

Ж 24460

2014. 5.

ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

INDUSTRIAL GASES
TEKHICHNI GAZI

ELME MESSER GAZS

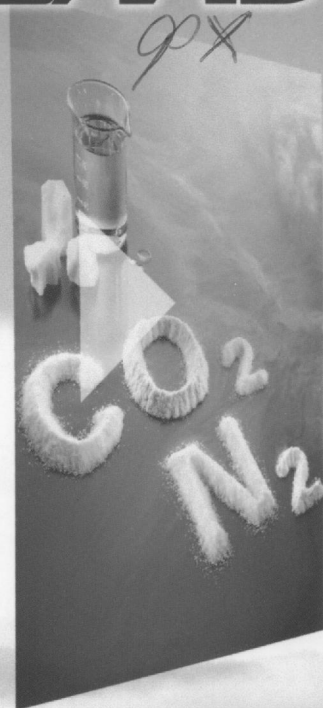


Специальные

особо чистые

газы

www.elmemesser.com.ua



Эффективные жидкостные ВРУ средней производительности с детандер-компрессорными агрегатами двухступенчатого расширения воздуха

СПГ-установка с внешним криогенным азотным детандерным циклом

Накопительная ректификация и её использование в технологии низкотемпературного разделения воздуха

Процессы обеспечения водородом системы энергоснабжения орбитального корабля

Моделирование процессов в DP-PSA-установке

УДК 629.12

¹А.А. Вассерман, доктор техн. наук, ²Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук, ³В.И. Недоступ, доктор техн. наук

¹Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029

²Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026

³Физико-химический институт имени А.В. Богатского НАН Украины, Люстдорфская дорога, 86, г. Одесса, Украина, 65080

e-mail: ¹avas@paco.net, ²uasigma@mail.ru, ³physchem@paco.net

ORCID: ¹http://orcid.org/0000-0001-8147-8417; ²http://orcid.org/0000-0002-8239-7587;

³http://orcid.org/0000-0002-4274-8960

ОДЕССКАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ШКОЛА: ЕЁ ВОЗНИКНОВЕНИЕ, СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ

В условиях, когда научный труд становится всё более коллективным, при наличии лидеров и высокой актуальности исследований возникают научные школы. Такие школы сформировались в г. Одессе в 50-ых-80-ых годах усилиями профессоров Д.П. Гохштейна, В.С. Мартыновского и Я.З. Казавчинского — корифеев термодинамики. У истоков этих школ стоял профессор С.Д. Левенсон — первый директор Украинского научно-исследовательского холодильного института, внесший существенный вклад в развитие и совершенствование термодинамического метода исследования технических систем, реализующих прямые и обратные термодинамические циклы. Излагается содержание фундаментальных исследований в области тепло- и хладотехники, расчёта и прогнозирования свойств веществ, которые выполнялись в указанных научных школах. На основе этих школ стихийно возникла и продолжает существовать Одесская термодинамическая школа — неформальное образование учёных. Ими постоянно совершенствуется и широко используется метод термодинамического исследования, а также внедряются в практику новые подходы к экспериментальному изучению и надёжному описанию свойств веществ.

Ключевые слова: Термодинамика. Термодинамический метод исследования. Прямые и обратные термодинамические циклы. Теплофизические свойства веществ. Энтропийный метод анализа. Тепло- и хладотехника. Энергетика. Научная школа.

1. ВВЕДЕНИЕ

Недавно на фасаде дома № 46 по улице Нежинской в присутствии сотрудников Одесского национального морского университета и Института холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, входящего в состав Одесской национальной академии пищевых технологий, была открыта мемориальная доска в честь крупного учёного — профессора Я.З. Казавчинского [1].

Это событие, к сожалению, оставшееся фактически незамеченным, предопределило подготовку настоящей статьи об уникальном и хорошо известном неформальном образовании учёных, именуемом как у нас, так и за пределами Украины, Одесской термодинамической школой [2].

Открытие доски собрало немало учеников Якова Захаровича — уже известных учёных, а также учеников учеников профессора и молодых исследователей. Выступления, которые обычно сопровождают такого рода мероприятия, для нас, авторов публикации, прозвучали заключительным аккордом почти вековой истории исследований в области одной из самых востребо-

ванных наук 20-го века — термодинамики, первоначально названной механической теорией теплоты [3].

Одесские учёные начали заниматься термодинамикой на физическом и химическом факультетах Новороссийского университета ещё в 19-ом веке [2]. Однако новый этап широких исследований, начатый в 20-ые годы прошлого столетия, был обусловлен иным уровнем подлежащих решению задач, вызванных созданием экономически и стратегически важных отраслей промышленности.

В это время приступили к созданию сети вузов в условиях развернувшейся индустриализации народного хозяйства СССР. Стране нужны были специализированные высшие учебные заведения, которые могли бы готовить инженерные кадры по наиболее востребованным направлениям.

В Одессе практически все вузы технического профиля вышли из Индустриального института (позже Политехнического). Например, судостроительный факультет Индустриального в 1930 г. был реорганизован в Одесский институт инженеров водного транспорта. В новом вузе в некоторых учебных дисциплинах в большом объёме использовалась техническая термодина-

мика для изложения теории прямых и обратных циклов, паровых машин и паротурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных установок и др. В Водном¹ начали выполняться научные исследования по этой тематике. Под руководством профессора *С.Д. Левенсона* были подготовлены и успешно защищены кандидатские диссертации *В.С. Мартыновским* (1933 г.) и *Я.З. Казавчинским* (1935 г.). Работавший в Одесском Политехническом институте (ОПИ) в эти же годы *Д.П. Гохштейн* в Московском энергетическом институте в 1936 г. защитил кандидатскую и в 1939 г. — докторскую диссертации.

В ряде одесских вузов ещё в 30-40-ых годах прошлого века разрабатывались фундаментальные научные проблемы, связанные с тепло- и хладотехникой. Работа над ними активизировалась в послевоенные годы. Из среды учёных выделились лидеры, объединившие вокруг себя коллективы, развивавшие их оригинальные идеи. Такими лидерами в области технической термодинамики и циклов холодильных и теплоэнергетических установок стали *Давид Петрович Гохштейн* и *Владимир Сергеевич Мартыновский*, а в области исследований термодинамических свойств веществ — *Яков Захарович Казавчинский*. Благодаря их трудам в 50-х годах начала формироваться Одесская термодинамическая школа.

Рассмотрим, как развивались и усложнялись исследования, как рос авторитет научных коллективов, созданных *Д.П. Гохштейном*, *В.С. Мартыновским* и *Я.З. Казавчинским* — корифеями термодинамики.

2. РАННИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Одесса, являвшаяся крупным промышленным и университетским городом, быстро реагировала на достижения науки и техники. Семидесятые годы 19-го века ознаменовались двумя главными достижениями в области термодинамики: работами Ван-дер-Ваальса, результатом которых было знаменитое уравнение состояния (1873 г.), и исследованиями Дж. Гиббса (1876-1878 гг.), заложившего основы статистической термодинамики и сформулировавшего условия равновесия гетерогенных систем.

В Новороссийском университете эти работы послужили стимулом для проведения термодинамических исследований в различных направлениях. На физическом факультете выдающийся физик-теоретик *Н.А. Умов* впервые получил общие выражения для введенных Гиббсом термодинамических потенциалов, ещё не названных свободной энергией Гельмгольца и свободной энергией Гиббса, для систем с произвольным числом взаимодействий и применил их для анализа электрохимических процессов. После переезда *Н.А. Умова* в Московский университет (1893 г.) кафедрой возглавил известный специалист в области физики электрических явлений *Н.Д. Пильчиков*, который, находясь под влиянием *Н.А. Умова*, выполнил обстоятельное термодинамическое исследование

сложных систем с помощью потенциалов Гиббса и Гельмгольца. Результаты исследований были опубликованы в книге, изданной в Одессе в 1896 г.

На химическом факультете наиболее яркими были работы физикохимиков *П.Н. Павлова* и его учеников. Они были посвящены изучению термодинамических свойств конденсированных систем. У исследователей наибольший интерес могут вызвать работы *П.Н. Павлова* по изучению влияния дисперсности на термодинамические свойства, которые, говоря современным языком, относились к термодинамике наносистем.

Учёные Новороссийского университета, исходя из своего уровня знаний и интересов, решали также сложные инженерные задачи. Тем более, что высшего учебного заведения технического профиля в Одессе не было, как не было конструкторских и технологических организаций. Все такого рода исследования находились в сфере интересов Императорского технического общества, Одесское отделение которого было открыто в 1866 г.

К числу важнейших городских проблем, которыми занималось Техническое общество, была городская теплофикация и появившаяся в Одессе в последние годы 19-го столетия холодильная техника. Практически весь флот РОПиТ был оборудован закупленными за границей холодильными установками. Уже в 1898 г. в Одессе было издано руководство по их эксплуатации, переведенное с английского инженером М. Акимовым.

Поскольку востребованность знаний в области производства низких температур постоянно возрастала, в рамках знаменитой промышленной выставки 1910 г., организованной Одесским отделением Технического общества, был проведен «областной съезд деятелей по холодильному делу». Съезд вызвал большой интерес в столицах, которые прислали своих делегатов. Было сделано 15 докладов, охвативших все практические направления эксплуатации и использования холодильной техники. В итоге было организовано Одесское отделение Всероссийского комитета по холодильному делу, которое способствовало тому, что на железнодорожном транспорте, в порту и других местах были построены большие холодильники и закуплены холодильные установки для хранения скоропортящихся продуктов.

3. РАЗВИТИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Первая мировая война, революция и гражданская война на много лет приостановили работы в области термодинамики и освоения холодильной техники.

Прошли годы, и снова стал расти интерес к достижениям холодильной техники. В 1930 г. в Одессе создается первый в Украине научно-исследовательский холодильный институт. Принимая это решение, правительство учло наличие научных и инженерных кадров, потребности в холоде и возможности региона.

¹В последующем иногда будут использоваться сокращённые названия вузов

Директором УкрНИХИ был назначен *Соломон Данилович Левенсон*, который совмещал руководство этим институтом с заведованием кафедрой двигателей внутреннего сгорания и холодильной техники в только что созданном Одесском институте инженеров водного транспорта (кратко — Водном институте) с сохранением за ним должности заведующего кафедрой теплотехники Индустриального института.

Политехнический стал основой практически всего технического образования в Одессе. Он был открыт в 1918 г. в результате многолетних усилий Одесского отделения технического общества, которые увенчались успехом, когда председателем Одесского отделения стал крупный инженер, городской голова Одессы *М.В. Брайкевич* (1874-1940 гг.). В состав оргкомитета по организации вуза был включен и председатель союза студентов *С. Д. Левенсон*.

В 1921 г. *С. Д. Левенсон* окончил энергофак ОПИ и до 1930 г. работал на кафедре теплотехники, пройдя путь от лаборанта до заведующего кафедрой. До введения государственной системы аттестации научных кадров институты сами назначали профессоров. Таким же образом и *Соломон Данилович* получил должность профессора, с которой перешёл в Водный институт и затем был назначен директором УкрНИХИ. В 1935 г. ВАК СССР как новый орган аттестации научных кадров присвоил *С. Д. Левенсону* учёное звание профессора по кафедре двигателей внутреннего сгорания и учёную степень кандидата технических наук без защиты диссертации.

В это время не было более авторитетного специалиста в области холодильной техники, чем *С. Д. Левенсон*. В 1927 г. он был командирован в Германию на стажировку в Высшую техническую школу города Карлсруе. Руководителем одного из институтов этого учебного заведения был известный специалист в области термодинамических основ процессов охлаждения (это определение охватывало и термодинамические свойства рабочих тел — хладагентов) *Рудольф Планк*. Знакомство с работами *Р. Планка*, а также *Э. Альтенкирха*, *Ф. Бошняковича* (автора известного курса технической термодинамики), *Р. Меркеля*, *Ф. Нуссельта* (его критерий по-прежнему широко используется в теплотехнических расчётах) существенно отразилось не только на уровне подготовки специалистов, но и сыграло определяющую роль в формировании того научного направления, которое возглавил *С. Д. Левенсон* (рис. 1).

Главной особенностью и фундаментом этого научного направления, определившего его успех и известность, было развитие термодинамического метода исследования.

Уже позже, на своих лекциях один из учеников *С. Д. Левенсона* — *Я. З. Казавчинский* говорил, что если термодинамика появилась под влиянием уже существовавших паровых машин, то в дальнейшем она «рассчиталась» с техникой тем, что разработала теорию обратных (холодильных) циклов и теорию тепловых насосов.

В руководимом *С. Д. Левенсоном* УкрНИХИ (1930-1943 гг.) проводились работы по новым на-

правлениям холодильной техники: абсорбционные установки, системы теплоизоляции, бинарные холодильные циклы, автоматизация и др. Но главным итогом этого периода было появление нового поколения учёных — создателей Одесской термодинамической школы. Среди учеников *С. Д. Левенсона* были *Б.М. Блиер*, *Я.З. Казавчинский*, *В.С. Мартыновский*, *Б.А. Минкус*, *С.Г. Чуклин*. Каждый из них впоследствии — крупный учёный, с чьим именем связывают то или иное созданное научное направление.



Рис. 1. Профессор С.Д. Левенсон (1895-1956 гг.)

4. УСПЕШНОЕ СОЧЕТАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ С ТЕРМОДИНАМИКОЙ

Создателем и руководителем направления, условно называемого «Термодинамика циклов и схем энергетических установок», по праву считается *Давид Петрович Гохштейн*.

В 1928 г. он окончил энергофак Индустриального и в 1931 г. начал работать на кафедре теплотехники, созданной под руководством *С. Д. Левенсона*. Он преподавал термодинамику и в 1932 г. подготовил конспект своих лекций, второе издание которого вышло в ОПИ в 1934 г. В 1936 г. он защитил в Московском энергетическом институте, который все годы сохранял лидерство в области энергетических наук, кандидатскую диссертацию на тему «Исследование изоадиабатных процессов идеальных газов» и был избран доцентом. В 1939 г. *Давид Петрович* там же, в МЭИ, защитил докторскую диссертацию «Вопросы термодинамики бинарных циклов» и стал профессором. После войны, в 1945 г., он приступил к заведованию кафедрой теплотехники в Политехническом.

В 1949 г. в разгар борьбы с космополитизмом (так иносказательно именовалась одна из крупнейших антисемитских кампаний в Советском Союзе) выходит приказ Министра высшего и среднего специального образования СССР легендарного С.И. Каф-

танова об увольнении профессора *Д.П. Гохштейна*. Основание было глупейшим: «*Д.П. Гохштейн* в своих научных трудах и статьях недооценивал русских и советских учёных. В его конспекте «Техническая термодинамика», изданном институтом (в 1934 г.), имеются грубые идеологические извращения при объяснении следствий закона Гей-Люссака, где допускалось существование границы исчезновения материи». Надо отдать должное сотрудником ОПИ, группа учёных не согласилась с этими обвинениями. Тогда им стали инкриминировать «групповщину». Современному читателю трудно объяснить, что всё это означает. *Гохштейну* в то время было всего 44 года!

Новый 1949/1950 учебный год *Давид Петрович* встречает заведующим кафедрой теплотехники Мукомольного института им. Сталина. Начинается самый плодотворный период научной деятельности *Д.П. Гохштейна*. Создаётся новый коллектив высококвалифицированных специалистов: *Г.П. Верховкер*, *З.Р. Горбис*, *В.А. Дацковский*, позже придут *Р.В. Бахтиозин*, *Н.Д. Захаров*, *Н.Г. Зубатов*, *Г.Ф. Смирнов* и другие. Предметами исследований этого коллектива стали атомная энергетика для подводных лодок и энергетика других столь же секретных объектов, МГД-установки для так называемой «новой техники», — так в те годы именовалась разнообразная военная техника, — и тому подобное. Большое количество договоров с предприятиями военно-промышленного комплекса и специального машиностроения, например, связанных с созданием атомных электростанций, позволило при следующей реорганизации превратить Мукомольный институт в Технологический с рядом новых факультетов, среди которых был и уникальный теплофизический факультет с кафедрой инженерной теплофизики, которую возглавил *Д.П. Гохштейн*. На этой кафедре кроме термодинамики энергетических систем [4-6] начало развиваться новое для института направление по исследованию теплофизических свойств веществ, в первую очередь, при высоких температурах, которое возглавил *П.М. Кессельман* — ученик *Я.З. Казавчинского*.

Давид Петрович Гохштейн не был кабинетным учёным. Он, работая в вузе, вместе с сотрудниками кафедры и научно-исследовательского сектора занимался решением важнейших прикладных задач. В качестве примера можно сослаться на большой объём работ этого коллектива по созданию современных турбин для крупных агрегатов со сверхкритическими параметрами пара. С этой целью *Д. П. Гохштейном* в 1957 г. была организована группа сотрудников, которые систематически, кроме указанного, занимались анализом и разработкой тепловых схем энергетических установок. Группа, в которую вошли *В.С. Киров*, *Г.П. Верховкер* и *З.Р. Горбис*, работала по заданиям ведущих отечественных заводов. Среди них были Харьковский завод турбоагрегатов и Ленинградский металлический завод.

В Технологическом институте начал работать специализированный совет по защите диссертаций по тематике теплофизического факультета. На нём за-

щищают диссертации по термодинамике и теплофизике сотрудники вузов Одессы, Грозного и других городов. Среди защитивших в первые годы — *А.А. Вассерман*, *П.А. Котляревский*, *П.М. Кессельман*, *Н.Г. Зубатов*, *В.И. Недоступ*, *А.Л. Цыкало*, *Г.Ф. Смирнов*, *Е.И. Таубман*, *С.А. Щекатолина*, *Ю.И. Бланк*, *Б.А. Григорьев* (ныне член-корр. РАН) — всего около 50 человек.

Это был период активной работы городского семинара по термодинамике, главные действующие лица которого — *В.С. Мартыновский*, *Д.П. Гохштейн*, *Я.З. Казавчинский*, *Г.Н. Костенко*. Тематика семинаров — собственные исследования докладчиков, а также крупные события в мире термодинамики и теплофизики. Семинары проходили очень бурно и не всегда в академической форме. Молодёжь испуганно следила за дискуссией корифеев и называла эти семинары «термоцирком». *Д. П. Гохштейн*, будучи излишне темпераментным, часто являлся катализатором особо острых дискуссий. После одного такого семинара, посвящённого обсуждению книги известного ученого *И.Р. Кричевского* «Понятия и основы термодинамики», которое закончилось скандалом со взаимными обвинениями, *Давид Петрович* спокойно сказал, что просто хотел оживить скучно протекавшую дискуссию.

