

С. Чаплыгин

О газовых струях

**Серия "Классики
естествознания".**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
С11

С11 **С. Чаплыгин**
О газовых струях: Серия "Классики естествознания". / С. Чаплыгин – М.:
Книга по Требованию, 2024. – 149 с.

ISBN 978-5-458-50401-0

Сергей Алексеевич Чаплыгин — замечательный русский учёный, ученик, соратник и продолжатель дела «отца русской авиации» Николая Егоровича Жуковского. Среди многочисленных работ Сергея Алексеевича есть одно исследование, которое занимает сейчас совершенно исключительное место в науке. Это работа «О газовых струях» — докторская диссертация С. А. Чаплыгина. Она посвящена изучению течений газа с большой скоростью, приближающейся к скорости звука, т. е. газовой динамике. В те времена газовая динамика как специальная наука ещё не существовала. Не было и самого названия «газовая динамика». Работа С. А. Чаплыгина «О газовых струях» составила основу газовой динамики как самостоятельной отрасли науки. Однако эта работа оставалась мало изученной в течение более тридцати лет.

ISBN 978-5-458-50401-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

С.А.ЧАПЛЫГИН



О ГАЗОВЫХ
СТРУЯХ



Государственное Издательство
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва · 1949 · Ленинград

О РАБОТАХ С. А. ЧАПЛЫГИНА ПО ГАЗОВОЙ ДИНАМИКЕ

Сергей Алексеевич Чаплыгин — замечательный русский учёный, ученик, соратник и продолжатель дела «отца русской авиации» Николая Егоровича Жуковского. Вместе с Жуковским Сергей Алексеевич Чаплыгин создал новую науку — аэродинамику, изучающую законы обтекания воздушным потоком крыльев самолёта, лопастей воздушных винтов, лопаток компрессоров и турбин.

Известно, что С. А. Чаплыгин успешно занимался не только одной аэродинамикой: ему принадлежат работы по общей механике, по методам приближённого интегрирования дифференциальных уравнений; сейчас, после разбора оставшихся после него многочисленных неопубликованных рукописей, стало известно, что он много занимался теорией упругости и получил в этой области существенные по тому времени результаты.

Среди многочисленных работ Сергея Алексеевича есть одно исследование, которое занимает сейчас совершенно исключительное место в науке. Это работа «О газовых струях» — докторская диссертация С. А. Чаплыгина. Работа эта впервые была доложена С. А. Чаплыгиным в Московском математическом обществе в 1896 году и опубликована в Учёных записках Московского университета в 1902 году. Этой работе минула сейчас уже половина

столетия! Она посвящена изучению течений газа с большой скоростью, приближающейся к скорости звука, т. е. газовой динамике. В те времена газовая динамика как специальная наука ещё не существовала. Не было и самого названия «газовая динамика».

Работа С. А. Чаплыгина «О газовых струях» составила основу газовой динамики как самостоятельной отрасли науки. Однако эта работа оставалась мало изученной в течение более тридцати лет—примерно до 1934—1935 гг., хотя в работах самого С. А. Чаплыгина можно часто найти ссылки на это исследование.

С 1934—1935 гг. те или иные стороны этой работы стали получать дальнейшее обобщение и развитие, но только, пожалуй, в самые последние годы в полной очевидности стало ясным огромное значение этого исследования.

Живой интерес широких кругов учёных к работе С. А. Чаплыгина «О газовых струях» связан с тем, что скорости самолётов стали быстро приближаться к скорости звука и в авиации на смену аэродинамике пришла газовая динамика.

Я позволю себе вкратце остановиться на предмете работы «О газовых струях» и на методах, развитых в ней Сергеем Алексеевичем.

При небольших скоростях потока плотность воздуха почти не изменяется. Это связано с тем, что значительные скорости потока вызываются сравнительно небольшими перепадами давления. Если рассмотреть струю текущего газа и проследить за частицей воздуха, которая из состояния покоя приобретает всё большую и большую скорость и в связи с этим попадает в области всё более низкого давления струи, то оказывается, что при скорости порядка 100 м/сек (360 км/час) давление воздуха падает всего на

4⁰/₀, соответственно изменению плотности частицы на 3⁰/₀. При скорости порядка 200 м/сек (720 км/час) давление изменяется на 20⁰/₀, а плотность на 15⁰/₀. При скорости, равной скорости звука (320 м/сек), давление падает вдвое, а плотность частицы уменьшается на 36⁰/₀. Отсюда ясно, что при скоростях до 100 м/сек сжимаемостью воздуха в аэродинамике можно пренебрегать. Эти соображения впервые были отчётливо высказаны С. А. Чаплыгиным в работе «О газовых струях». Теоретическая аэродинамика, которую создали Н. Е. Жуковский и С. А. Чаплыгин, имела дело как раз с такой моделью несжимаемого воздуха. Это чрезвычайно упростило исследования и позволило применять хорошо разработанный аппарат теории функций комплексного переменного.

При больших скоростях полёта влияние сжимаемости воздуха становится всё большим, а при приближении к скорости звука — решающим, качественно совершенно изменяющим картину обтекания.

При околосвуковых и сверхзвуковых скоростях господствуют новые закономерности, усложняющие те законы, которые были открыты и изучены Н. Е. Жуковским и С. А. Чаплыгиным.

