

ОТЕЦ СВЕРХЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИКИ ПАМЯТИ ТЕОДОРА ФОН КАРМАНА

© 2023 г. А. Н. Богданов^{a,b,*}, И. М. Кондратьев^{b,c,**}

^aМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^bМосковский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

^cИнститут машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

*E-mail: bogdanov@imec.msu.ru

**E-mail: kiimash@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.06.2022 г.

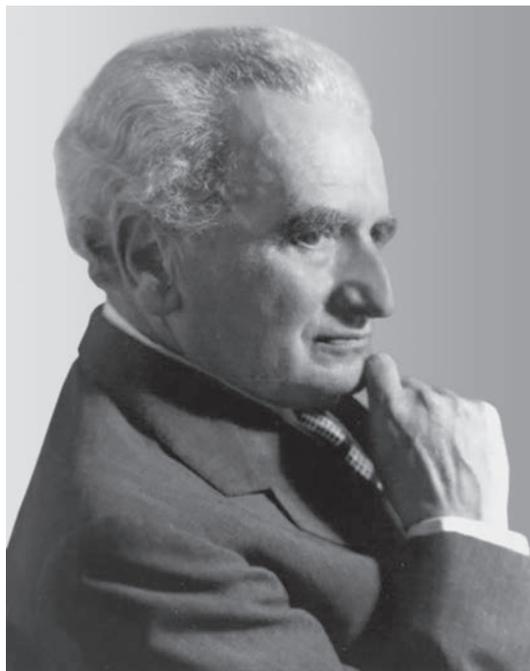
После доработки 20.07.2022 г.

Принята к публикации 05.09.2022 г.

Исследования и работы выдающегося американского учёного-механика, основоположника сверхзвуковой аэродинамики Теодора фон Кармана оказали влияние на развитие этой области науки во всём мире, в том числе в СССР. Его контакты с отечественными учёными способствовали обмену ценным научным опытом и бесспорно внесли вклад в формирование советской и российской механики. В статье рассмотрены незаурядная личность фон Кармана и его наиболее яркие научные достижения.

Ключевые слова: Теодор фон Карман, классики науки, фундаментальные науки, механика, гидродинамика, аэродинамика, ЦАГИ, АН СССР.

DOI: 10.31857/S0869587323020032, **EDN:** FBQNUM



Теодор фон Карман (1881–1963)

В кабинете-музее академика Л.И. Седова в НИИ механики МГУ, в бывшей секретарской, превращённой в фотогалерею, размещено несколько фотографий импозантного мужчины в короне седых волос, всегда с милой улыбкой на лице: в одиночестве, в компании Л.И. Седова, высокого строгого Адольфа Буземана и молодой энергичной Елены Красильщиковой. Этот мужчина – отец сверхзвуковой аэродинамики Теодор фон Карман.

Яркий представитель учёных-аэродинамиков XX в. Т. фон Карман вошёл в историю не только благодаря своим основополагающим научным результатам в области механики, но и увлекательной манере их представления, с тонким юмором написанным монографиям, статьям, научным и научно-историческим обзорами, успешным выступлениям, докладам и лекциям. Он тонко чувствовал слово, испытывал потребность осмыслить очень сложные механические процессы и

БОГДАНОВ Андрей Николаевич – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова. КОНДРАТЬЕВ Игорь Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИМАШ РАН.



Т. фон Карман и Л.И. Седов (справа)

природные явления, высказывал критические замечания и давал оценки научным результатам других учёных. Карман оставил свой след почти во всех областях механики жидкости и газа: в теории дозвуковых, околосзвуковых, сверхзвуковых и гиперзвуковых течений, ламинарных, турбулентных и вихревых потоков и др. Многие термины носят его имя: вихревые дорожки Кармана, линия Кармана (условная верхняя граница атмосферы Земли), профили Кармана–Трефтца, оживало Кармана, тело Кармана–Мура, уравнения Фёппля – фон Кармана, формула Кармана–Тзяна, параметр околосзвукового подобия Кармана–Тзяна, параметр гиперзвукового подобия Тзяна–Кармана, уравнение Кармана–Хоурта, постоянная Кармана. В научно-организационном плане Т. фон Карман внёс существенный вклад в становление таких крупных международных научных институтов, как Международный союз по теоретической и прикладной механике, Международная академия аэронавтики, Международный совет по аэронавтике, Институт гидродинамики в Синт-Генезиус-Роде в Бельгии (ныне – его имени).