Иногда дискуссии переносились на страницы научных журналов. Архив журнала «Холодильная техника» сохранил несколько таких дискуссий между *Д.П. Гохштейном* и *В.С. Мартыновским*. Итог их многолетней дискуссии *Давид Петрович* подвёл в книге [6]. И когда после очередной реорганизации из Холодильного института ушли пищевые специальности, а в Холодильный перевели теплофизический факультет, начался сложный период сосуществования в одном институте двух лидеров. Многолетнее научное противостояние двух школ плюс сложности характеров, не терпящих непонимания, переросли в конфликт, единственным выходом из которого был уход *Давида Петровича* в родной для него Политехнический. С ним ушло всё, связанное с атомной энергетикой: атомные электростанции, водоподготовка и т. д. Но созданные им кафедры инженерной теплофизики и тепломассообмена остались в Холодильном. И с 1971 г. *Д.П. Гохштейн* возглавляет кафедру атомных электростанций в ОПИ, на которой он проработал до начала 1984 г. Он организовал на ней широкомасштабные исследования по разработке энергетических контуров АЭС [7].

Среди работ школы *Д.П. Гохштейна* (рис. 2) можно выделить два основных направления: это использование неводяных паров в энергетике [8] и энтропийный метод термодинамического анализа [4-6]. Работы по первому направлению начались ещё в конце 30-х годов. Уже в 1938 г. в ОПИ была издана книга «Термодинамика галогенпроизводных углеводородов». В 1939 г. он опубликовал фундаментальную работу «Фторзамещённые углеводороды как рабочие тела энергетических установок». В 50-е-60-е годы работы были продолжены в Проблемной лаборатории энергоустановок на низкотемпературных рабочих телах, но к

галогенпроизводным был добавлен диоксид углерода — по многим параметрам весьма эффективное рабочее тело. Результатом этих работ была монография «Проблемы использования неводяных паров в энергетике».

К сожалению, основные исследования по использованию CO_2 как эффективного рабочего тела не были завершены *Д.П. Гохштейном*. Кто-то не выделял необходимое финансирование, кто-то мешал проведению требующихся для внедрения диоксида углерода в энергетические установки работ... Даже статьи этого крупного учёного неохотно публиковали в научных журналах. В качестве примера приведём сноску редакции к одной из публикаций *Давида Петровича* [8]: «Статья печатается, несмотря на отсутствие перспектив реализации углекислотных циклов в теплоэнергетике, так как она представляет определённый методический интерес». А ведь завершение исследований позволило бы создать энергоустановку, работающую по эффективному газожидкостному углекислотному циклу, в котором при развитой регенерации теплоты удалось бы обеспечить более высокую температуру рабочего тела в процессе подвода теплоты. В связи с этим в цикле на CO_2 можно было создать термодинамические условия для получения максимального КПД энергоустановки в заданном интервале температур.



Рис. 2. Профессор Д.П. Гохштейн (1905-1984 гг.)

Но главным вопросом научного творчества *Д.П. Гохштейна* было использование энтропии в термодинамическом анализе. В защищённой до войны докторской диссертации были заложены основы сравнительного анализа различных идеальных и реальных циклов с энтропийной оценкой энергетических потерь, вызванных необратимостью. Энтропийный метод получил дальнейшее развитие в работах учеников *Давида Петровича*: *Г.П. Верхивкера*, *Н.Д. Захарова*, *В.С. Кирова*, *Г.Ф. Смирнова*, *Е.И. Таубмана* и других. Метод термодинамического анализа сложных систем,

основанный на последовательном уменьшении числа источников потерь от необратимости, был назван авторами методом вычитаний (см. монографию *Д. П. Гохштейна* и *Г. П. Верхивкера* «Применение метода вычитаний к анализу потерь в энергоустановках»). Этот метод и в наши дни, не конкурируя с признанным лидером термодинамического анализа — эксергетическим методом, довольно широко используется благодаря его универсальности и наглядности.

Давид Петрович об энтропии в термодинамическом смысле, т.е. той энтропии, которую иногда называют тенью царицы мира — энергии, знал практически всё. Сюда, естественно, не входят современные информационно-философские представления об энтропии. Известно, что популярную книгу о сложном научном понятии может написать лишь глубоко знающий вопрос учёный. Изданная еще в 1963 г. популярная книга *Давида Петровича* об энтропии «Остановятся ли мировые часы?» [5] остаётся по-прежнему востребованной.

Термодинамическая школа *Д. П. Гохштейна* — это не только около 50 кандидатов и 7 докторов наук, но, в первую очередь, современные научные направления, развитые учениками: термодинамический анализ высокотемпературных процессов (*Г.П. Верхивкер*); современные криогенные системы на смесях (*Н.Д. Захаров*); теория тепловых труб (*Г.Ф. Смирнов*); опреснительные установки (*Е.И. Таубман*).

5. «РУССКИЙ ЦИКЛ» И ДРУГИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ПРОФЕССОРА МАРТЫНОВСКОГО

После окончания в 1930 г. судостроительного факультета Индустриального института *В.С. Мартыновский* был рекомендован в аспирантуру только что созданного Одесского института инженеров водного транспорта (ОИИВТ). В новом вузе его заинтересовали проблемы холодильной техники. В институте курс судовых холодильных установок читал профессор *С.Д. Левенсон*.

После защиты диссертации «Изоляция рефрижераторных судов» *В.С. Мартыновский*, начиная с 1933 г., работал доцентом в Водном, преподавая там техническую термодинамику и холодильные установки, затем деканом и заместителем директора института по учебной и научной работе. Его статьи публиковались в трудах ОИИВТ (о применении цикла Ворхиса в судовых рефрижераторных установках), трудах ВНИИ (о расчёте изоляции рефрижераторных судов с учётом солнечной радиации), сборниках научно-исследовательских работ ОИИВТ (об оптимальной толщине изоляции морских рефрижераторных судов).

В этот период *Владимир Сергеевич* проявил себя как учёный широкого профиля. Ему были в равной степени интересны проблемы и холодильной техники, и энергетики. Например, в 1938 г. им в журнале «Холодильная промышленность» была опубликована статья о предотвращении промерзания грунта под холодильниками, а в следующем году в журнале «Дизелестроение» — о термодинамическом сравнении образцовых циклов

ДВС. Эта свойственная ему универсальность проявлялась и в поздних наиболее значимых научных исследованиях.

В 1948 г. *Владимир Сергеевич* возглавил Одесский технологический институт консервной промышленности и начал там подготовку специалистов в области холодильной техники на созданном по приказу Минвуза СССР холодильном факультете. В связи с этим с 1950 г. вуз был переименован в Одесский технологический институт пищевой и холодильной промышленности.

Новый директор пригласил в реорганизуемый им институт перспективных специалистов: *Л.З. Мельцера, Б.А. Минкуса, В.Ф. Чайковского, С.Г. Чуклина*. Вместе с ними он сосредоточился на развитии теоретических основ хладотехники. *В.С. Мартыновский* руководил кафедрой холодильных машин, а *С.Г. Чуклин* — кафедрой холодильных установок. Поддерживались тесные связи с его учителем — профессором *С.Д. Левенсоном*, вместе с которым в 1948 г. был издан учебник по судовым холодильным установкам [9].

В 1950 г. *Владимир Сергеевич* защитил докторскую диссертацию по проблеме «Термодинамический анализ холодильных циклов» в Ленинградском технологическом институте холодильной и молочной промышленности. При защите он успешно преодолел активное сопротивление некоторых членов учёного совета, очевидно, огорчённых тем, что их институт лишился монополии на подготовку инженеров-холодильщиков. В этом же году вышла из печати его книга, в которой были изложены основные результаты исследования холодильных циклов [10].

Усилиями профессора *В.С. Мартыновского* и при его большом личном вкладе в Холодильном сформировался коллектив ярких научных работников, выполняющих исследования в области термодинамики и холодильной техники. Этот коллектив стал важной составной частью Одесской термодинамической школы. Успехи в научной работе способствовали созданию в 1959 г. при институте Проблемной научно-исследовательской лаборатории холодильной техники. В том же году началась подготовка специалистов по глубокому холоду, что повлекло за собой существенное расширение тематики научных исследований.

Владимир Сергеевич (рис. 3), его сотрудники и ученики активно применяли термодинамический метод исследования при решении многих перспективных задач, связанных с созданием эффективных систем холодильной техники и энергетики, а также с наиболее важными для этих областей техники научными направлениями.

Под руководством и при непосредственном участии *В.С. Мартыновского* разрабатывались и внедрялись более совершенные процессы получения холода с помощью вихревых труб, пароэжекторных установок и термоэлектрических устройств. Им были выполнены важные исследования по использованию низкикипящих веществ как рабочих тел в энергетике и созданы оригинальные схемы установок для опреснения морской воды.

Профессор *Мартыновский* внёс существенный вклад в подготовку специалистов в других странах. В 1957-58 гг. его командировали в Индию, где он возглавил работу по созданию Бомбейского технологического института. В 1960-64 гг. работал в Париже заместителем директора департамента образования и прикладных наук ЮНЕСКО. Благодаря его усилиям создавались высшие учебные заведения в развивающихся странах.

Владимир Сергеевич проявлял высокую принципиальность в борьбе с научными заблуждениями и мистификациями. В частности, он разоблачил нашумевшее «открытие», названное «Чудом в Бабьегородском переулке». По инициативе *В. С. Мартыновского* состоялось специальное заседание Госкомитета по науке и технике СССР, где на основании его жёсткого доклада было принято решение, покончившее с упомянутым «чудом».



