-

мости решать сложные нелинейные интегро-дифференциальные уравнения. Численные решения таких задач позволили, не проводя соответствующих дорогостоящих экспериментов, оценить излучения на конвективную составляющую потока тепла к обтекаемой поверхности, а также оптических свойств среды и поверхности на организацию теплозащиты обтекаемой поверхности.

Так, расчеты, проведенные в институте, показали, что для поддержания теплоизолированного состояния обтекаемой пористой поверхности эффективным оказывается вдувание через пористую поверхность газа, содержащего даже незначительное количество примесей, поглощающей излучение. При этом последующее увеличение оптической толщины вдуваемого газа может оказаться нецелесообразным.

Успешное развитие теории турбулентности невозможно без детального и обширного экспериментального материала как по средним характеристикам турбулентных течений, так и по их микроструктуре.

В институте широким фронтом ведутся исследования средних характеристик турбулентного пограничного слоя в сложных ситуациях. В экспериментах реализуются существенная неизотермичность, сжимаемость, химические реакции на поверхности, поперечный поток вещества на стенке, продольные градиенты давления, различные тепловые условия по длине поверхности. В установках созданы условия, когда газ или химически реагирующая стенка нагревается до температуры выше 3000° С, скорости потока много превышают скорость звука. Получены интересные данные о теплообмене в случаях, когда в основной поток через пористую стенку или путем организации завесы подается однородный или неоднородный газ. Экспериментально подтверждается вывод асимптотической теории, заключающийся в том, что ограниченным количеством вдуваемой среды через пористую стенку можно практически отсечь основной поток от стенки. Установлено теоретически и экспериментально влияние градиента давления, неизотермичности, разнородности вдува на момент наступления таких режимов. Осуществление таких режимов на практике довольно заманчиво, так как это позволяет создать высокоэффективные способы защиты поверхности от воздействия потока.

Для исследования микроструктуры турбулентности в институте разрабатываются новые методы и усовершенствуются традиционные.

Из известных методов измерения кинематических характеристик турбулентного потока наиболее совершенным является термоанемометрический метод. Однако для некоторых измерений термоанемометр неэффективен или вообще не применим. К таким случаям относится, например, течения в непосредственной близости к твердой поверхности, неизотермические потоки, области с высоким уровнем турбулентности, течение невязконовских жидкостей. В этих случаях методы визуализации течений оказываются значительно более эффективными.

Применяемый в институте метод заключается в фотографировании треков, введенных в поток мелких рассеивающих свет частиц при импульсном боковом освещении. Комплекс приборов для измерения кинематических характеристик турбулентных потоков состоит из специально разработанного стробоскопа с импульсной лампой и полуавтоматического устройства регистрации координат треков на перфоленту. Данные с перфоленты вводятся затем в ЭВМ, которая по со-

ответствующим программам вычисляет кинематические характеристики турбулентного потока, поля средних и пульсационных скоростей, пространственные корреляции, корреляции между компонентами пульсаций.

Использование стробоскопической методики визуализации началось с изучения классического объекта — развитого турбулентного течения в канале, получены некоторые данные о характере турбулентности в непосредственной окрестности стенки. В настоящее время исследуются более сложные турбулентные течения, а именно течения в пристенном слое в условиях теплообмена, положительного градиента давления, поперечного потока вещества; течения воды с малыми добавками высокомолекулярных веществ, течения в вихревых зонах за плохо обтекаемыми телами, в сложных случаях турбулентной свободной конвекции.

Структура течения в вязкой области турбулентного пограничного слоя (вязкого подслоя) играет, возможно, решающую роль для определения характеристик всего турбулентного потока. Стробоскопические измерения характеристик турбулентного движения в этом районе дают информацию о поле скоростей и их пульсаций. Для исследования турбулентных характеристик потока во внутренней части подслоя в институте используется также электрохимический метод, основанный на измерении диффузионного потока массы к микроэлектроду, вделанному заподлицо со стенкой канала. Растворы электролитов, используемых в экспериментах, содержат ионы больших размеров с малой подвижностью (малым коэффициентом молекулярной диффузии). Вследствие этого область изменения концентрации диффундирующих к микроэлектроду ионов много меньше толщины вязкого подслоя. Это обстоятельство позволило построить довольно точную теорию метода, связывающую пульсации и величину электродиффузионного тока с величиной касательного напряжения и пульсациями касательного напряжения на стенке.

Обработка экспериментальной зависимости диффузионного тока от времени на ЭВМ с использованием результатов теоретического анализа процессов на микроэлектроде позволяет определить основные количественные характеристики турбулентности непосредственно у твердой поверхности.

Исследование развитой турбулентности и процессов перехода от ламинарного течения к турбулентному позволило выявить ряд новых интересных деталей о механизме роста и поведения турбулентных пульсаций в глубине вязкого подслоя.

Существенные преимущества электрохимического метода перед другими методами заключаются в возможности его применения к изучению турбулентных двухфазных газожидкостных потоков. Впервые выполненные непосредственные измерения трения двухфазных потоков о стенку канала позволили оценить достоверность имеющихся в этой области теоретических методов расчета.

В заключение отметим, что проводимые в институте исследования по турбулентности являются частью той общей большой работы, которая выполняется в Сибирском отделении АН СССР также институтами гидродинамики, теоретической и прикладной механики и другими.

М. ГОЛЬДШТИК,

доктор физико-математических наук.

Б. МИРОНОВ, В. НАКОРЯКОВ, Н. РУБЦОВ, Е. ХАБАХПАШЕВА, кандидаты технических наук.

За науку
в Сибири

СОВРЕМЕННАЯ техника и технология нуждаются в точных данных о свойствах веществ и материалов, из которых рождаются новые научно-технические разработки и инженерные проекты. Например, в расчетах процессов теплообмена и преобразования тепловой энергии используются значения теплоемкости, энтропии, удельных объемов, коэффициентов теплопроводности, вязкости, диффузии, скорости звука.

Ввиду того, что количество новых веществ и материалов, ежегодно вовлекаемых в производство, исчисляется многими тысячами, а освоение новых отраслей техники значительно расширило пределы параметров тепловых процессов, обеспечение исследовательских работ и технических проектов надежными данными о свойствах веществ и материалов превратилось в серьезную научную проблему.