Южная еврейская кровь и атмосфера детства и юности (он родился и вырос в Венгрии), воспитание в семье определили его темперамент, манеру общения и интересы. Среди его предков и по от-

цовской, и по материнской линии были учёные, педагоги и религиозные деятели. Отец, Мориц фон Карман, педагог высшей школы, применил к сыну некоторые из своих педагогических принципов. Теодор учился в основанной отцом специальной школе с педагогическим уклоном. Карман-старший всячески уводил сына с пути вундеркинда-математика, отвлекая его на другие занятия, в частности, запретил ему производить в уме сложные математические вычисления, чем тот любил забавляться, а по окончании сыном технического университета решил, что тот не должен считать своё образование оконченным (Теодор получил диплом инженера-механика в 1902 г.), а обязан поехать в Германию для более фундаментальной подготовки. “Отец был очень мудрым”, – писал позднее Теодор.

Т. фон Карман с уважением отзывался о своих учителях и в Будапеште, и в Гёттингене, где ему действительно посчастливилось общаться с научными светилами: математиком Д. Гильбертом (1862–1943), математиком и педагогом Ф. Клейном (1849–1925), математиком и физиком К. Рунге (1856–1927), механиком и физиком Л. Прандтлем (1875–1953). Последнего он выбрал своим научным руководителем. Ф. Клейну Карман приписывал определяющее влияние на создание современной прикладной механики [1]. В 1893 г. Клейн посетил США и, учитывая конкуренцию со стороны американской индустрии, обладавшей огромными технологическими ресурсами, ясно осознал, что европейская промышленность могла существовать только в том случае, если бы обладала превосходством в эффективности и экономичности. Это могло стать возможным только в условиях максимально точных знаний о технических процессах и предвещающих внедрение технологий точных расчётов на базе законов химии, физики, механики и математики.

Математическую подготовку Л. Прандтля Карман оценивал не слишком высоко. Более того, он отмечал у своего наставника отсутствие “таланта объяснить, чем он на самом деле занимается” [2]. Однако Прандтль, по мнению ученика, “был одарён редким умением понимать физические явления и необычайной способностью излагать их в относительно простой математической форме” [3, с. 59]. Со временем между учителем и учеником развилось научное соперничество, примером которого может служить подготовка доклада о проблемах расчёта турбулентного течения, представленного на 3-м Международном конгрессе по прикладной механике в 1930 г. в Стокгольме.

Первые исследовательские работы Кармана относились к механике твёрдого тела, поскольку аэродинамика в те времена была развита ещё очень слабо. Его дипломная работа 1902 г. в Ко-



Л.И. Седов, А. Буземан, Е.А. Красильщикова, Т. фон Карман, 1956 г.

Подпись на фото (предположительно рукой Седова): “Первые авторы в рождении сверхзвуковой аэродинамики”

ролевском техническом университете Будапешта была посвящена анализу движения тяжёлого стержня, опирающегося своим закружённым концом на горизонтальную плоскость (в более привычных терминах — это модель движения детской игрушки-неваляшки с утяжелённым сферическим дном, которая при опрокидывании возвращается в вертикальное положение), а диссертация 1908 г. на степень доктора философии в Гёттингенском университете — проблемам изгибной прочности сжатых стержней.

После окончания университета в 1908 г. Т. фон Карман получил предложение от Л. Прандтля поработать над аэродинамикой дирижаблей на новой аэродинамической трубе в должности приват-доцента и оставался в Гёттингене до 1912 г. В этот период, согласно его рассказу [3], каждое утро по дороге в лабораторию он проходил мимо резервуара для воды, в котором докторант К. Хименц пытался добиться симметричного потока вокруг круглого цилиндра. На традиционный вопрос о ходе эксперимента он получал всегда один и тот же ответ: “Он <поток> всегда колеблется”. Так Карман познакомился с проблемой устойчи-

вости вихревых структур, а занявшись ею вплотную, показал, что устойчивым будет только несимметричное расположение вихрей. Хотя другие исследователи описывали такие вихревые структуры и проводили их исследования до Кармана, публикация результатов его теоретического анализа привела к тому, что с тех пор этот эффект стал называться вихревой дорожкой Кармана. Пристальное внимание к этому явлению оказалось оправданным — оно ответственно за вибрацию линий электропередачи, дымоходов и подвесных мостов. Если вибрации не учитывать, это приведёт к катастрофам, примером чему служит разрушение в 1940 г. моста Такома-Нэрроуз в штате Вашингтон в США (общая длина 1822 м, основной пролёт — 853 м), которое Карман проанализировал позже. В 1953 г. он писал: “Я всегда готов отвечать и за другие бедствия, причинённые вихрями Кармана!” [3, с. 79]. Когда А. Бенар пришёл к нему с претензией, что он ранее независимо тоже занимался изучением этих процессов, Т. фон Карман ответил: “Пусть название дорожки Кармана останутся в США, а во Франции пусть их называют авеню Бенара”.