Рис. 3. Профессор В.С. Мартыновский (1906–1973 гг.)

Соратниками *В.С. Мартыновского* в становлении и развитии учебной и научной работы в области холодильной техники были *Л.З. Мельцер, Б.А. Минкус* и *С.Г. Чуклин*.

Леонид Зиновьевич Мельцер исследовал реальные процессы, протекающие в холодильных машинах, методами термодинамического анализа. Он изучал циклы этих машин, а также тепловых насосов путём последовательного учёта потерь от необратимости. Пионерскими были его работы вместе с учениками по определению свойств маслофреоновых смесей как действительных рабочих тел холодильных машин, во многом определяющих особенности реальных процессов.

Борис Адольфович Минкус был сыном известного архитектора, автора проекта прекрасного здания Холодильного института. Сам *Б.А. Минкус* начал свой научный путь в УкрНИХИ в 1930 г. под руководством *С.Д. Левенсона*. Там он решил важную задачу определения температурного поля под фундаментом холодильников, а также создал и испытал систему автома-

тического контроля и регулирования температуры в холодильных установках. После перехода в Холодильный его основным научным направлением было создание разнообразных теплоиспользующих трансформаторов, среди которых особое место заняли абсорбционные машины. Эти работы принесли *Б.А. Минкусу* мировую известность.

Сергей Григорьевич Чуклин начал научную деятельность в области холода в 1932 г., став аспирантом ОИИВТ. Он продолжил её в УкрНИХИ, где занимался созданием льдогенераторов интенсивного действия и первым исследовал процессы тепло- и массообмена при холодильной обработке и хранении пищевых продуктов. Возглавив после перехода в Холодильный кафедру холодильных установок, он провёл научные исследования охлаждающих систем стационарных холодильников и рефрижераторных судов, создал новые эффективные схемы и приборы охлаждения. Результаты этих исследований составили основу его докторской диссертации «Теплопередача и влагообмен в охлаждающих системах холодильников», защищённой в 1956 г. в Московском химико-технологическом институте им. Менделеева. И в дальнейшем *С.Г. Чуклин* и его сотрудники проводили научные работы широким фронтом, проверяя результаты теоретических и лабораторных исследований в промышленных условиях.

Наиболее известными учениками *Владимира Сергеевича* были *Валентин Петрович Алексеев*, *Вячеслав Андреевич Наер*, *Владислав Феликсович Чайковский*. Ими были проведены уникальные исследования, актуальные и сейчас для криогенной и холодильной техники, и, в свою очередь, подготовлено много кандидатов технических наук.

В.П. Алексеев вначале исследовал вихревой эффект. Его кандидатская диссертация (1955 г.) стала базой для продолжения таких работ в ряде научных организаций. Позже на руководимой им кафедре глубокого охлаждения он занялся созданием компактной тепломассообменной аппаратуры, при этом им и сотрудниками было получено свыше 150 авторских свидетельств на изобретения. Эти работы легли в основу докторской диссертации, защищённой *В.П. Алексеевым* в 1969 г.

В.А. Наер развивал новые методы получения холода, исследуя полупроводниковые термоэлектрические охладители. Он внёс большой вклад в создание низкотемпературной медицинской техники; за эти работы был удостоен Государственной премии УССР.

В.Ф. Чайковский в 1953 г. защитил кандидатскую диссертацию, посвящённую термодинамическому исследованию рабочего процесса быстроходного компрессора. В дальнейшем его научные интересы были связаны с разработкой эффективных холодильных машин, работающих на смесях хладагентов. В 1967 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Холодильные машины, работающие на азеотропных смесях хладагентов». С 1968 по 1988 г. он, возглавляя ОТИ им. М.В. Ломоносова, всячески способствовал развитию научных работ в этом вузе.

Остановимся на одной из наиболее значимых научно-технических разработок *В.С. Мартыновского*, которой он начал заниматься с 1964 г. После возвращения в Одессу из Парижа им был проведен обстоятельный анализ работы многочисленных лабораторий кафедры холодильных машин для того, чтобы наметить продолжение научных исследований по тем направлениям, где можно было ожидать новых результатов. На основе этого им был сформирован крупный научный и инженерный коллектив (*И.М. Шнайд*, *А.А. Шмыгля*, *Л.В. Ястребова*, *Л.Ф. Бондаренко* и др.) для разработки эффективных воздушных турбохолодильных машин.

На начальном этапе работ *В.С. Мартыновским* в соавторстве с генеральным конструктором авиадвигателей, академиком АН СССР *С.К. Туманским* и начальником ОКБ ТХМ, д.т.н. *М.Г. Дубинским* были предложены и реализованы новые схемные и конструкторские решения для осуществления циклов с дополнительным теплообменом в регенераторе вакуумных и напорных воздушных холодильных машин. *В.С. Мартыновский* начал заниматься термодинамическими исследованиями и оптимизацией циклов воздушных холодильных машин ещё в довоенные годы. Основные результаты по этой теме были представлены в его докторской диссертации и опубликованы в монографиях [10,11].

Изучение воздушных циклов показало, что их эффективность в значительной мере зависит от КПД компрессора и детандера. Объясняется это тем, что невысокая по величине работа идеализированного воздушного цикла, представляющая собой разность двух близких больших работ компрессора и детандера, резко возрастает при учёте потерь в этих машинах. Содружество с *С.К. Туманским* и *М.Г. Дубинским* дало возможность использовать в воздушной турбохолодильной машине (ТХМ) высокоэффективные конвертированные авиационные многоступенчатые осевые компрессоры и турбины. Причём для ТХМ подходило оборудование, которое отработало лётный ресурс. В наземных же условиях при изначально высокой его надёжности оно могло работать ещё многие годы.

Для создания ТХМ пришлось разрабатывать эффективные переключающиеся насадочные регенераторы, переделывать под существенно меньшие расходы осевой компрессор и турбину, согласовывать их производительности и мн. др. Эти работы параллельно велись и в институте, и в специально созданном ОКБ на заводе № 300. В итоге удалось изготовить первые образцы ТХМ с высокими показателями. При испытании они вырабатывали холод на уровне $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, т. е. в промежуточной области температур: ниже, чем позволяют получать одноступенчатые холодильные машины, и выше, чем обеспечивают газовые криогенные машины, реализующие обратный цикл Стирлинга.

Приоритет отечественных учёных в этой области был настолько очевиден, что на Западе появился термин «русский цикл» [12,13]. Уже посмертно за эти работы *В.С. Мартыновский* совместно с другими специалистами в 1981 г. был удостоен премии Совета

Министров СССР с формулировкой: «За создание и внедрение в народное хозяйство страны воздушной турбохолодильной машины ТХМ-1-25 и её модификаций». К сожалению, эти работы были в дальнейшем прекращены, и интерес к ним возобновился только в последнее время [14].

Научное наследие *В.С. Мартыновского* исключительно богато и разнообразно [13]. Им было издано 9 монографий и учебников, например, [15,16], опубликовано более 150 научных статей, получено 25 авторских свидетельств на изобретения. Под его руководством выполнили и защитили только кандидатские диссертации 23 человека.

В созданной и поддерживаемой им атмосфере научного творчества и высокой требовательности еще при жизни *В.С. Мартыновского* его коллеги и ученики стали докторами наук: *В.А. Наер, Л.З. Мельцер, В.Ф. Чайковский, Б.А. Минкус, В.П. Алексеев*. Эти, уже сами по себе известные учёные и другие ученики составили научную школу *В.С. Мартыновского*. Его школа, как и всякая научная школа, характеризуется сочетанием ряда особенностей, определяемых ее направлением, условиями деятельности и стилем работы ее руководителя. Из таких особенностей школы *В.С. Мартыновского* профессор *В.М. Бродянский* отметил три основные.

Первая — опора на термодинамику как «основу основ» теоретического рассмотрения любой технической системы преобразования энергии, где существенную роль играют тепловые потоки. Понимание важного значения таких факторов, как конструктивно-технологические, эксплуатационные и, наконец, технико-экономические, никогда не мешало *В.С. Мартыновскому* и его ученикам подходить к любой задаче прежде всего с термодинамических позиций. Для этого, естественно, необходим был единый, опирающийся на общую методику термодинамический подход к техническим системам, в котором учитывается совершенство как внутренних процессов, так и внешних энергетических взаимодействий. Отсюда возникло разделение потерь от необратимости на внутренние и внешние, введенное *В.С. Мартыновским*. В случае необходимости пересматривались и некоторые установившиеся представления, вводились новые понятия и методы. В результате удалось не только четко и наглядно изложить многие весьма запутанные вопросы, но и выявить полезные для инженерной практики зависимости, в том числе и такие, которые имеют фундаментальный характер, например, связь эксергетического КПД газового холодильного цикла с отношением работ сжатия и расширения и экстремальный характер зависимости КПД различных холодильных машин от температуры теплоотдатчика.

Вторая особенность, диалектически связанная с первой, — инженерный подход к каждой задаче, который ни на одном этапе работы не противоречит опоре на термодинамику как на основу любого анализа. Этот стиль находит свое выражение в двух аспектах. С одной стороны, термодинамическое рассмотрение проводится с моделями разного уровня идеализа-

ции — от идеальных (с обратимыми процессами) до реальных, в которых учтены все основные потери от необратимости. С другой стороны, не упускаются из поля зрения как технические ограничения, накладываемые конкретными условиями реализации системы, так и структурные связи ее отдельных частей. Учет всех этих факторов позволяет избежать многих ошибок, связанных с сугубо термодинамическим подходом к инженерным задачам.