Существенную часть работ Института теплофизики СО АН СССР в области использования теплофизических свойств веществ составляют работы по созданию новых методов исследования. Отличительной чертой исследований, проводимых в этом направлении в институте, является создание новых, скоростных методов измерений, в которых используются современные измерительные приборы, радиоэлектроника и радиоактивные изотопы. Широкое применение в институте получили акустические методы исследования.

Новые методы не только значительно сократили время выполнения экспериментальных исследований, но в ряде случаев позволили провести измерения в условиях, недоступных классическим, традиционным методам, и получить качественно новые результаты. Так, разработанный у нас метод измерения теплопроводности с электронным обогревом образца позволил проводить исследования вплоть до температуры плавления наиболее тугоплавких металлов. С помощью полуавтоматического вибрационного вискозиметра и Γ -плотномера были проведены исследования влияния примесей на теплофизические свойства и процесс кристаллизации жидких металлов. Высокочувствительный Γ -плотномер позволил провести тщательные исследования плотности и температурного коэффициента объемного расширения жидких щелочных металлов, имеющие важное значение для теории жидкого состояния.

Акустическими методами получены интересные резуль-

таты по свойствам чистого вещества вблизи критической точки фазового равновесия пар — жидкость.

В институте также разработаны оригинальные методы измерения поверхностного натяжения и электропроводности жидких металлов, теплоемкости и температуропроводности газов, радиационных характеристик высокотемпературных материалов.

Некоторые из разработанных новых методов исследования теплофизических свойств веществ нашли применение в других научно-исследовательских институтах Советского Союза, а вибрационный вискозиметр внедрен на ряде предприятий и рекомендован для серийного выпуска.

В течение ряда лет в институте проводятся систематические экспериментальные и теоретические исследования

галлий, цинк, олово.

Особое внимание обращалось на исследование влияния примесей на теплофизические свойства жидких металлов. С этой целью были проведены тщательные измерения вязкости, плотности и электрического сопротивления большой группы металлов вблизи точки плавления, — затвердевания; была разработана специальная методика измерения поверхностного натяжения, устраняющая контакт поверхности исследуемого металла с посторонним газом. Исследование вязкости жидких металлов с помощью вибрационного вискозиметра показало, что даже незначительные загрязнения металлов газами, особенно кислородом и водородом, сильно изменяют их свойства. Влияние примесей особенно

ДЕНЬ НАУКИ — ДЕВЯТЫЙ

Получены важные результаты по спектральной излучательной способности ряда высокотемпературных мате-

Особый интерес представляют исследования скорости звука и теплопроводности во фреонах в области критических параметров состояния. Полученные результаты подтверждают наличие в критической области сильной дисперсии звука и максимумов теплопроводности. Эти экспериментальные исследования имеют большое значение для теории критических явлений и фазовых переходов.

Проведенные систематические экспериментальные исследования теплофизических свойств фреонов и жидких щелочных металлов позволили сделать некоторые теоретические обобщения. Получен ряд теоретических соотношений для приближенного расчета скорости звука в сухих и влажных насыщенных парах.

Разработана модификация теории «свободного объема», основанная на модели жидкости в виде сплошной среды с некоторым спектром микрополостей. Предложен сравнительный метод расчета (метод атомного или молекулярного масштаба), позволяющий оценить наиболее важные свойства жидких металлов на основе минимального количества исходных экспериментальных данных.

На основе приближенной теории «свободного объема» рассчитаны с достаточной для ряда практических приложений точностью критические параметры, давление насыщенных паров, коэффициенты поверхностного натяжения и вязкости для многих металлов в жидком состоянии; получены соотношения между различными свойствами жидкостей, позволяющие производить достаточно надежную интерполяцию и экстраполяцию экспериментальных данных.

**В. ГРУЗДЕВ,
А. КАПЛАН,
Е. ШЕЛУДЯКОВ,**

кандидаты технических наук.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

теплофизических свойств жидких металлов, фреонов, твердых, тугоплавких металлов, высокотемпературных материалов и некоторых других веществ. Экспериментальные исследования охватывают широкий диапазон термодинамических параметров состояния. Объектами исследования, как правило, являются новые, не изученные рабочие вещества и теплоносители.

В настоящее время завершается исследование комплекса теплофизических свойств жидких металлов, применение которых перспективно в энергетике. В ИТФ проведены экспериментальные исследования группы щелочных металлов: плотности до 1400°C электропроводности до 1350 — 1450°C ; поверхностного натяжения до 1200°C ; вязкости. Кроме щелочных металлов исследовались висмут,

велико вблизи точки затвердевания.

В металлах, очищенных от окислов и гидридов, аномалий и гистерезиса, в температурной зависимости вязкости не наблюдается. Аналогичные результаты получены при исследовании электропроводности щелочных металлов.

Эти результаты в значительной степени объяснили большой разброс опубликованных данных по свойствам жидких металлов.