Работа С. А. Чаплыгина «О газовых струях» посвящена течениям, в которых скорость ещё нигде не превышает скорости звука.

При обтекании тела с большими скоростями или в случае истечения газа из сосуда частицы газа в различных струйках приобретают различные скорости, и плотность воздуха в различных точках вокруг тела становится различной, причём плотность зависит от скорости.

С. А. Чаплыгин преобразовал уравнения движения газа к чрезвычайно простому виду, введя специальные пере-

менные, непосредственно связанные с физической картиной течения. Теперь эти уравнения называют уравнениями Чаплыгина. В качестве независимых переменных им принята величина вектора скорости (или некоторая определённая функция от неё) и угол, образованный вектором скорости с некоторым неподвижным направлением, а в качестве искомых функций — функция тока, характеризующая каждую струйку газа, и так называемый потенциал скоростей. Оказалось, что сложное уравнение движения газа при этом превращается в уравнение, содержащее лишь один единственный коэффициент, зависящий от величины скорости. При малых скоростях этот коэффициент близок к единице. При скорости, равной $70^{\circ}/_{\circ}$ скорости звука, он равен $0,95$, при скорости $0,9$ от скорости звука — $0,85$, а при скорости звука — нуль. Таким образом, полагая этот коэффициент равным постоянной величине, можно, как указал С. А. Чаплыгин, получить очень хорошее приближение. На этом свойстве сейчас основано большинство приближённых решений уравнений газовой динамики.

С. А. Чаплыгин сразу же обнаружил множество частных решений своих уравнений, отвечающих источникам различной кратности для несжимаемой жидкости.

Эти частные решения по своей структуре совершенно аналогичны соответствующим решениям для несжимаемой жидкости с той лишь разницей, что вместо степеней величины скорости в них входят гипергеометрические функции скорости. Эти решения оказались чрезвычайно важными для выяснения механизма перехода скорости из дозвуковой в сверхзвуковую.

Весьма общие решения своих уравнений С. А. Чаплыгин получил при суммировании этих частных решений. В те времена, когда С. А. Чаплыгин писал свою работу, ещё не

было теоретической аэродинамики, Н. Е. Жуковский ещё не открыл своего закона, теория крыла ещё не существовала.

Тогда в центре внимания стояло направление, получившее начало от Гельмгольца и Кирхгофа, изучающее струйные течения жидкости с образованием поверхностей скольжения. Полную математическую разработку задачи о струях дал Н. Е. Жуковский в работе, опубликованной в 1890 году.

Для истечения жидкости из сосуда это давало правильную схему явления и на этом пути было получено много плодотворных результатов. Для объяснения механизма подъёмной силы и сопротивления крыла эта схема оказалась совершенно несостоятельной, так как не отвечала действительному явлению. Приближалась она к действительности лишь в крайних, практически совершенно непригодных случаях. Правильная физическая постановка задачи о подъёмной силе крыла была дана гораздо позже Н. Е. Жуковским.

С. А. Чаплыгин применил найденные им новые уравнения движения газа к решению двух основных задач теории струй — истечению из отверстия и обтеканию пластинки, поставленной перпендикулярно к направлению потока.

Полученное решение было исключительно просто. С. А. Чаплыгин показал, что если решение, соответствующее задаче несжимаемой жидкости, представить в виде рядов по кратным источникам и заменить затем в этих рядах функции, относящиеся к источникам, найденным аналогичными частными решениями своих уравнений, то получается соответствующее решение для газа.

Это были первые и до настоящего времени единственные точные решения поставленной наперёд задачи о течении газа, полученные в явном виде.

С. А. Чаплыгин тщательно вычислил коэффициент сжатия струи и силу сопротивления пластинки и сопоставил их с данными опыта.

В дальнейшем оказалось, что непосредственное перенесение решения С. А. Чаплыгина, представленного в виде рядов, на случай задачи неотрывного обтекания крыла — затруднительно, так как ряды перестают сходиться по всей нужной области. Здесь надо было в использовании результатов С. А. Чаплыгина для задач о крыле преодолеть некоторые трудности. Однако идея аналогии между течениями сжимаемой и несжимаемой жидкости оказалась решающей и в этой задаче и получила широкое использование. На этой аналогии основано теперь большинство решений задач обтекания, полученных путём применения уравнений С. А. Чаплыгина.

Постепенно все основные исследования по газовой динамике стали опираться на уравнение С. А. Чаплыгина. С. А. Чаплыгин использовал своё уравнение лишь для решения задач дозвукового течения. Сейчас несколько видоизменённые уравнения С. А. Чаплыгина лежат в основе исследований сверхзвуковых течений газа и широко используются при изучении трудных вопросов перехода газа от дозвуковых к сверхзвуковым скоростям.

Не часто в истории науки можно найти работы, имеющие почти полустолетнюю давность, которые по истечении столь большого времени открывают всё новые и новые возможности для современных исследований.

Работа С. А. Чаплыгина «О газовых струях» принадлежит к одним из наиболее глубоких достижений русской науки в области механики.

С. А. Христианович

С. А. ЧАПЛЫГИН



О ГАЗОВЫХ
СТРУЯХ