Третья особенность школы *В.С. Мартыновского* определяется особым вниманием к технико-экономической стороне инженерной задачи. Он был одним из тех, кто обратил внимание на связи различных видов затрат с термодинамическими параметрами систем. Изучение и учёт таких связей могут уже на ранних стадиях проектирования помочь найти оптимальное с технико-экономических позиций решение.

В.С. Мартыновский, начиная с 1955 г., принимал активное участие в деятельности МИХ — Международного института холода (Париж, Франция). Он являлся делегатом от СССР на всемирных конгрессах по холоду 1955 г. (Франция), 1959 г. (Дания), 1963 г. (ФРГ) и 1967 г. (Испания). На конгрессе в Испании им возглавлялась представительная делегация специалистов нашей страны, занимающихся исследованиями, разработкой и выпуском холодильного и криогенного оборудования (рис. 4).



Рис. 4. *В.С. Мартыновский* на всемирном конгрессе МИХ (1967 г.) в Испании (крайний справа в первом ряду)

На XIII всемирном конгрессе МИХ (Вашингтон) ему также было поручено возглавлять советскую делегацию. На этом конгрессе его избрали вице-президентом Научного совета МИХ. По согласованию с Правительством СССР он предложил руководству МИХ провести очередной XIV всемирный конгресс по холоду в 1975 г. в Москве. Предложение было принято, и началась подготовка к проведению конгресса. Но дожить ему до этого не было суждено. Он ушёл из жизни в 1973 г., а XIV всемирный конгресс МИХ состоялся в Москве в 1975 г. На этом высоком форуме по предложению директора МИХ г-на Анке участники конгресса, стоя, почтили память крупнейшего специалиста в области холодильной техники, термодинамики и энергетики.

Вся жизнь *В.С. Мартыновского* — это непрестанный и напряженный научный поиск. Полученные им результаты позволили сформировать наиболее современное представление о термодинамических основах холодильных и теплонасосных систем.

6. ПРЕВЗОШЕДШИЙ САМОГО ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА

Всесоюзная и даже международная известность Одесской термодинамической школы связана с именами *Я.З. Казавчинского* и его учеников.

Путь *Якова Захаровича* к высшему образованию был непростым. Он родился в Одесской области в селе и до 18 лет не умел читать и писать по-русски. В 1923 г. он был направлен комитетом «незаможных селян» на рабфак Одесского института народного образования (ИНО). Через два года *Я.З. Казавчинский* закончил рабфак и был переведен на математический факультет ИНО. После двух лет учёбы на этом факультете он в 1927 г. перевёлся в Одесский индустриальный институт на судостроительный факультет. На базе этого факультета в 1930 г. был организован ОИИВТ, и свидетельство о присвоении квалификации инженера-судостроителя «с судомеханическим уклоном» было выдано ему этим вузом.

Его дальнейшая трудовая деятельность, в основном, была связана с Одесским институтом инженеров водного транспорта. Он вскоре поступил там в аспирантуру, а параллельно с учёбой в ней с 1932 г. начал преподавать в ОИИВТ и холодильном техникуме. Его научным руководителем был профессор *Соломон Данилович Левенсон*.

Первые 10 лет педагогической и научной работы *Я.З. Казавчинского* были посвящены холодильной технике; он тесно сотрудничал с Украинским научно-исследовательским холодильным институтом. В 1935 г. им была защищена в ОИИВТ кандидатская диссертация «Теория и расчёт эжекторных холодильных установок». Интересно, что председателем учёного совета был доцент *В.С. Мартыновский*.

В 1939-41 гг. *Яков Захарович* работал в Харькове старшим научным сотрудником опытной станции глубокого охлаждения Главазота. Там он выполнил экспериментальные работы по теплопередаче при конденсации при низких температурах, но начавшаяся война прервала эти оригинальные исследования. В конце 1941 г. *Я.З. Казавчинский* вернулся в Одесский водный институт, эвакуированный в Самарканд. Он пережил с коллегами трудности эвакуации и в августе 1944 г. возвратился вместе с ними в Одессу.

Работая доцентом кафедры ДВС Водного института, *Яков Захарович* преподавал термодинамику и теплопередачу, а также судовые холодильные установки. В 1950-60 гг. он по совместительству читал курсы «Теоретические основы глубокого охлаждения» и «Термодинамика влажного воздуха» в Холодильном институте. Многие специалисты по криогенной технике являются его учениками.

В 1951 г. *Я.З. Казавчинский* попытался защитить

докторскую диссертацию «Исследование термодинамических свойств водяного пара» в Киевском политехническом институте. В этот тяжёлый для советской науки период борьбы с «безродными космополитами», несмотря на поддержку работы ведущими специалистами по термодинамике, голоса членов совета разделились поровну: 18 — «за» и 18 — «против».

Неудача только стимулировала деятельность *Якова Захаровича*, который в новой диссертации «Исследование термодинамических свойств и метод составления уравнения состояния реальных газов» разработал весьма перспективную форму такого уравнения [17]. В 1954 г. новая диссертация была представлена в совет Московского энергетического института. Процедура её рассмотрения и защиты была трудной, так как руководитель кафедры, рассматривавшей диссертацию, сам был автором используемого в те годы уравнения состояния водяного пара. Он осознал конец московской монополии, и поэтому на заседании учёного совета теплоэнергетического факультета повторился результат голосования в КПИ — равное число голосов «за» и «против».

Однако учёный совет института в декабре 1955 г., благодаря протестным выступлениям профессоров (в будущем академиков) *В.А. Кириллина* и *А.Е. Шейндлина* в поддержку диссертации, не утвердил решение факультетского совета. Была фактически проведена повторная защита, приведшая вполне заслуженно к положительному результату. После утверждения Высшей аттестационной комиссией *Я.З. Казавчинского* в учёной степени доктора наук и в звании профессора в ОИИМФ в 1958 г. была организована под его руководством кафедра термодинамики и общей теплотехники, насчитывавшая вначале 2,5 ставки штатных преподавательских единиц.

Результаты работы *Якова Захаровича* (рис. 5) были не только интересны с научной точки зрения [17-20], но и актуальны для развития энергетики, в том числе — атомной, ракетной и криогенной техники, газовой и химической промышленности и т. д. [21-22]. Крупнейшие НИИ и КБ страны начали оплачивать на договорных началах исследования теплофизических свойств важных для техники веществ. К выполнению таких работ *Я.З. Казавчинский* привлёк многих молодых инженеров. Таким образом, им были заложены основы уникальной теплофизической школы с её демократическими принципами и вместе с тем высокой требовательностью как к сотрудникам, так и к результатам их работ.

Для сохранения в ОИИМФ подготовленных им научных кадров и обеспечения более стабильного финансирования проводимых фундаментальных исследований *Я.З. Казавчинский* занялся организацией в вузе проблемной лаборатории. Для этого пришлось добиваться приёма у Министра морского флота СССР. При встрече в октябре 1964 г. он протянул Министру свой паспорт с датой рождения 8 ноября 1964 г. и заявил: «Мне скоро исполнится 60 лет. Ордена мне не надо, дайте мне проблемную лабораторию». Министр опешил, но вскоре взял реванш.

Когда *Я.З. Казавчинский* сказал, что одну из проблем упоминал Н.С. Хрущёв, Министр ответил: «Ни черта он не знает, ваш Никита Сергеевич». Шокированному *Якову Захаровичу* только после появления на следующий день сообщения о пленуме ЦК КПСС стала понятна причина смелости Министра.

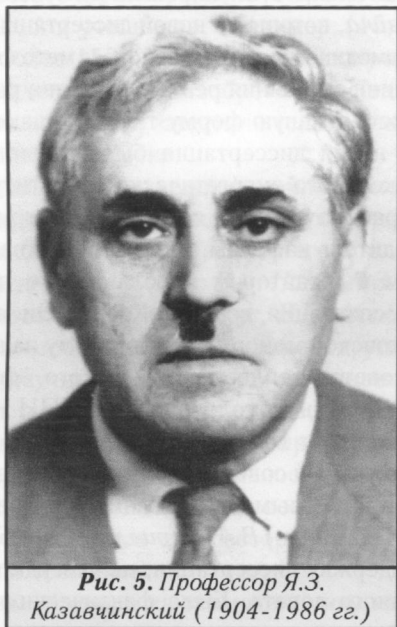


Рис. 5. Профессор Я.З. Казавчинский (1904-1986 гг.)

Лаборатория начала функционировать только в 1966 г., когда Госкомитет по науке и технике Совета Министров СССР выделил ОИИМФ штаты и финансирование для проведения исследований свойств веществ (рис. 6). Однако большая часть весьма плодотворных исследований выполнялась уже без её основателя, который в 1968 г. из-за разногласий с руководством института перешел в ОТИХП, руководимый его другом *В.С. Мартыновским*.

Яков Захарович тяжело переживал отрыв от



Рис. 6. Сотрудники Проблемной лаборатории судовой холодильной техники и прикладной термодинамики ОИИМФ (1967 г.) вместе с профессором Я.З. Казавчинским (пятый в первом ряду слева направо)

созданного им научного коллектива, но вышел из этого состояния благодаря недюжинной силе воли и желанию реализовать возникшие недавно у него идеи. Он стал заниматься со своими новыми аспирантами исследованиями свойств хладагентов и их смесей и изучать влияние этих свойств на энергетические характеристики холодильных установок с целью подбора для них наиболее эффективных рабочих тел. Переехав в 1980 г. к дочери в Москву, *Яков Захарович* следил за развитием созданной им теплофизической школы и искренне радовался её успехам.