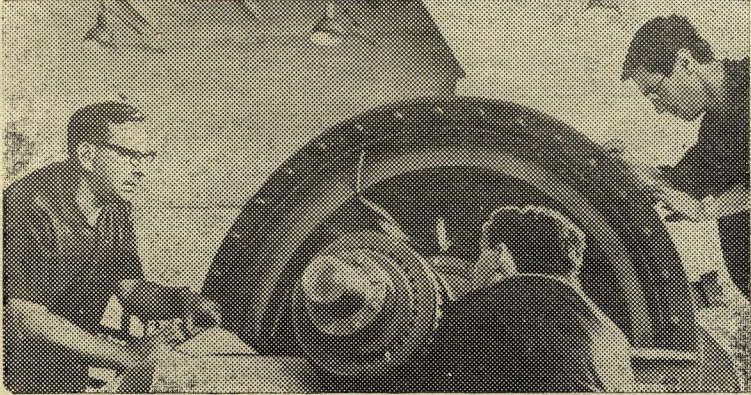
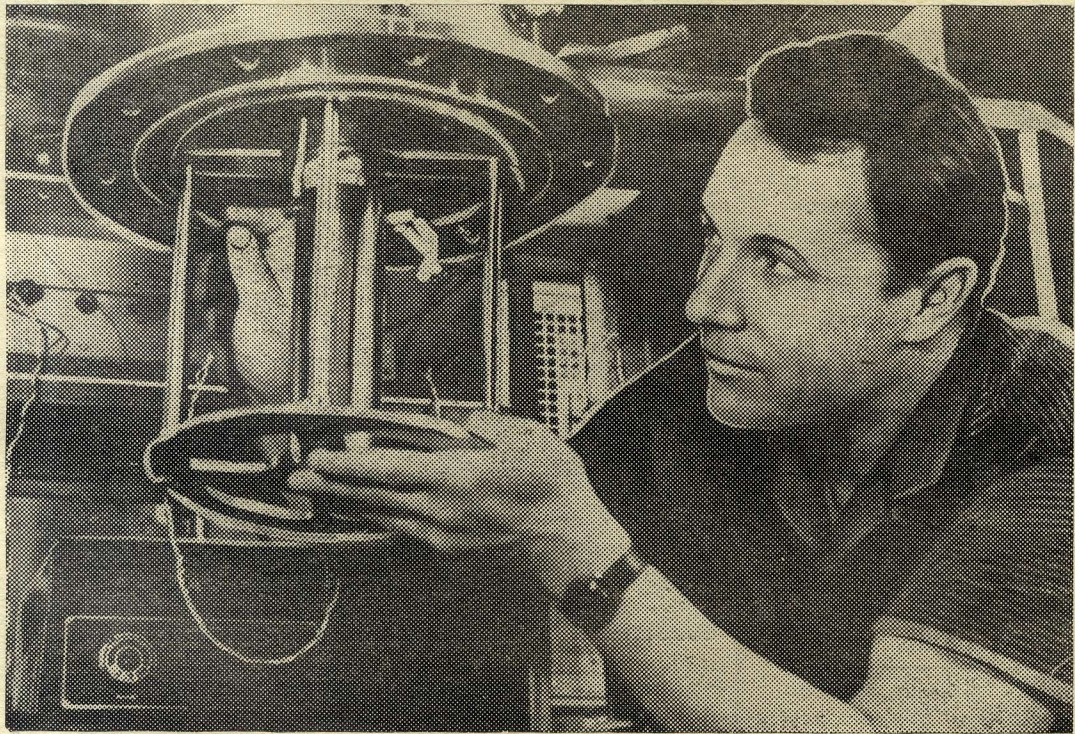
Исследование влияния газовых примесей на физические свойства жидких металлов представляет интерес также и для металлургии, так как свойства твердых металлов существенно зависят от свойств расплавов, из которых они получены.

В институте проведено экспериментальное исследование температуропроводности и группы тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и др.) до температур 2500 — 3500°K .

риалов. Проводится исследование влияния радиационного теплового удара на твердые материалы.

Систематическое исследование теплофизических свойств фреонов при параметрах, важных для энергетике, были начаты в связи с новыми разработками института. Необходимо отметить, что хотя фреоны давно используются в холодильной технике, их теплофизические свойства в области повышенных температур и давлений оставались совершенно неизученными.

В результате проведенных исследований получены надежные экспериментальные данные по удельным объемам, теплоемкости, теплопроводности и поверхностному натяжению большой группы наиболее перспективных фреонов. Получены обширные экспериментальные данные о скорости распространения звука в парах фреонов. Составлены термодинамические таблицы для фреона-21.



На снимках: (слева) научный сотрудник В. Н. Генрих за настройкой вибрационного вискозиметра.

Монтаж (справа) экспериментального стенда с фреоном охлаждением генератора.

Фото В. Кириллова.

**За науку
в Сибири**

ДЕНЬ НАУКИ— ДЕВЯТЫЙ

КАЖЕТСЯ, что кипение жидкости известно людям почти так же давно, как и горение. Но только к концу тридцатых годов нашего века ученые с удивлением обнаружили практически полное незнание этого явления. Закономерности теплообмена в кипящей жидкости, ее гидродинамика оказались настолько сложными, что для ряда случаев до сих пор отсутствует даже общая математическая постановка соответствующих проблем. В первую очередь это связано с тем, что парожидкостные системы, интенсивно турбулизируясь процессом генерации паровых пузырей, представляют совокупность элементов, переменных в пространстве и времени.

Но эти же причины делают кипящие жидкости исключительно эффективными теплоносителями, позволяющими обеспечивать нормальные условия работы конструктивных элементов реактивных двигателей, атомных реакторов, электронных устройств при плотностях теплового потока, превышающих ту, которая имеет место на фотосфере Солнца, т. е. порядка 100 000 квт/м² и более. Следует заметить, что всего двадцать лет тому назад техника реализовала плотности теплового потока не более одной двухсотой этой величины.

При таких колоссальных теплонапряжениях в процессе кипения возникает своеобразный «тепловой барьер», ограничивающий дальнейшую интенсификацию охлаждения поверхности нагрева.

Сущность этого явления состоит в том, что при некотором критическом значении теплового потока многочисленные паровые пузырьки сливаются и обволакивают поверхность сплошной пленкой малотеплопроводного пара. Условия охлаждения при этом резко ухудшаются и в ряде случаев возможны катастрофические последствия — например полное разрушение ядерного реактора. Впервые это явление было обнаружено в чисто лабораторных условиях польскими и японскими учеными в предвоенный период. Однако его природа получила объяснение только в 50-х годах в работах советских теплофизиков.

Было выяснено, что в основе кризиса кипения лежит потеря гидродинамической устойчивости двухфазного пограничного слоя, и был построен критерий, характеризующий эту устойчивость.

В результате удалось построить единую карту устойчивости всех режимов течений парожидкостных и газожидкостных смесей. Согласно

но этой теории безразлично, каким образом генерируется газовая (паровая) фаза. Существенными являются лишь энергия движения новой фазы и прочность пленок жидкости. При этом явление, аналогичное кризису кипения, можно получить при барботаже жидкости газом. Действительно, если продавливать в жидкость через пористую пластинку какой-либо газ, то на поверхности этой пластинки возникает и, с увеличением расхода газа, развивается процесс, внешне весьма схожий с кипением. Разли-

цесса кипения жидкости в самых различных условиях. В наших исследованиях механизма процесса кипения прозрачных жидкостей большое место занимает использование скоростной киносъемки. Скоростная киносъемка дает возможность изучить поведение паровой фазы у теплоотдающей поверхности, получить сведения о таких микрохарактеристиках процесса кипения, как число центров парообразования, размеры паровых пузырей, частоту их отрыва и скорости роста пузырей на поверхности нагрева. Знание этих характеристик необходимо для установления закономерностей процесса кипения. Так, применение скоростной киносъемки позволило объяснить очень сложные зависимости критического теплового потока от концентрации при кипении бинарных смесей типа спирты-вода, установить особенности механизма кипения при давлении значительно ниже атмосферного и т. д.