В 1912 г. Карману было предложено организовать и возглавить Институт аэродинамики при Техническом университете Аахена (Германия). Став директором, он наладил дружеское соперничество со своими бывшими коллегами по Гёттингену. Его интересы практически полностью сместились в область динамики жидкости и газа.

Во время Первой мировой войны, в 1914–1918 гг., Карман вернулся в Венгрию. Он занял должность директора по исследованиям Австро-Венгерского авиационного корпуса, работавшего над синхронизацией темпа стрельбы пушек со скоростью вращения воздушных винтов, защитой топливных баков и т.д. В этот период он участвовал в разработке проекта вертолёта, который впоследствии получил имя в честь своих создателей [4]. Позднее он часто рассказывал, что военный опыт научил его искусству ладить с генералами и адмиралами, и это умение он проявлял на протяжении всей своей дальнейшей карьеры.

По окончании войны в жизни Т. фон Кармана наступил уникальный период: подобно отцу, принимавшему активное участие в создании государственной школьной системы Австро-Венгрии при императоре Франце-Иосифе, он занялся реорганизацией системы образования в Венгерской Советской Республике. В 1919 г. он был назначен заместителем народного комиссара просвещения. После падения Республики на её функционеров обрушились гонения, и в 1920 г. Венгерское аэрообщество исключило Кармана из своих рядов, вынудив его вновь возвратиться в Аахен. О его педагогических принципах в целом известно немного, но его позицию в вопросах организации обучения характеризует интервью, данное много лет спустя в США. Отвечая на вопросы корреспондента о количестве и размерах стипендий для желающих заниматься наукой, Карман не нашёл ничего вопиюще противоположного в том, что студенты вынуждены подрабатывать официантами [2]. В США Карман оказался, в общем-то, случайно. Американский предприниматель-миллионер и меценат Д. Гунгенхайм (1856–1930), финансировавший развитие авиации в стране, хотел пригласить в качестве консультанта специалиста из Европы. Им должен был стать Л. Прандтль, который, однако, отказался, и эту должность предложили Карману. Впоследствии оказалось, что эта замена стала более чем удачной. Учёный постоянно проживал в США с 1930 г., а в 1936 г. получил американское гражданство.

Работоспособность Кармана сама по себе поразительна: начиная с 1908 г. он писал новую статью или книгу примерно каждые 4.5 месяца, и держал этот темп до последнего года своей жизни. В библиографии Кармана указано 173 публикации (точное количество завершённых рукописей

неизвестно) [5]. Был случай, когда он отправил на публикацию статью, уточняющую результат предыдущей (поскольку в ней были приняты более общие условия поиска решения), спустя всего три недели. Ему даже указали, что столь малое время между представлением работ свидетельствует о неверности одной из них.

Вклад Т. фон Кармана в науку намного превышает то, что можно найти в официальных публикациях. Многие идеи содержатся в его письмах, а также в письмах и документах его коллег и организаций, где он был консультантом. Многие из них, написанные на скатертях, оборотах старых писем, разрозненных листках и досках, к сожалению, были утеряны¹. Идеи свободно возникали в его голове в разговорах с коллегами и учениками, он фонтанировал ими, был полон энтузиазма и захватывающего чувства открытий нового в науке и технике, научное исследование было для него азартным приключением.