Лучшим памятником *Я.З. Казавчинскому* является всё же не мемориальная доска, а созданная им и получившая широкую известность и признание Одесская школа исследований теплофизических свойств веществ. Следует подчеркнуть, что школа была периферийной, а это также само по себе уже было уникальным явлением для тех лет, когда для приобретения известности в любой сфере деятельности надо было обязательно переезжать в Москву.

Якова Захаровича отличали умелый подбор сотрудников и напряжённая повседневная работа с ними. Ему удавалось чётко поставить научную задачу и внимательно следить за её решением. Он обладал даром оценивать способности молодых инженеров и их склонность к научной работе. Характерно, что из подготовленных им 25 кандидатов наук 11 впоследствии стали докторами и чаще всего научными руководителями своих ответвлений школы.

Применение общей методики составления уравнения состояния для конкретных веществ требовало интуиции и разработки индивидуального подхода. Подавляющее большинство сотрудников *Якова Захаровича* справились с этими достаточно сложными задачами. Этому способствовали творческая атмосфера в коллективе, проведение научных семинаров и взаимопомощь его учеников. По мере роста коллектива опыт, накопленный сотрудниками, передавался вновь пришедшим, позволяя скорее решать новые сложные задачи. Успешные защиты диссертаций учениками *Я.З. Казавчинского* создавали авторитет его школе и привлекали к её работе новых последователей.

Яков Захарович исповедовал лозунг: «Здесь не делают диссертации», т. е. основной целью был научный результат. В некоторых случаях он откладывал защиту ученика, требуя дополнить диссертацию более оригинальными результатами. В итоге это давало импульс для дальнейшей самостоятельной научной деятельности диссертанта. Проводя объединяющие школу исследования теплофизических свойств веществ, его ученики в своих докторских диссертациях и в работах своих аспирантов, в монографиях и статьях развивали также одновременно с этим самостоятель-

ные направления.

Так, *В.А. Рабинович* развил комплексный, — экспериментальный и теоретический, — подход к исследованиям свойств веществ. Это нашло отражение в его докторской диссертации, посвящённой редким газам, и в последующих работах по свойствам веществ в критической области. Научные достижения *В.А. Загоруйко* и его учеников были связаны с теплофизическими свойствами гигроскопических материалов. Накопленные ими данные были использованы при разработке и испытаниях изотермических контейнеров для перевозки плодоовощной продукции в арктических условиях.

В.А. Загорученко, *А.Г. Табачников* и позднее *В.И. Недоступ* развивали несколько плодотворных направлений в области исследования свойств многокомпонентных смесей. На одном из заседаний Всесоюзной конференции были представлены 4 доклада школы о методах расчёта свойств смесей. Выступавший последним *Я.З. Казавчинский* начал доклад с анекдота о вывесках четырёх портных, живущих на одной улице: «лучший в городе», «лучший в стране», «лучший в мире» и «лучший ... на этой улице».

Яков Захарович поддержал возникший эмпирически приём совмещения опытной кривой второго вириального коэффициента с модельной путём поворота осей координат. Отсюда возникла концепция потенциала межмолекулярного взаимодействия с переменными параметрами, ставшая основой научно-го направления *П.М. Кессельмана*.

Одной из главных проблем, интересовавших *Якова Захаровича*, было составление единого уравнения состояния для газа и жидкости. Некоторые учёные считали это недостижимым, однако *А.А. Вассерман* в 1963 г. получил такое уравнение для азота, а в дальнейшем с помощью ЭВМ составил аналогичные уравнения для многих веществ. Уравнения были использованы для подготовки серии монографий, написанных им и *В.А. Цымарным* с участием московских коллег. Эти труды стали важной составной частью системы нормативно-справочных данных о свойствах технически важных газов и жидкостей. За разработку системы *А.А. Вассерман*, *В.А. Рабинович* и *В.А. Цымарный* вместе с группой теплофизиков в 1987 г. были удостоены премии Совета Министров СССР. В том же году монографии были переизданы в США.

Для настоящей научной школы характерно то, что в более поздних исследованиях на близкие темы генерируются новые идеи. Например, при сравнении работы *В.И. Кудашева* (1964 г.) по свойствам фтора с работой *С.А. Щекатолиной* (1970 г.) виден переход исследований на более глубокий физический уровень. Работы *А.Г. Табачникова* по химически реагирующим газовым системам были достижением в 70-е годы, но *Е.С. Якуб* успешно развил это направление через 10 лет. *А.Л. Цыкало* совершенствовал расчёты свойств жидких кристаллов, применяя современные методы машинного моделирования. Исследования геометрических особенностей термодинамической поверхности, начатые *Яковом Захаровичем*, существен-

но развиты в расчётах *В.И. Недоступа* с помощью разработанного им метода идеальных кривых. На основе метода, в частности, были предложены новые эффективные уравнения состояния для чистых веществ и их смесей в различной форме, в том числе и в принятой в современных исследованиях форме фундаментального уравнения состояния. Предложенные основателем научной школы новые принципы применения теории термодинамического подобия легли в основу работ *В.А. Мазура* по прогнозированию свойств рабочих тел.

Я.З. Казавчинский хорошо понимал важность получения надёжных опытных данных о свойствах веществ и в 1961 г. решил организовать при кафедре термодинамики экспериментальную лабораторию. Её создали *В.А. Елема* и *В.А. Цымарный*, а затем на протяжении многих лет возглавлял *В.А. Цымарный*. В лаборатории, в частности, были получены опытные данные о плотности диоксида углерода, этилена и воздуха в широкой области параметров. Также были созданы оригинальные установки для измерения вязкости и теплопроводности нестационарными методами и получены соответствующие данные для ряда веществ.

Необходимо упомянуть ещё об одном известном специалисте, который окончил Холодильный институт и подчёркивал, что стал учёным благодаря профессору *Казавчинскому*. Это — *Александр Исаевич Калина*, автор около 400 изобретений, запатентованных во многих странах. Самое известное его изобретение — цикл Калины, который экономичнее традиционного цикла Ренкина на 15...25 %. Изобретатель предложил использовать в качестве рабочего тела паротурбинных установок не воду, а смесь воды с аммиаком. О перспективности цикла Калины свидетельствует тот факт, что фирма «Дженерал Электрик», господствующая на мировом энергетическом рынке, приобрела у автора право на использование этого цикла.

Следует отметить также научное направление, объединившее исследования в области свойств веществ и техники низких температур, т. е. учитывавшее особенности школ *Я.З. Казавчинского* и *В.С. Мартыновского*. Объектом работ коллектива сотрудников кафедры технической криофизики ОТИХП, руководимой *Г. К. Лавренченко*, были смеси, используемые в качестве многокомпонентных хладагентов, и процессы при охлаждении различных объектов с помощью этих смесей. На кафедре была создана прекрасная экспериментальная лаборатория, где было изучено поведение ряда сложных смесей, перспективных для холодильной и криогенной техники.

К этому направлению относятся также основные работы ученика *Д.П. Гохштейна* — *Н. Д. Захарова* — типичного представителя Одесской термодинамической школы. В кандидатской диссертации он развивал энтропийный метод анализа работы тепловых электростанций. В дальнейшем он, как и *Г.К. Лавренченко*, занялся задачей использования смесей в качестве рабочих тел криогенных микроохладителей. Возглавив лабораторию в Омском институте микрокриогенной техники, *Н.Д. Захаров* выполнил ряд исследований, которые включали изучение теплофизических

свойств сложных смесей. После защиты докторской диссертации он вернулся в Одессу, где много лет был ректором Одесской государственной (затем национальной) академии пищевых технологий. Заведя кафедрой тепло- и хладотехники в ОНАПТ, он и там проводил теплофизические исследования.

Хотя ОИИМФ был колыбелью Одесской теплофизической школы, но, как говорил *К.Э. Циолковский*, «нельзя же вечно жить в колыбели». Институт не мог трудоустроить много высококвалифицированных учёных-теплофизиков, тем более, что из-за подчинённости Министерству морского флота уменьшалась теплофизическая тематика в планах НИСа и проблемной лаборатории. Поэтому многие наиболее активные сотрудники (*П.М. Кессельман, В.А. Рабинович, А.Л. Цыкало, В.И. Недоступ* и некоторые другие) ушли из ОИИМФ в другие институты.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 30-ые годы двадцатого века крупные научно-технические проблемы решались большими группами конструкторов, проектантов и научных работников. Времена учёных-одиночек ушли в прошлое.

В условиях коллективного творчества и при появлении авторитетных лидеров в различных академических, учебных институтах, а также в НИИ иногда возникали научные школы. Их появление зачастую было непредсказуемым, так как наличие в коллективе научного авторитета не всегда оказывалось достаточным. Должны были проявляться и другие признаки научной школы, которые ещё четыре века назад сформулировал выдающийся английский естествоиспытатель *Френсис Бэкон*.

В Одессе, начиная с послевоенного периода, стали формироваться научные школы *В.С. Мартыновского* и *Я.З. Казавчинского*, учителем которых был *С.Д. Левенсон*, а также школа *Д.П. Гохштейна*. Становление и развитие этих школ достаточно подробно рассмотрено в настоящей статье.