Критический тепловой поток зависит от очень большого числа факторов: давления, температуры жидкости, скорости движения жидкости, от размера и ориентации теплоотдающей поверхности. Поэтому в институте были поставлены опыты по выясне-

тельные работы по созданию мощных ядерных энергетических установок (на сотни квт) с жидкометаллическими теплоносителями для космических кораблей будущего. Применение этих теплоносителей позволит значительно уменьшить вес вспомогательного оборудования (реакторов, теплообменников и т. д.).

В связи с этим возникает необходимость в экспериментальном изучении процессов кипения жидких металлов в условиях естественной конвекции и вынужденного течения кипящего металла в каналах и трубах. Следует отметить, что изучение кипения жидких металлов связано с большими технологическими и методическими трудностями. Так как кипящие металлы непрозрачны, была специально разработана схема скоростной рентгеновской киносъемки с применением электронно-оптического преобразователя, что позволило проводить визуальные наблюдения за процессом кипения и впервые получить фотографии металли-

ческая температура кипения жидкого металла равна 780° С) большая часть практической области реализации кипящих металлов относится к давлениям ниже атмосферного. В связи с этим возникла необходимость в исследовании закономерностей кипения неметаллических жидкостей при пониженных давлениях. На основании данных, полученных в этой работе, и данных по кипению металлов удалось выявить сходство и различие в механизме кипения металлических и неметаллических жидкостей. Из-за различий в некоторых физических свойствах жидких металлов процесс их кипения в ряде случаев оказывается нестабильным, т. е. возможно прекращение кипения на длительное время, и при этом возникают значительные перегревы поверхности нагрева. Исследования критических тепловых потоков для кипящего цезия показали, что их значения зависят от режима и степени стабильности. При стабильном кипении, которое осуществляется на специально обработанных поверхностях, кризис имеет гидродинамическую природу. При нестабильном кипении критические нагрузки ниже, чем в первом случае. Кризис же кипения, который возникает непосредственно за режимом естественной конвекции (т. е. режимом, при котором процесс парообразования отсутствует), имеет качественно отличный характер. При этом значения критических тепловых потоков в 2—3 раза ниже, чем при стабильном кипении. Механизм этого явления в настоящее время изучается.

Процессы кипения и газовыделения имеют исключительно важное значение для ряда аппаратов, работающих в условиях невесомости и слабых гравитационных и инерционных полях.

Многочисленные эксперименты, проведенные в СССР, США и Англии, подтвердили выводы гидродинамической теории кризисов кипения и для этих необычных условий.

Г. БОБРОВИЧ, И. ГОГОНИН, И. МАЛЕНКОВ, Н. МАМОНТОВА,
кандидаты технических наук.

ТЕРМОГИДРО- ДИНАМИКА КИПАЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

чие этих процессов (кипения и барботажа) состоит лишь в том, что при барботаже полностью исключается роль тепловых явлений. Следовательно, барботаж жидкости газом, продуваемым через пористую пластину, позволяет выделить чисто гидродинамическую сторону процесса кипения. Проведенная в нашем институте экспериментальная проверка гидродинамической теории кризисов, основы которой были заложены С. С. Кутателадзе, полностью ее подтвердила. Было установлено, что критерий устойчивости пузырькового кипения (некоторая постоянная безразмерная величина, характеризующая предельный тепловой поток, при котором наступает кризис кипения) и безразмерное число, характеризующее предельную границу пузырькового режима при барботаже практически совпадают. В ходе экспериментов по изучению аналогии кризисов кипения и барботажа была выяснена причина того, что критерий устойчивости для разных жидкостей варьируется в некоторых пределах. Был найден безразмерный параметр, вполне удовлетворительно группирующий экспериментальные данные по кризису кипения различных жидкостей в интервале давлений от 80 процентов вакуума до критических в термодинамическом смысле давлений (для воды 224 ати).

Одновременно с работами по моделированию теплообмена и кризиса кипения с помощью барботажа в институте широко велись опыты по изучению собственного про-

нию влияния каждого из них.

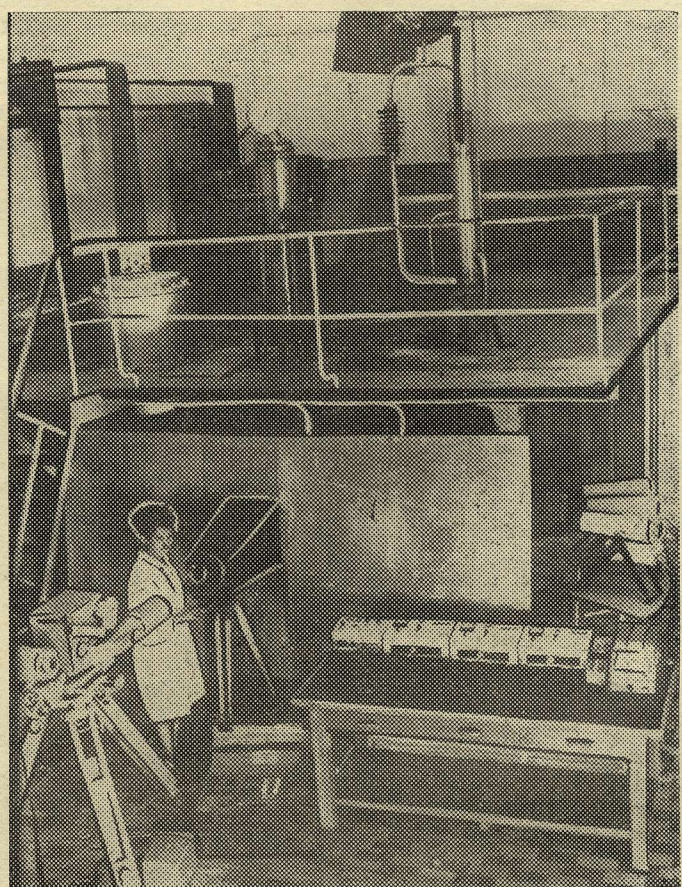
В опытах при вынужденном движении теплоносителя с очень большими скоростями (более 200 м/сек.) удалось достигнуть плотностей теплового потока более 105 квт/м².