Карман всегда интересовался результатами экспериментов и побуждал других к их проведению, однако его в первую очередь привлекали теория и анализ результатов. В этом контексте он часто оказывался персонажем занимательных историй. Многие утверждали [5], что, когда он приходил в лабораторию для проверки аппаратуры (которая вполне могла быть сконструирована с учётом его собственных идей), всегда существовала опасность того, что после его ухода потребуются значительный ремонт. У.Д. Ранни, один из его ассистентов, вспоминал, что, несмотря на свою проницательность и понимание экспериментов, Карман сам проявил в них мало таланта. Этот его единственный недостаток в научной области оставался постоянным источником развлечения и бесчисленных анекдотов среди его коллег. Всегда существовала опасность, что он может повернуть какую-нибудь ручку или потянуть за рычаг, чтобы посмотреть, что произойдёт, и вызвать этим небольшую катастрофу. Он ужасно водил автомобиль, и его друзья испытали огромное облегчение, когда он, наконец, согласился нанять водителя.

Фон Карман посвятил всю свою профессиональную жизнь преодолению разрыва между теоретиками, довольствовавшимися общими теоре-

¹ Был и совсем курьёзный случай. Один из его бывших студентов в Аахене вспоминал [1], как однажды Карману, провожавшему его до конечной остановки последнего отправлявшегося в тот день трамвая, неожиданно пришла в голову новая идея, и, не имея под рукой ничего более подходящего, он стал записывать свои мысли прямо на внешней обшивке вагона. Хотя учёный и успел сделать все основные выкладки до того момента, как потерявший терпение водитель отправился по маршруту, студенту, не запомнившему написанного учителем, приходилось на каждой остановке выбегать из трамвая, переписывать очередную порцию формул и снова запрыгивать обратно. К счастью, остановок было достаточно, чтобы студент сумел скопировать всё.

мами и выбиравшими для их иллюстрации простые примеры, и инженерами, которые были разочарованы неудачами применения теории и поэтому прибегали к чистому эмпиризму. Он настаивал на том, что рациональная теория должна быть логически правильной, приближаться к отражению реальности и подтверждаться подходящими экспериментами. Уникальный вклад Кармана, отмеченный его коллегой К.Б. Милликеном, состоял в следующем:

- открытие и представление новой концепции какого-либо явления, которое до сих пор оставалось совершенно необъяснённым и загадочным, другими словами, творческая научная концепция на самом высоком уровне;

- прояснение и сведение к ясной и прозрачной форме материала, который ранее был запутан и, следовательно, лишь частично понят; это часто связано с нахождением математически простой структуры, с помощью которой можно понять очень сложные явления;

- обнаружение существенных физических элементов в сложных инженерных задачах, чтобы можно было получить рациональные и простые приближённые решения, которые затем могут быть улучшены методами последовательного приближения [1].

Обозревая пройденный авиастроением путь и роль науки, приводя примеры заблуждений даже великих исследователей (включая Ньютона), Карман отмечал, что большинство первопроходцев, стремившихся осуществить полёт, не верило ни в одну теорию. В конце жизни он писал: “Я не утверждаю, что теоретик даёт ответы на все вопросы, которые задал ему конструктор, или что конструктор всегда верно применяет теорию; но, по крайней мере, они признают достоинства и недостатки друг друга” [3, с. 36]. Уместно привести некоторые яркие афоризмы Кармана: “Я пришёл к выводу, что чрезмерное беспокойство о том, что делают другие, может быть глупо. Это может парализовать усилия и подавить хорошую идею. Обнаруживается, что в истории науки почти все проблемы были решены кем-то другим. Это не должно мешать никому идти своим собственным путём” [6, с. 35]; “Всем известно, что женщине требуется девять месяцев, чтобы родить ребёнка. Но вы, американцы, думаете, что если вы организуете беременность девяти женщинам, то сможете родить ребёнка через месяц”² [7];

² Сказано в 1957 г. Дж.Г. Мартину, адъютанту генерал-майора Д.Э. Хукса, когда он сопровождал фон Кармана из Нью-Йорка, чтобы тот возглавил секретный симпозиум по космическим полётам в Клаудкрофте. Советский спутник был запущен месяцем ранее, и каждый вид вооружённых сил США, следуя своей отдельной космической программе, отчаянно пытался осуществить свой собственный успешный запуск.

“Учёный изучает то, что есть, а инженер создаёт то, чего никогда не было” [8].

Т. фон Карман много путешествовал, читал лекции и привлекал студентов со всего мира. Владение многими языками было его большим преимуществом: он свободно говорил по-венгерски, по-немецки, по-французски, по-итальянски, на идише и на “плохом английском”, который он называл международным языком.