Хотелось бы кратко коснуться нынешнего состояния этих школ. Многие непосредственные ученики *Я.З. Казавчинского* продолжают заниматься научными работами, готовят аспирантов, развивая собственные школы.

После перехода *Я.З. Казавчинского* в Холодильный институт и перевода туда же в 1969 г. *П.М. Кессельмана* с группой его сотрудников основным теплофизическим центром стал ОТИХП. Переход группы *П.М. Кессельмана* в ОТИХП позволил в дальнейшем объединить в рамках кафедры инженерной теплофизики экспериментальные работы лаборатории, созданной профессором *З.И. Геллером*, с теоретическими исследованиями. Объединённый коллектив выполнил много оригинальных работ. Школа *П.М. Кессельмана* является наиболее значимой ветвью «термодинамического древа» *Я.З. Казавчинского* — из неё вышли 24 кандидата и 4 доктора наук.

За полвека в Одессе выполнен большой объём теплофизических исследований. Были разработаны

методы и программы расчёта свойств веществ, составлены уравнения состояния и уравнения для расчёта коэффициентов переноса, рассчитаны таблицы свойств и построены диаграммы состояния для сотен веществ. Сюда вошли окислители и некоторые виды топлива для ракетной техники, рабочие тела энергетических, холодильных и криогенных установок, продукты переработки нефти и газа и другие вещества, включая гигроскопические материалы. Развитие ряда важнейших отраслей техники, невозможное без данных о свойствах веществ, было обеспечено благодаря работам Одесской теплофизической школы.

Сегодня в Одесском национальном морском университете (бывшем ОИИМФ), Институте холода, криотехнологий и экоэнергетики им. *В.С. Мартыновского*, входящем в ОНАПТ, Физико-химическом институте НАН Украины продолжают трудиться прямые ученики *Я.З. Казавчинского*. Это профессора *А.А. Вассерман, В.А. Мазур, В.И. Недоступ, А.В. Троценко, А.Л. Цыкало*. В тех же вузах работают многие их ученики, а также ученики *П.М. Кессельмана*, из которых необходимо упомянуть профессоров *В.П. Железного, В.Б. Роганкова* и доцента *С.А. Щекатолину*. У каждого из упомянутых прямых учеников *Я.З. Казавчинского* было воспитано несколько своих учеников, ставших кандидатами технических наук.

Продолжает выполнять в ОНАПТ серьёзные теплофизические исследования профессор *В.З. Геллер*.

В последние годы жизни *В.С. Мартыновского* к нему возросло внимание со стороны Академии наук СССР и лично её президента *Б.Е. Патона*. В результате в 1971 г. для *Владимира Сергеевича* в Одессе был организован отдел термодинамики и теплофизических свойств веществ Института технической теплофизики АН СССР. К сожалению, скорый уход из жизни не позволил *В.С. Мартыновскому* воспользоваться этим и стать членом Академии наук. В дальнейшем, начиная с 1978 г., отдел стал одним из ведущих научных подразделений созданного академиком *А.В. Богатским* Физико-химического института АН СССР. В нём под руководством *В.И. Недоступа* продолжают оригинальные работы в области исследований термодинамических свойств веществ.

Из научной школы *В.С. Мартыновского* вышло много учёных. Среди них нужно, в первую очередь, назвать профессоров *В.А. Наера* и *В.П. Алексева*, усилиями которых в прошлые годы были созданы собственные авторитетные научные школы. В этих школах, в свою очередь, появились ученики учеников *В.С. Мартыновского*. К этой категории следует отнести профессоров *Г.К. Лавренченко* и *А.В. Дорошенко*, успешно занимающихся научными исследованиями и в наше время. Ими подготовлены многие кандидаты наук, а также доктора наук *М.Г. Хмельнюк* и *А.Н. Горин*, соответственно, которые уже сами, как вполне зрелые учёные, формируют собственные научные школы из защищающихся под их руководством аспирантов.

Развивается и расширяется научная школа *П.М. Кессельмана* — ученика *Я.З. Казавчинского*. Наибо-

лее успешным последователем *Павла Моисеевича* является профессор *В.П. Железный*, который подготовил многочисленных кандидатов наук и недавно успешно защитившего докторскую диссертацию *Ю.В. Семениока* — нового заведующего кафедрой инженерной теплофизики.

Прямым ныне здравствующим учеником *Д.П. Гохштейна* является профессор *Г.Ф. Смирнов*, под руководством которого был подготовлен ряд кандидатов наук. Один из них — *А.С. Титлов*, ставший позже доктором технических наук под руководством профессора *Н.Д. Захарова*, вышедшего, как и *Г.Ф. Смирнов*, из школы *Д.П. Гохштейна*.

Нужно остановиться на одном из парадоксов. Не является секретом, что между *Д.П. Гохштейном*, *В.С. Мартыновским* и *Я.З. Казавчинским* не было особой дружбы; они в большей степени ревностно следили за успехами друг друга, нежели содействовали развитию контактов. Скорее для них более характерным было научное соперничество. Объяснялось это тем, что они как лидеры созданных ими школ должны были находиться на передовых рубежах научного поиска. И это обеспечивалось интенсивным трудом возглавляемых ими коллективов. Однако, несмотря на это, по истечении многих лет, можно утверждать, что хорошими были и остаются отношения между их учениками и особенно — учениками их учеников. Это явление, во-первых, обеспечивало многолетнюю устойчивость и реальное существование Одесской термодинамической школы, и, во-вторых, способствовало включению в её круг всё новых и новых учёных.

Надеемся, что эти процессы многие годы будут подпитываться энергией и сохранять возникшее в прошлом веке уникальное образование специалистов. Общим для большинства из них является использование и постоянное развитие термодинамического метода исследования процессов, циклов и схем технических систем преобразования энергии, а также проведение исследований теплофизических свойств новых рабочих тел энергетических, холодильных и теплонасосных установок. Этим самым достойно будут продолжаться дела, начатые нашими выдающимися учителями.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вассерман А.А., Недоступ В.И.** Профессор Яков Захарович Казавчинский — основоположник Одесской школы исследований теплофизических свойств// Холодильная техника и технология. — 1999. — Вып. 62. — С. 44-51.
2. **Недоступ В.И.** Одесская школа учёных-теплофизиков, специалистов в области исследования свойств веществ// Очерки развития науки в Одессе (**В.М. Адамян, Л.А. Алексеева, Ю.А. Амброз, С.А. Андронати и др.**); отв. редактор **С.А. Андронати**. — Одесса: Титул, 1995. — 576 с.
3. **Ястржембский А.С.** Термодинамика и история её развития. — М.-Л.: Энергия, 1956. — 668 с.
4. **Гохштейн Д.П.** Энтропийный метод расчёта энергетических потерь. — М. - Л.: Госэнергоиздат, 1951. — 112 с.
5. **Гохштейн Д.П.** Остановятся ли мировые часы? — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 104 с.
6. **Гохштейн Д.П.** Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. — М.: Энергия, 1969. — 368 с.
7. **Гохштейн Д.П., Верхивкер Г.П.** Анализ тепловых схем атомных электростанций. — Киев: Вища школа, 1977. — 240 с.
8. **Гохштейн Д.П., Будникова Е.С., Гохштейн П.Д.** Рациональный углекислотный энергетический цикл// Теплоэнергетика. — 1974. — №12. — С. 49-52.
9. **Левенсон С.Д., Мартыновский В.С.** Судовые холодильные установки. — М.-Л.: Морской транспорт, 1948. — 411 с.
10. **Мартыновский В.С.** Холодильные машины (Термодинамические процессы). — М.: Пищепромиздат, 1950. — 264 с.
11. **Мартыновский В.С.** Термодинамические характеристики циклов тепловых и холодильных машин. — М.: Госэнергоиздат, 1952. — 116 с.
12. **Мартыновский В.С., Дубинский М.Г.** Воздушные турбохолодильные машины с дополнительным охлаждением в регенераторе// Холодильная техника. — 1964. — № 6. — С. 16-18.
13. **Лавренченко Г.К.** Научное наследие профессора В.С.Мартыновского// Технические газы. — 2012. — № 5. — С. 5-13.
14. **Барабанов В.Н., Домашенко А.М., Козлов Ю.В.** Системы термостатирования универсального стартового комплекса ракет-носителей// Технические газы. — 2014. — № 3. — С. 68-72.
15. **Мартыновский В.С.** Анализ действительных термодинамических циклов. — М.: Энергия, 1972. — 216 с.
16. **Мартыновский В.С.** Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. — М.: Энергия, 1979. — 288 с.
17. **Казавчинский Я.З.** Об одном методе определения постоянных вириальной формы уравнения состояния реального газа// Доклады АН СССР. — 1954. — Т. 95. — № 5. — С. 1005-1008.
18. **Казавчинский Я.З.** Определение элементарных функций уравнения состояния реального газа по опытным термическим данным// Теплоэнергетика. — 1958. — № 7. — С. 44-48.
19. **Казавчинский Я.З.** О выборе опорной точки подобия при исследовании термодинамического подобия газов// Доклады АН СССР. — 1965. — Т. 161. — №5. — С. 1127-1130.
20. **Казавчинский Я.З.** Лекции по технической термодинамике. — М.: Транспорт, 1970. — 276 с.
21. **Казавчинский Я.З., Кессельман П.М., Кириллин В.А. и др.** Тяжелая вода: теплофизические свойства. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 255 с.
22. **Вассерман А.А., Казавчинский Я.З., Рабинович В.А.** Теплофизические свойства воздуха и его компонентов. — М.: Наука, 1966. — 375 с.