Разрабатываемая в институте проблема использования фреонов в качестве рабочего тела в низкой ступени бинарного цикла мощных энергетических установок и для низкотемпературного охлаждения электрических генераторов привела к изучению теплообмена при кипении этих жидкостей. Так как до последнего времени фреоны считались холодильными агентами, то и опыты на них велись с очень малыми тепловыми потоками в области отрицательных температур. В настоящее время ведутся измерения по теплоотдаче при кипении фреонов в широком диапазоне тепловых потоков и давлений.

Перспективными теплоносителями для реакторов на быстрых нейтронах являются жидкие металлы (калий, натрий, их сплавы, цезий, литий и др.). В настоящее время реакторы с жидкометаллическими теплоносителями сооружаются для крупных электростанций.

За рубежом (особенно в США) ведутся исследова-

ческие паровых пузырей. Из-за высокой температуры кипения щелочных металлов (например, для натрия при атмосферном давлении тем-



Установка по исследованию механизма кипения жидких металлов.

Фото В. Кириллова.

За науку
в Сибири

ПРОБЛЕМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ПРЕИМУЩЕСТВЕННОЕ развитие тепловых электростанций в современной энергетике привлекает внимание ученых различных направлений к проблеме эффективного преобразования тепла. За последнее время достигнуты значительные успехи в совершенствовании процессов электростанций на органическом и ядерном горючем и в разработке способов прямого преобразования тепла в электроэнергию (МГД - генераторы, топливные элементы и др.).

В соответствии с законами термодинамики преобразование тепла в работу связано с подводом и отводом тепла источников.

По сложившимся традициям процессы подвода тепла относятся к теплоэнергетике, а отвода — преимущественно к холодильной технике, вследствие чего они часто рассматриваются в общей форме раздельно. Вместе с тем имеются важные проблемы, требующие совместного рассмотрения нагрева и низкотемпературного охлаждения, вследствие чего возникают вопросы, находящиеся на стыке областей теплоэнергетики и хладотехники.

В 1964 г. по инициативе члена-корреспондента АН СССР С. С. Кутателадзе в составе Института теплофизики был организован отдел низкотемпературной энергетики.

Важнейшей из проблем, разрабатываемых в отделе, является применение в теплоэнергетике умеренного, а в дальнейшем и глубокого холода. Развитие энергетической базы нашей страны, основу которой составляют тепловые электростанции, требует увеличения единичной мощности агрегатов и станций в целом. В перспективе на 1980 год предусматривается доведение годового производства электроэнергии примерно до 2500—3000 млрд. квтч., а общая мощность, вводимая на тепловых электростанциях за период с 1960 по 1980 г., должна составить более 400 млн. квт. В связи с увеличением масштабов энергетического строительства все более повышаются требования к совершенству установок и улучшению техники - экономических показателей выработки электроэнергии. Например, снижение стоимости энергетического строительства на один процент, намечаемого на 20-летний период, сберегает народному хозяйству 1 млрд. руб., а повышение на один процент к. п. д. энергооборудования может дать за этот период увеличение выработки электроэнергии на 250 млрд. квт. или экономию топлива на тепловых электростанциях порядка 65 млн. т.

Единичные мощности конденсационных энергетических блоков за этот период должны возрасти до 1200 мвт. и выше. При увеличении мощности пароводяных турбин растут весовые и объемные потоки пара, проходящие через колеса турбин, размеры проточной части и стоимость агрегата. В пароводяных турбинах конденсационных электростанций особенно резко возрастают размеры цилиндров низкого давления из-за больших удельных объемов водяных паров при низком давлении конденсации. Увеличиваются также размеры лопаток последних ступеней и напряжения, возникающие в них при работе. В связи с этим цилиндры низкого давления получают громоздкими, с большим числом выхлопов. По этим соображениям для пароводяных турбин существует предельная мощность одновальной турбины, выше которой создание агрегата технически и экономически не оправдано.

Создание электрических генераторов в большой мощности требует более интенсивного охлаждения, чем то, которое создается применением газообразного водорода, масла и воды.

Замена цилиндров низкого давления пароводяной турбины (частично или полностью) турбиной, работающей на другом рабочем теле с существенно меньшими удельными объемами, значительно сокращает габариты низкотемпературной части установки. В качестве

таких рабочих тел можно рассматривать некоторые холодильные агенты (фреоны, аммиак и др.). При этом представляется возможным создать мощные относительно компактные одновальные турбоагрегаты. Одновременно применение низкикипящих веществ в нижнем каскаде турбоагрегата дает возможность увеличить мощность блока в холодное время года благодаря понижению температуры конденсации. Это приобретает особенное значение в районах с длительной и суровой зимой.

В Институте теплофизики выполняются теоретические и экспериментальные исследования по водо - фреоновым энергетическим установкам. Первая фреоновая энергетическая установка мощностью около 1000 квт, разработанная совместно с ВНИИХолодмашем и прошедшая предварительные испытания на Шатурской ГРЭС им. В. И. Ленина, показала реальную возможность осуществления таких систем. Материалы, полученные при работе с фреоновой энергетической установкой, позволяют в настоящее время реально ставить вопрос о применении каскадных энергетических установок с фреоновой ступенью в низкотемпературной части теплового двигателя.

С целью реализации таких систем в настоящее время рассматривается вопрос о сооружении опытно - промышленной водо - фреоновой энергетической установки на Шатурской ГРЭС им. В. И. Ленина.

Большое внимание в этом направлении уделяется работам по использованию тепла геотермальных источников для теплоснабжения и выработки электроэнергии.

В поселке Паратунка на базе тепла термальных вод этого месторождения разработана и сооружается эффективная система геотермального теплоснабжения жилой зоны теплично-парниковой комбината с применением тепловых насосов. При наличии достаточных ресурсов термальных источников такая система теплоснабжения может обеспечить отопление Петропавловска-на-Камчатке.

В связи с ограниченностью ресурсов термальных вод Паратунского месторождения в настоящее время ведутся работы по геотермальному теплоснабжению поселков, расположенных вблизи от источников.