Особый интерес для отечественных специалистов в области механики, в том числе интересующихся историей этой науки, могут представлять сведения о влиянии исследований Кармана на советскую и российскую науку. Это проявлялось и в заочной (знакомство с его трудами), и в очной форме (встречи на международных конференциях). В 1927 г. Карман побывал в Советском Союзе (в дальнейшем он ещё дважды приезжал в СССР), посетил Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), где была впервые запущена построенная ещё в 1925 г. на тот момент самая большая в мире аэродинамическая труба Т-2 диаметром 6 м. (Интересно, что спустя два года посмотреть знаменитую трубу ЦАГИ приехал и учитель Кармана — основатель гёттингенской школы аэродинамики Л. Прандтль.) К сожалению, подробности первого визита Кармана в Россию неизвестны, в том числе и точные сроки его пребывания в Москве. Между тем тогда в столице проходило мероприятие, которое, несомненно, могло бы его заинтересовать — первая Мировая выставка моделей и механизмов межпланетных аппаратов конструкций изобретателей разных стран, на которой свои проекты представили такие авторитетные зарубежные специалисты, как Р. Годдард (США), Р. Эсно-Пельтри (Франция), М. Валье (Германия), Г. Оберт (Румыния). Вероятно, Москва стала для Кармана лишь транзитным пунктом на пути в Японию, Китай и Индию, куда он направлялся для чтения лекций и оказания консультаций японским инженерам (Kawanishi Airplane Company), в частности по строительству аэродинамической трубы в Кобе. В архиве учёного в Калифорнийском технологическом институте сохранились фотографии из этой поездки по Японии.

В 1928 г. Т. фон Карман участвовал в 8-м Международном математическом конгрессе в итальянской Болонье, где выступил с докладом “Математические проблемы современной аэродинамики”. По-видимому, там же он познакомился с видным советским учёным-механиком Н.М. Крыловым, представившим с научным докладом Академию наук Украины. Веским основанием для предположения о знакомстве Кармана и Крылова служит сохранившаяся в Архиве РАН [9] почтовая карточка, отправленная Карманом 13 февраля 1929 г. из Аахена и адресованная работавшему в то

DATA ON THE PARTICIPANTS OF THE JUBILEE SESSION
OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF USSR

1. Name Karman Theodore

2. Date of birth 1897 May 11th

3. Nationality American

4. Scientific degree Dr. phil. (Stanford) Dr. Enginering (Berkeley)

5. Branch of science Applied Mathematics, Aeronautics

6. Office held Director of Supersonic Aeronautics Laboratory, Pasadena (Cal)

7. Delegate of what institution? Calif. Institute of Technology

8. Home address 1511 S. Maxwells avenue Pasadena Cal.

Signature Theodore v. Karman

• 11 June 1945

Знарок N 761

Карточка участника Юбилейной сессии АН СССР, 1945 г.

время в Киеве Н.М. Крылову. В своём кратком послании Карман благодарил его за полученные оттиски его статей 1928 г. Не исключено, что благодаря этому знакомству в 1931 г. Крылов был приглашён в Аэродинамический институт Аахена, где он выступил с циклом лекций. О дальнейшем взаимодействии учёных ничего не известно, но вполне вероятно, что знакомство с трудами Крылова, много занимавшегося прикладными проблемами нелинейной механики, позже помогло Карману при подготовке его работы «Инженер борется с нелинейными проблемами» [10], а также монографии в соавторстве со своим учеником М. Био [11].

Летом 1937 г. Т. фон Карман, уже получивший американское гражданство и работавший в Калифорнийском технологическом институте, снова посетил СССР и ЦАГИ, что отмечено в документах калифорнийского архива Кармана. Однако его имя стало широко известным в нашей стране лишь после Великой Отечественной войны. До этого о нём знал лишь узкий круг специалистов по аэродинамике. При составлении списков зарубежных учёных, которых предполагалось пригласить на Юбилейную сессию Академии наук СССР в 1945 г., о Кармане вспомнили не сразу. Секретарь Отделения технических наук в то время обращал внимание на отсутствие контактов с

зарубежными организациями. Когда имя Кармана всё-таки появилось в предварительных списках, он там числился то как инженер-механик, то как специалист по авиации, он даже приписывался к разным местам работы — и к Калифорнийскому технологическому институту, и к Институту физики в Нью-Йорке. В итоге Карману нашли место среди американских учёных и отправили персональное приглашение. Заполненная им 14 июня 1945 г. учётная карточка участника Юбилейной сессии хранится в Архиве РАН [12].