¹О.А. Вассерман, доктор техн. наук, ²Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук, ³В.И. Недоступ, доктор техн. наук

¹Одеський національний морський університет, вул. Мечникова, 34, м. Одеса, Україна, 65029

²Українська асоціація виробників технічних газів «УА-СІГМА», а / с 188, м. Одеса, Україна, 65026

³Фізико-хімічний інститут імені О.В. Богатського НАН України, Люстдорфська дорога, 86, м. Одеса, Україна, 65080

e-mail: ¹avas@paco.net, ²uasigma@mail.ru, ³physchem@paco.net

ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0001-8147-8417>; ² <http://orcid.org/0000-0002-8239-7587>;

³ <http://orcid.org/0000-0002-4274-8960>

ОДЕСЬКА ТЕРМОДИНАМІЧНА ШКОЛА: ЇЇ ВИНИКНЕННЯ, СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТОК

В умовах, коли наукова праця стає все більш колективним, при наявності лідерів і високої актуальності досліджень виникають наукові школи. Такі школи сформувалися в м.Одесі в 50-их-80-их роках зусиллями професорів Д.П. Гохштейна, В.С. Мартинівського і Я.З. Казавчінського — корифеїв термодинаміки. Біля витоків цих шкіл стояв професор С.Д. Левенсон — перший директор Українського науково-дослідного холодильного інституту, котра внесла значний вклад в розвиток і вдосконалення термодинамічної методу дослідження технічних систем, що реалізують прямі і зворотні термодинамічні цикли. Ізгається зміст фундаментальних досліджень в галузі тепло- та хладотехніка, розрахунку та прогнозування властивостей речовин, які виконувалися в зазначених наукових школах. На основі цих шкіл стихійно виникла і продовжує існувати Одеська термодинамічна школа — неформальне об'єднання вчених. Вони постійно удосконалюють і широко використовують метод термодинамічної дослідження, а також впроваджують в практику нові підходи до експериментального вивчення і надійного опису властивостей речовин.

Ключові слова: Термодинаміка. Термодинамічний метод дослідження. Прямі та зворотні термодинамічні цикли. Теплофізичні властивості речовин. Ентропійний метод аналізу. Тепло- та хладотехніка. Енергетика. Наукова школа.

¹A.A. Vasserman, Doctor of Technical Sciences, ²G.K. Lavrenchenko, Doctor of Technical Sciences

³V.I. Nedostup, Doctor of Technical Sciences

¹Odessa National Maritime University, Mechnikova Str., 34, Odessa, Ukraine, 65029

²Ukrainian Association of Industrial Gases Manufacturers «UA-SIGMA», POB 188, Odessa, Ukraine, 65026

³Fiziko Chemistry Institute named after A.V. Bogatsky NAS, Lustdorskaya Road, 86, Odessa, Ukraine, 65080

e-mail: ¹avas@paco.net, ²uasigma@mail.ru, ³physchem@paco.net

ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0001-8147-8417>; ² <http://orcid.org/0000-0002-8239-7587>;

³ <http://orcid.org/0000-0002-4274-8960>

ODESSA THERMODYNAMIC SCHOOL: ITS ORIGIN, FORMATION AND DEVELOPMENT

At the time when scientific work becomes more collective, in the presence of leaders and a high actuality of a research scientific schools have been arisen. Such schools were formed in Odessa in the 50s-80s by the efforts of professors D.P. Gokhshtein, V.S. Martynovskiy and Ya.Z. Kazavchinskiy — the coryphaeuses of thermodynamics. At the sources of these schools was professor S.D. Levenson — the first director of the Ukrainian Scientific-Research Institute of Refrigeration, who has introduced significant contribution to the development and improvement of the thermodynamic method of the study of the technical systems that realize the direct and inverse thermodynamic cycles. The content of the fundamental research in the field of thermal and refrigerating engineering, calculating and predicting the properties of substances, which were carried out in these scientific schools has been presented. On the basis of these schools spontaneously arose and continues to exist Odessa Thermodynamic School — a non-formal organization of scientists. They use wide and continuously improve method of the thermodynamic study and introduce also in the practice a new approaches to the experimental study and reliable description of substances' properties.

Keywords: Thermodynamics. Thermodynamic method of research. Direct and inverse thermodynamic cycles. Thermophysical properties of substances. Entropy analysis method. Thermal and refrigerating engineering. Scientific school.

REFERENCES

1. **Vasserman A.A., Nedostup V.I.** (1999). Professor Jacob Zakharovich Kazavchinskiy — founder of the Odessa school of studies the thermophysical properties// Kholodilnaya tekhnika i tekhnologiya. [Refrigeration Engineering and Technology]. — Issue 62. — P. 44-51. (Rus.).
2. **Nedostup V.I.** (1995). Odessa school thermal physics scientists, experts in the field of study of the properties of substances// Essays on the development of science in Odessa (V.M. Adamian, L.A. Alekseeva, J.A. Ambrose, S.A. Andronati et al.) Editor-in-Chief S.A. Andronati. — Odessa: Title. — 576 p. (Rus.).
3. **Yastrzhembskiy A.S.** (1956). Thermodynamics and the history of its development. — M.-L.: Energiya. — 668 p. (Rus.).
4. **Gokhshteyn D.P.** (1951). Entropy method for calculating the energy loss. — M.-L.: Gosenergoizdat. — 112 p. (Rus.).
5. **Gokhshteyn D.P.** (1963). Will be stoped the world clock? — M.-L.: Gosenergoizdat. — 104 p. (Rus.).
6. **Gokhshteyn D.P.** (1969). Modern methods of thermodynamic analysis power plants. — M.: Energiya. — 368 p. (Rus.).
7. **Gokhshteyn D.P., Verkhivker G.P.** (1977). Analysis of thermal schemes of atomic electric power stations. — Kiev: Vischa shkola. — 240 p. (Rus.).
8. **Gokhshteyn D.P., Budnikova E.S., Gokhshteyn P.D.** (1974). Rational carbon dioxide power cycle// Teploenergetika. [Thermoenergetics]. — № 12. — P. 49-52. (Rus.).
9. **Levenson S.D., Martynovskiy V.S.** (1948). Ships' refrigerating plants. — M.-L.: Maritime transport. — 411 p. (Rus.).
10. **Martynovskiy V.S.** (1950). Refrigerating machines (Thermodynamic processes). — M.: Pischepromizdat. — 264 p. (Rus.).
11. **Martynovskiy V.S.** (1952). Thermodynamic characteristics of cycles of thermal and refrigerating machines. — M.: Gosenergoizdat. — 116 p. (Rus.).
12. **Martynovskiy V.S., Dubinskiy M.G.** (1964). Air turbo-refrigerating machines with additional cooling in the regenerator// Kholodilnaya Tekhnika. [Refrigeration Engineering]. — № 6. — P. 16-18. (Rus.).
13. **Lavrenchenko G.K.** (2012). Scientific legacy of professor V.S. Martynovskiy// Tekhnicheskie Gazy. [Industrial Gases]. — № 5. — P. 5-13. (Rus.).
14. **Barabanov V.N., Domashenko A.M., Kozlov Yu.V.** (2014). Thermostating systems of the universal start complex of carrier rockets// Tekhnicheskie Gazy. [Industrial Gases]. — № 3. — P. 68-72. (Rus.).
15. **Martynovskiy V.S.** (1972). Analysis of real thermodynamic cycles. — M.: Energiya. — 216 p.
16. **Martynovskiy V.S.** (1979). Cycles, shemes and characteristics of thermotransformers. — M.: Energiya. — 288 p. (Rus.).
17. **Kazavchinskiy Ya.Z.** (1954). On one method of determining the constants of the virial form of the equation of state for real gas// Doklady AN SSSR. [Reports of the USSR Academy of Sciences]. — V. 95. — № 5. — P. 1005-1008. (Rus.).
18. **Kazavchinskiy Ya.Z.** (1958). Determination of the elementary functions of the equation of state for real gas on the experimental thermal data// Teploenergetika. [Thermal Engineering]. — № 7. — P. 44-48. (Rus.).
19. **Kazavchinskiy Ya.Z.** (1965). On the choice of the base point of point of similarity at the study of thermodynamic similarity of gases// Doklady AN SSSR. [Reports of the USSR Academy of Sciences]. — V. 161. — № 5. — P. 1127-1130. (Rus.).
20. **Kazavchinskiy Ya.Z.** (1970). Lectures on technical thermodynamics. — M.: Transport. — 276 p. (Rus.).
21. **Kazavchinskiy Ya.Z., Kesselman P.M., Kirillin V.A. et al.** (1963). Heavy water: thermophysical properties. — M.-L.: Gosenergoizdat. — 255 p. (Rus.).
22. **Vasserman A.A., Kazavchinskiy Ya.Z., Rabinovich V.A.** (1966). Thermophysical properties of air and its components. — M.: Nauka. — 375 p. (Rus.).



ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ЗА 2,5 ГОДА!



- необходимо наличие законченного высшего инженерно-технического образования;
- обучение в Институте холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий по направлению ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий»;
- специальность 7.05060404 «Криогенная техника и технология»;
- форма обучения — заочная контрактная;
- завершение учёбы — защитой дипломного проекта;
- диплом Министерства образования и науки Украины признается в странах СНГ.

Условия приёма по контактному тел./факсу: +38 (048) 777-00-87