Повышение эффективности теплоснабжения в ряде случаев может быть достигнуто путем применения компрессорных или абсорбционных термотрансформаторов. Поскольку в термотрансформаторе осуществляются прямой и обратные термодинамические циклы, такое устройство в зимнее время применяется для выработки тепла, а в летнее время для производства холода. Необходимость в получении холода особенно актуальна для южных районов нашей страны, что способствует росту производительности труда и улучшению условий быта и отдыха трудящихся.

Институтом теплофизики совместно с «Гипропроект» разработана система теплохладоснабжения жилого района на площадке строительства Нурекской ГЭС с применением турбокомпрессорных теплонасосных агрегатов. В качестве источника низкотемпературного тепла в зимнее время здесь используется артезианская вода с температурой 15°С, тепло которой за счет затраты работы трансформируется на более высокий температурный уровень, необходимый для теплоснабжения. В летнее время эти же агрегаты осуществляют охлаждение помещений.

Первые отечественные турбокомпрессорные теплонасосные агрегаты ТХТМ-2000, разработанные по заданию института теплофизики ВНИИХолодмашем и изготовленные на Канском компрессорном заводе, поставлены на площадку строительства Нурекской ГЭС. В настоящее время ведутся строительные - монтажные работы по сооружению теплового пункта и системы теплохладоснабжения.

В отделе ведутся теоретические и экспериментальные

исследования абсорбционных бромисто - литиевых термотрансформаторов и холодильных машин. В результате этих работ принята к серийному производству абсорбционная бромисто - литиевая холодильная машина АВХМ-2500, предназначенная для использования в технологических процессах химических производств. Эти машины производят холод за счет использования тепла с температурой 90—130°С, вместо электроэнергии, расходуемой в обычных компрессорных системах, что приводит к значительному экономическому эффекту. Один агрегат АВХМ-2500 в зависимости от условий работы дает годовую экономию в 60—80 тыс. руб. При среднегодовом выпуске в 15—20 агрегатов в год это дает от 1 до 1,5 млн. руб. годовой экономии.

На основе исследований, проводимых в институте, внедряются новые образцы абсорбционных холодильных машин. Так, например, в Большом концертном зале «Октябрьский» г. Ленинграда установлены и работают две бромисто-литиевые машины для кондиционирования воздуха. При этом холод производится за счет использования тепла воды, забираемой из системы горячего водоснабжения от ТЭЦ при температуре 70°С. В новом микрорайоне Ташкента, строительство которого ведет Украинская ССР, завершается сооружение (в антисейсмическом исполнении) теплохладцентра с двумя бромисто - литиевыми машинами АВХМ-2500, предназначенными для кондиционирования воздуха общественных и жилых зданий.

В настоящее время выполняются экспериментальные исследования теплопереноса в рабочих процессах абсорбционной машины. На этой основе создается новый мощный агрегат, который будет изготавливаться Пензенским заводом «Пензхиммаш».

Важное место среди других работ отдела занимает проблема охлаждения электрических турбогенераторов. Увеличение единичной мощности агрегата сверх определенной для данного типа не может происходить путем простого увеличения геометрических размеров и объема машины. Это приводит к концентрации генерируемой электроэнергии в единице объема машины и, как следствие, к необходимости отвода увеличивающегося потока тепловых потерь. Современные системы газового и жидкостного охлаждения позволяют отвести тепловые потери без снижения к. п. д. генератора при довольно больших, но предельных плотностях тепловых потоков. Поэтому при создании сверхмощных электрических генераторов система охлаждения выступает как сдерживающий фактор в развитии единичной мощности таких машин. В существующих системах естественного охлаждения температура проводниковых материалов зависит от температуры речной или оборотной воды и в эксплуатационных ре-

жимах составляет величину порядка 90—110°С. Электрические же потери растут пропорционально квадрату плотности тока. Снижение температуры проводников позволяет уменьшить величину электрических потерь в генераторе.

Создание и поддержание низких температур проводников генератора возможно путем применения системы искусственного охлаждения машины, требующей затраты дополнительной энергии на осуществление обратного цикла. С энергетической точки зрения применение низкотемпературных систем охлаждения генераторов целесообразно, когда выигрыш в потерях от снижения температуры проводников не меньше, чем дополнительный расход энергии на поддержание этих низких температур. В этом случае к. п. д. низкотемпературного генератора не будет ниже к. п. д. современных машин (98,0—98,6 процента).

Исследования показывают, что это может соблюдаться только в определенных зонах рабочих температур проводников генератора. При рассмотрении потерь на постоянном токе предельный выигрыш в потерях имеет место при получении явления сверхпроводимости в проводниках, и энергетическая эффективность генератора зависит от относительной величины энергии, расходуемой на холодильную машину.

Энергетическая эффективность низкотемпературного генератора имеет место также в области умеренно низких температур (примерно до — 50—70°С). В этом случае для создания оптимальных режимов работы генератора не требуется существенного снижения высоты проводников. В этой зоне температур сказывается меньше чистота металла на величину электрических потерь в генераторе, вследствие чего отпадает надобность в получении суперрафинированных металлов для проводников. Немаловажное значение для практического осуществления низкотемпературных генераторов имеет наличие опыта конструирования и изготовления крупных холодильных машин для этой зоны температур. Поэтому в качестве первого этапа внедрения подлежат исследованию низкотемпературные генераторы с умеренно - низкими рабочими температурами проводников.

Теоретические и экспериментальные исследования низкотемпературных генераторов выполняются в лаборатории низкотемпературных систем охлаждения в тесном сотрудничестве с ЛЭО «Электросила». В качестве рабочего тела низкотемпературной системы охлаждения используется фреон, обладающий хорошими диэлектрическими свойствами. В лаборатории имеются и создаются новые экспериментальные стенды, на которых выполняются исследования по специальным вопросам теплообмена, гидродинамики и термодинамики рабочих процессов систем охлаждения. На

стенде, предназначенном для экспериментального исследования процессов теплообмена и гидродинамики двухфазного потока при движении фреона в полых проводниках современных турбогенераторов при отрицательных температурах, получены экспериментальные данные, необходимые для проектирования таких машин. Выявлено влияние гидродинамики потока фреона на энергетические потери в обратном термодинамическом цикле и на относительные потери генератора. На действующем стенде по исследованию потерь в электротехнической стали экспериментально определяется характер и величина потерь на гистерезис и вихревые точки при отрицательных температурах в атмосфере фреона.