Американские биографы отмечают, что, несмотря на пышность приёма, советским учёным не разрешили обсуждать с зарубежными коллегами свои исследования военного времени. Л.Г. Лойцянский в этой связи вспоминал, что познакомился с Карманом в 1960 г. на X Международном конгрессе по прикладной механике в Стресе (Италия), хотя мог это сделать ещё в Москве в дни Юбилейной сессии, но ему «как засекреченному сотруднику ЦАГИ была запрещена встреча с ним <Карманом> — иностранцем» [13, с. 131]. О своих контактах с ним оставила воспоминания и П.Я. Кочина: «<Теодор фон Карман> посетил Институт механики АН СССР. Там ему был вручён оттиск статьи тогда уже покойного Н.Е. Кочина, в которой содержалось доказательство неустойчивости цепочек Кармана... Может быть, профессор был не очень доволен результатом, но был очень любезен и оценил остроумие применённого Н.Е. Кочинным приёма» [14, с. 234].

Во время своего третьего приезда в СССР Карман вновь хотел посетить ЦАГИ, однако, по словам Лойцянского, он «не был допущен к посещению лабораторий ЦАГИ и познакомился с представлявшей только исторический интерес лабораторией Жуковского в старом здании Московского университета». Показательны воспоминания С.А. Христиановича о послевоенном визите Кармана. На вопрос Г.М. Маленкова о том, можно ли Карману попасть в ЦАГИ, он ответил: «Нет, можно пускать всех, кроме него, потому что ему достаточно взглянуть на наши трубы... чтобы составить полное представление о всей нашей авиации и сейчас, и на будущее» [15, с. 97]. Первая в ЦАГИ большая промышленная высокоскоростная аэродинамическая труба Т-106 проектировалась с привлечением американских специалистов — ими руководил Петерс, а консультировал Карман. Однако в ЦАГИ был воплощён более совершенный отечественный проект Г.Н. Абрамовича и К.К. Баулина, параметры трубы не имели равных в мире (диапазон чисел Маха — 0.15–0.9, диаметр рабочей части — 2.6 м, переменная плотность протекающего потока и большие числа Рейнольдса). В своей автобиографии Т. фон Карман с присущим ему юмором писал, что занялся вопросом проектирования аэродинамических труб, чтобы показать, что и в капитали-

стической стране может быть получен хороший фактор энергии.

В архиве Кармана имеется целая папка, посвящённая конструкциям аэродинамических труб, что свидетельствует о неугасающем интересе учёного к этой теме. Его не раз привлекали в качестве консультанта при создании аэродинамических труб. Как упоминалось выше, он участвовал в проектировании аэродинамической трубы в Кобе (Япония, 1927 г.) и помогал строить 10-футовую трубу в лаборатории Гуггенхайма в Калифорнийском технологическом институте (1926–1927). Тем не менее в фундаментальной монографии Р. Пэнхерста и Д.В. Холдера “Техника эксперимента в аэродинамических трубах”, где говорится о существовавших на тот момент в мире аэродинамических трубах, имя Кармана почти не упоминается.

Постепенно Т. фон Карман стал широко известен в нашей стране как крупный учёный-механик: во втором томе фундаментального труда “Механика в СССР за 50 лет” [16] его имя звучит 27 раз, уступив первенство среди иностранных учёных только Л. Прандтлю. Многократно он упоминается и в других томах этого издания. Среди обсуждавшихся результатов Кармана следует упомянуть: решение первой задачи об обтекании ускоренным потоком пластинки, за которой располагается область постоянного давления (1949 г., развития в СССР эта задача не получила, независимо стала разрабатываться теория слабо возмущённых струй); предложенный Карманом для изучения обтекания профиля плоским потоком идеальной несжимаемой жидкости методами конформных отображений вариант с точной отображающей функцией (профили Кармана–Трефтца); одни из первых исследований обтекания тел вращения дозвуковым потоком (1927); эмпирическое распределение завихрённости в кормовой части обтекаемого тела вращения; разработанный Карманом и Ц. Сюэ-сенем (1939) метод пересчёта распределения скорости по поверхности профиля, определённого при обтекании несжимаемой жидкостью, на случай сжимаемой среды (метод имел сходные трудности, что и отечественный метод пересчёта С.А. Христиановича 1940 г.); решённая совместно с Н. Муром (1932) задача о симметричном обтекании тела вращения (в виде интеграла от потенциала равномерно распределённых вдоль оси тела источников переменной мощности).