Совместно с ЛФВНИИЭМ и ЛЭО «Электросила» разработан и изготовлен опытный турбогенератор ТК-3Ф с низкотемпературной фреоновой системой охлаждения. В настоящее время в лаборатории идет монтаж стенда для исследования низкотемпературной фреоновой системы этого генератора.

Полученные в лаборатории теоретические и экспериментальные материалы передаются ЛЭО «Электросила» для практического использования. На основе этих материалов ЛФВНИИЭМ и ЛЭО «Электросила» выполняют в 1969 г. эскизный проект опытно - промышленного турбогенератора значительной мощности с низкотемпературной системой охлаждения.

Таким образом на основе исследований в области термодинамики и теплообмена, проводимых в институте в отделе низкотемпературной энергетики, внедрен в народное хозяйство и создается ряд новых агрегатов, основанных на органическом соединении методов теплоэнергетики и холодильной техники.

В связи с организацией СКБ «Энергохиммаш» перед отделом встают новые задачи, требующие комплексных научных исследований и опытно - конструкторских разработок, которые на этой основе смогут быть переданы народному хозяйству в более короткие сроки.

Л. РОЗЕНФЕЛЬД,

зам. директора Института теплофизики, доктор технических наук, профессор. Г. СЕРДАКОВ, М. КАРНАУХ, кандидаты технических наук.

**За науку
в Сибири**

ПАРАТУНСКАЯ ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

В СОВЕТСКОМ Союзе максимальный геотермический градиент и максимальный тепловой поток отмечены на Камчатке, Курильских островах и Северном Кавказе. Богата горячими водами Сибирь. Громадная территория Западной Сибири скрывает артезианский бассейн площадью около 3 млн. км² с температурой до 100°C и выше. Работами последних лет, проводимыми Академией наук СССР, Министерством геологии и Министерством газовой промышленности на территории Советского Союза, выявлено более 50 бассейнов с зональными изменениями минерализации и температуры от обычных пресных вод до рассолов, от температур 40—50°C до 150—200°C, а в отдельных случаях и выше.

Основными, наиболее эффективными направлениями использования термальных вод являются теплоснабжение и хладоснабжение, комплексное использование в сельском хозяйстве и бальнеология, а также там, где это экономически оправдано, получение электроэнергии и извлечение ценных химических веществ.

За последнее время интерес к проблемам использования термальных вод возрастает. На VII Мировой энергетической конференции (Москва, 1968 г.) были заслушаны доклады и выступления зарубежных ученых, посвященные этим вопросам. Работы по геоэнергетике ведутся в Италии, Исландии, США, Японии, Венгрии, Новой Зеландии, Мексике. При Академии наук СССР работает совет по геотермическим исследованиям под руководством академика А. Н. Тихонова, в Министерстве газовой промышленности СССР создан отдел по использованию глубинного тепла Земли, который определил на ближайшие годы планы бурения на термальные воды и пути использования их по районам Союза. Созданы первые промышленные управления — Северо-Кавказское и Камчатское по эксплуатации термальных источников. На Камчатке вопросы использования термальных вод жизненно важны, так как эта отдаленная область страны с суровым климатом не имеет пока что минерального сырья, а стоимость ввозимого топлива велика.

По инициативе академика М. А. Лаврентьева и профессора С. С. Кутателадзе в Институте теплофизики СО АН СССР были поставлены работы по использованию термальных вод в народном хозяйстве СССР и в первую очередь на Камчатке.

Работы Института вулканологии СО АН СССР, большой труд геологов и строителей Камчатки, при активном участии общественных и партийных организаций помогли созданию Паужетской пароводяной геотермальной электростанции, спроектированной Институт «Теплоэлектропроект», и уникального комплекса по использованию геотермальных источников, строительство которого заканчивается

на Средне-Паратунских термальных источниках. В состав этого комплекса входят: экспериментальная геотермическая станция СО АН СССР, крупный парниково-тепличный комбинат, санаторий с водо-грязелечебницей, общественный бассейн круглогодочного действия и база отдыха детей.

Для геоэнергетической станции представлялось целесообразным создать турбоустановку на низкотемпературном теплоносителе, поскольку температурный уровень греющей воды Камчатских терм 85—130°C. В качестве рабочего тела для первой установки был выбран фреон-12, хорошо освоенный отечественной промышленностью.

Основными задачами являлось: 1) Создание первого в мировой практике фреонового турбоагрегата промышленной мощности по полной схеме и изучение совместной работы всех агрегатов. 2) Практическая проверка возможности монтажа и эксплуатации фреонового турбоагрегата в условиях действующей паросиловой электрической станции. 3) Создание первой низкотемпературной геоэнергетической станции с фреоновым турбоагрегатом. Очевидно, что решение этих задач должно было дать также ценный материал для проблемы каскадных водо-фреоновых циклов крупных электростанций.

Работы по использованию каскадных водо-фреоновых циклов ведутся в Советском Союзе, Польше, США, Англии. Английский центр в Марчвуде несколько лет тому назад опубликовал обширную программу работ по созданию водо-фреоновых турбоагрегатов мощностью до 2000 мвт. в одновальном исполнении. Эта программа предусматривает разработку экспериментальной энергетической водо-фреоновой установки мощностью около 2000 квт и создание четырех экспериментальных турбин мощностью 60—70 тыс. квт.

В Институте проточных машин Польской Академии наук ведутся работы по созданию экспериментальной фреоновой турбоустановки мощностью около 1500 квт.

По заданию, разработанному Институтом теплофизики СО АН СССР, Институт ВНИИХолодмаш выполнил проект фреоновой энергетической установки, который был осуществлен заводами Министерства химического машиностроения и Министерства тяжелого, транспортного и энергетического машиностроения. Заводские испытания установки были проведены в машинном зале Шатурской ГРЭС-5 имени В. И. Ленина и показали работоспособность принятой схемы фреонового цикла и основного оборудования установки: центростремительной фреоновой турбины, системы регулирования, теплообменной аппаратуры и герметичных фреоновых центробежных насосов. Проект станции выполнен Новосибирским отделением ГИПРОНИИ СО АН СССР, строительство производил трест «Камчаткесельстрой», монтаж осуществлен трестом «Дальэнерго-монтаж». Все эти работы велись под руководством и при непосредственном участии Института теплофизики.

Станция спроектирована таким образом, что, являясь лабораторией для исследования различных методов энергетического использования термальных вод, в то же время может работать в полной технологической схеме крупного парниково-тепличного комбината.

Источники термальной воды (скважины глубиной 300—600 м, $d=127-200$ мм) расположены в 1,5 км от площади ГеоТЭС, от них проложен теплопровод длиной 1732 м, $d=377$ мм по опорным столбам, которые рассчитаны на прокладку второй нитки для ТПК. Эксплуатация теплопровода даст ценный материал для проектирования систем теплоснабжения в северных районах страны.

Насосная циркуляционная вода вынесена в отдельное помещение и одновременно может служить для подачи поливной воды на комбинат. Водозабор расположен на берегу реки. Максимальный расход горячей воды на нужды станции 280 м³/час, расход воды на охлаждение — 1500 м³/час.

В сентябре месяце 1967 г. были завершены строительные работы.

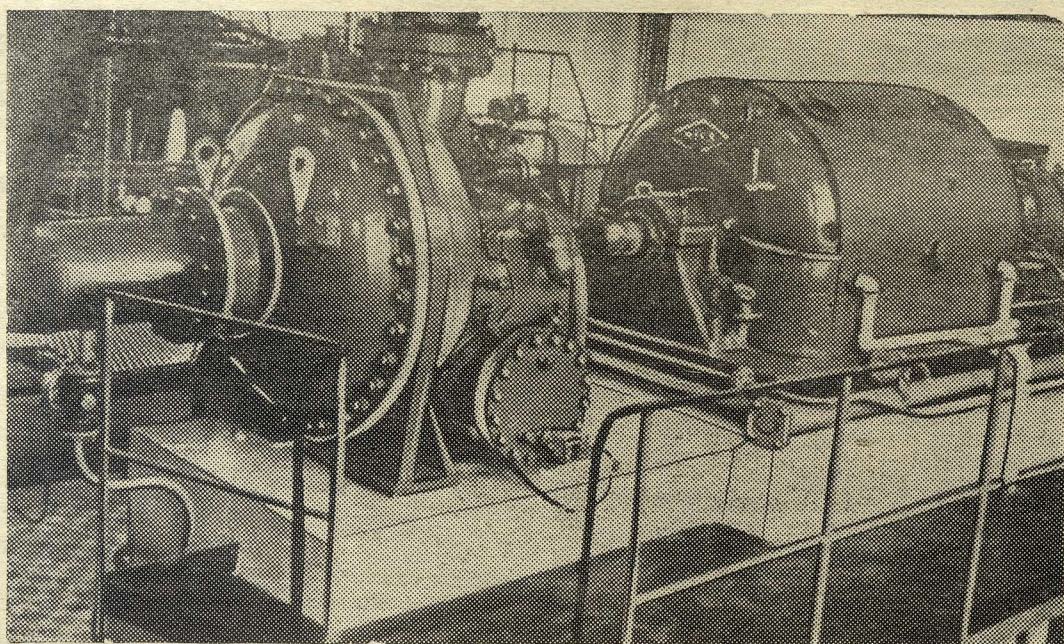
Первый пуск агрегатов ГеоТЭС был осуществлен 4 ноября 1967 г., к 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции. Испытание установки производилось Институтом ВНИИХолодмаш при участии Калужского турбинного завода и Опытного завода гидравлического машиностроения.

После окончания комплекса наладочных работ в июне — августе 1968 г. были проведены тепломеханические испытания установки. За время испытаний все основные системы и агрегаты работали удовлетворительно и обеспечивали нормальную эксплуатацию машины. Уплотнение фреоновой системы было надежным и утечки укладывались в расчетные нормы. Система регулирования и защиты турбоагрегата обеспечивала нормальную его работу на всех режимах. Сальниковое уплотнение машины обеспечивало герметизацию турбины как при работе, так и при остановке, протечки масла через сальник не превышали трех капель в минуту. Система регулирования давления в котле работоспособна, хотя колебания давления незначительно превышали расчетные пределы. Не удалось окончательно отработать систему автоматического регулирования питательных насосов, в связи с отсутствием надежных датчиков уровня для работы на фреоне. Турбоагрегат прост в эксплуатации; пуск и останов машины не представляют трудностей. Электрическая система обеспечивала синхронизацию с пусковым дизелем и оказалась достаточно маневренной под нагрузкой.

В настоящее время геологи заканчивают испытания системы скважин для сдачи на утверждение ГКЗ. Завершается строительство первой очереди парниково-тепличного комбината. После завершения этих работ начнется систематическая работа ГеоТЭС и длительные теплотехнические испытания электростанции, теплотрассы и систем отопления.

Есть все основания полагать, что накопленный опыт даст серьезный толчок дальнейшему эффективному использованию геотермальных источников в нашей стране. При этом следует заметить, что уже сейчас в ряде зарубежных стран проявлен большой интерес к этим работам.

В. МОСКВИЧЕВА,
кандидат технических наук.



Фреоновый турбоагрегат.
Фото В. Кириллова.

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

(Окончание. Нач. на 2 стр.).

Мы стремимся продвигать научно-техническую базу на восток страны. Ряд лет, в контакте с Институтом вулканологии СО АН и при активной поддержке партийных и советских органов, Институт теплофизики ведет работы по использованию богатых геотермальных источников Камчатки. Проектируемое СКБ «Энергохиммаш», имея головную группу в Новосибирске, в основном располагается в Чите, где будет построен большой комплекс производственных и бытовых зданий с современным оборудованием. Мы надеемся, что создание этого СКБ будет способствовать также развитию высшего и среднего технического образования в этом районе.

Институт теплофизики СО АН СССР представлен в ряде международных и всесоюзных постоянных научных организаций и в редакциях 7 журналов.

Имеется регулярный обмен научной информацией с многими университетами и научными центрами в США, Англии, Франции, Польше, Югославии.

Основные публикации института изданы также в ряде зарубежных стран.

Прошедшие 10 лет с фактического начала организации Института теплофизики представляют собою срок и значительный и, одновременно, не очень большой для становления большого научного коллектива. Мы отчетливо сознаем, что нам необходимо не только дальнейшее совершенствование в выбранных направлениях, но и активная борьба с законом возрастания энтропии, т. е. за свежесть идей, творческую активность исследователей, эффективный возрастной спектр кадров.

И. о. редактора
Т. А. ДРЕМОВА.