Карман признан основоположником решения экстремальных задач аэродинамики. На конгрессе Вольфа в 1935 г. он зачитал доклад о построении в рамках линейной теории оптимальной формы головной части тела вращения заданной длины и площади концевой сечения. Велик его вклад в создание математической теории турбулентности. Им была высказана гипотеза автомодельно-

сти крупномасштабных характеристик турбулентности, получившая развитие в работах Л.Г. Лойцянского, ослабившего условия её применимости до требования приближённой автомодельности поля средней скорости (1935). Для масштаба длины в турбулентном течении Карманом была предложена формула его зависимости от скорости течения. Одним из важнейших достижений полуэмпирической теории турбулентности стало установление Карманом в начале 1930-х годов логарифмического закона для профиля средней скорости плоскопараллельного турбулентного течения у стенки. В 1938 г. в соавторстве с Л. Хоуартом он вывел так называемое уравнение Кармана–Хоурта для случая однородной изотропной турбулентности в несжимаемой жидкости, детально исследовавшееся затем советскими учёными Л.Г. Лойцянским (1939), М.Д. Миллионщиковым (1939), А.Н. Колмогоровым (1941), Л.И. Седовым (1944, 1951) и другими. Карман предложил “трёхслойную” модель турбулентно-ламинарного взаимодействия в пристеночной зоне и положил начало разработке методов расчёта турбулентного пограничного слоя в газе при высоких скоростях.

На русском языке увидели свет небольшая монография “Сверхзвуковая аэродинамика” [17] (но следует учесть, что в то время высокоскоростная аэродинамика как наука ещё только формировалась), практическое руководство “Математические методы в инженерном деле” [11], тома фундаментальной серии “Аэродинамика больших скоростей и реактивная техника” с его статьёй “Основы аэродинамики больших скоростей” [18] и параграфом “Аэротермодинамические проблемы теории горения” [19]. В томе “Аэродинамика частей самолёта при больших скоростях” [20] нашёл должное отражение вклад Кармана в высокоскоростную аэродинамику. Результаты исследований учёного вошли в основные учебные курсы для студентов профильных специальностей отечественных вузов [21–23].

Карман с уважением относился к коллегам из СССР и внимательно следил за достижениями советской науки. Г.Г. Чёрный, встречавшийся с ним в 1958 г. в Мадриде на I Учредительном конгрессе ICAS, вспоминал: “Я подошёл к Карману, представился и, получив согласие говорить по-немецки, вручил ему отписки моих статей о течениях с сильными ударными волнами. К моему изумлению оказалось, что Карман знаком с этими статьями по английским переводам” [24, с. 47].

Вот что вспоминал Л.Г. Лойцянский о своём участии в уже упоминавшемся X Международном конгрессе по прикладной механике: «В обзорную часть моего доклада входило упоминание о теории Кармана тепломассопереноса в сильно вязкой, но слабо теплопроводной жидкости при

ограниченных значениях числа Прандтля, не превосходящих порядок десяти. В отличие от теории Кармана, мой метод, основанный на общей теории взаимодействия молекулярного (ламинарного) и молярного (турбулентного) обменов, содержал решение этой задачи при сколь угодно больших значениях Прандтля, что отвечало требованиям практики. В своём выступлении Карман отметил мой доклад как “интересную интерпретацию своего метода”. Я был настолько польщён вниманием классика, что легко простил ему некоторую недооценку самостоятельного содержания моего доклада» [13, с. 132]. Несмотря на успехи советской аэродинамики и хорошую осведомлённость Кармана об исследованиях советских учёных, в его статьях трудно найти ссылки на какие-то их работы, хотя вряд ли тенденция “не замечать достижений русских” была заложена именно им.

Интерес к научному наследию Кармана в России сохраняется, свидетельством чему служит выход в свет на русском языке его книги “Аэродинамика. Избранные темы в их историческом развитии” [3]. К сожалению, невзирая на заслуги перед аэродинамикой и механикой в целом, Кармана не удостоили в СССР каких-либо почётных академических званий. Скорее всего, в этом виновато его тесное сотрудничество с американскими военными. В частности, в 1945 г. он был назначен председателем научно-технической коллегии ВВС США, позже преобразованной в главное научно-техническое управление, и возглавлял американские технические миссии в Германии по изучению достижений этой страны в области сверхзвуковой аэродинамики и управляемых ракет. Кроме того, в 1956 г. Карман создал Институт гидродинамики в Бельгии (ныне Фон-Кармановский институт гидродинамики), который задумывался им как центр обмена знаниями между ведущими европейскими учёными, но с самого начала финансировался различными организациями, в том числе НАТО.

При воздаваемых ему заслуженных почестях Карман, по свидетельству его американских коллег, был скромн, тактичен и внимателен. Как вспоминал один из них, в свой 75-й день рождения “фон Карман, несмотря на то, кто он есть, разговаривал с любым из нас так, как если бы мы были фон Карманом, а он, фон Карман, учился у мэтра” [1]. По словам Л.Г. Лойцянского, многократно встречавшегося с Карманом, его “почитали не только за его научные заслуги, но и просто, по-человечески, любили за простоту и заботливое отношение к окружающим, а особо к тем, кто считал себя его учениками”.

Деятельности Кармана как учёного, перефразируя его собственные слова “Учёный имеет право сказать инженеру: *Tua res agitur* (для тебя дела-

ется)” в заключение статьи “Турбулентность” [25, с. 59], можно дать такую оценку: “Это делалось для вас, люди!”

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dryden H.L.* Theodor von Karman: A Biographical Memoir. Washington, D.C.: NAS, 1965.
2. *von Karman T.* Interviewed by John Heilbron. June 29, 1962. <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4935>
3. *Карман Т.* Аэродинамика. Избранные темы в их историческом развитии. Ижевск: НИЦ РХД, 2001.
4. NACA report № 47.
5. Theodore Von Kármán, 1881–1963 // Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. 1966. V. 12. P. 335–365.
6. *von Karman T., Edson L.* The Wind and Beyond – Theodore von Kármán. Pioneer in Aviation and Pathfinder in Space. Boston: Little Brown, 1967.
7. *Martin J.G.* The Life and Times of Joe Gordon (to the best of my recollection). 2007.
8. Theoretical foundations for decision making in engineering design. National Academy Press, 2001. <https://www.nap.edu/read/10566/chapter/2>
9. АРАН. Ф. 689. Оп. 4. Д. 75. Л. 1–2.
10. *von Karman T.* The Engineer Grapples with Nonlinear Problems // Bull. Am. Math. Soc. 1940. V. 46. P. 615–683.
11. *Карман Т., Био М.* Математические методы в инженерном деле / Пер. с англ. М.Г. Шестопал, под ред. А.М. Лопшица. 2-е изд. М.—Л.: Гостехиздат, 1948.
12. АРАН. Ф. 519. Оп. 1. Д. 34. Л. 7.
13. *Лойцянский Л.Г.* Из моих воспоминаний. Записки профессора-политехника. СПб.: Б.С.К., 1998.
14. *Кочина П.Я.* Николай Евграфович Кочин (1901–1944). М.: Наука, 1979.
15. Академик С.А. Христианович / Ред.-сост. Г.С. Бюшгенс. Изд. 4-е, доп. и перераб. М.: Наука, 2008.
16. Механика в СССР за 50 лет. В 4 т. Т. 2. Механика жидкости и газа / Под ред. Л.И. Седова, Я.Б. Зельдовича, А.Ю. Ишлинского и др. М.: Наука, 1970.
17. *Карман Т.* Сверхзвуковая аэродинамика: Принципы и приложения / Пер. с англ. и ред. Н.А. Талицких. М.: Изд-во и тип. Гос. изд-ва иностр. лит., 1948.
18. Общая теория аэродинамики больших скоростей / Пер. с англ. Г.И. Богомолова и др., под ред. И.А. Паничкина. М.: Воениздат, 1962.
19. Основы газовой динамики / Пер. с англ. В.В. Белого и др., под ред. Г.И. Баренблатта и Г.Г. Чёрного. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
20. Аэродинамика частей самолёта при больших скоростях / Пер. с англ. Г.И. Баренблатта и др., под ред. Г.Ф. Бугаго. М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
21. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика / Под ред. И.А. Кибеля. 6-е изд., испр. и доп. М.: Физматгиз, 1963.
22. *Чёрный Г.Г.* Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
23. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1987.
24. *Чёрный Г.Г.* Долгий путь // Избранные труды. М.: Наука, 2009.
25. *Карман Т.* Турбулентность // Успехи физических наук. 1939. № 1. С. 21–59.