

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

ДЕСЯТАЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(Москва, 29–31 января 2019 года)

Труды
В трех частях
Часть III

Москва
МГТУ им. Н.Э. Баумана
2019

УДК 536.75
ББК 22.317

Н 52

Необратимые процессы в природе и технике : Десятая
Н 52 Всерос. конф. : Труды : в 3 ч. / Министерство науки и
высшего образования Российской Федерации, Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019.
ISBN 978-5-7038-5083-1
Ч. III. – 266, [1] с.
ISBN 978-5-7038-5086-2

В трудах Десятой Всероссийской конференции приведены
результаты, полученные авторами в области исследования
необратимых процессов в природе и технике.

Труды конференции предназначены для студентов, аспирантов и
научных работников.

УДК 536.75
ББК 22.317

ISBN 978-5-7038-5086-2 (Ч. III)
ISBN 978-5-7038-5083-1

© Центр прикладной физики
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ В ВУЗАХ

Н.Е. Леонтьев

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

В докладе обсуждаются некоторые типичные ошибки, которые встречаются при изложении классических, устоявшихся разделов механики жидкости в вузовских учебниках по физике, гидравлике и гидромеханике.

Появление ошибочных утверждений в процессе развития науки является, очевидно, неизбежным даже у квалифицированных исследователей (например, в области гидродинамики известны ошибки Ньютона при описании вращательного движения вязкой жидкости, исправленные затем Д.Бернулли и Стоксом; затруднения Стокса и Рэлея при формировании понятия ударной волны; первоначальное представление С.А.Чаплыгина о невозможности стационарных сверхзвуковых течений или ошибочные попытки Н.А.Слэзкина и С.В.Валландера модифицировать традиционное уравнение неразрывности).

В нашей стране было принято обращать внимание на ошибочные положения в учебной и научно-популярной литературе (укажем для примера отдельную главу «Ошибки и заблуждения в термодинамике» в книге И.П.Базарова, в области гидромеханики — публикации Л.И.Седова, Г.И.Петрова, К.П.Станюковича, Г.Ю.Степанова и др.), хотя публикация критических замечаний, по словам академика Л.И.Седова, вызывала некоторые сложности.

Многие ошибки появлялись повторно и, по-видимому, независимо у различных ученых в разные эпохи. Так, при вычислении диссипации энергии в гидравлическом прыжке на мелкой воде Рэлей допустил ошибку, которая затем была им исправлена, а затем эта же ошибка была допущена в курсе Ландау и Лифшица; при доказательстве теоремы о сохранении потенциальности Лагранж ошибочно основывал свои рассуждения на аналитичности искомых функций по времени, а позже доказательство сохранения потенциальности, основанное на этой же ошибочной идее, было приведено в курсе лекций Р.Фейнмана.

Закон Паскаля. Часто в учебной литературе «законом Паскаля» ошибочно называют утверждение о независимости давления от ориентации площадки в данной точке. Самое это утверждение, безусловно, верно, но оно не является законом Паскаля. Правильная формулировка закона состоит в утверждении о том, что при изменении давления в одной точке несжимаемой

жидкости во всех остальных точках жидкости давление изменяется на такую же величину. Ошибочное толкование возникло в результате неверного понимания выражения «давление передаётся во все стороны» в чеканной формулировке, кочующей из учебника в учебник.

Объяснение подъемной силы крыла. В учебной и справочной литературе иногда встречается элементарное объяснение возникновения подъемной силы крыла, в котором бóльшее значение скорости на верхней поверхности крыла (и меньшее — на нижней) ошибочно мотивируется тем, что частицы жидкости, разделившись у передней кромки крыла, должны одновременно прийти к его задней кромке (такое объяснение встречается даже в Большой советской энциклопедии). В действительности жидкие частицы (вне пограничного слоя) движутся вдоль поверхностей крыла за разное время, что подтверждается прямыми экспериментальными наблюдениями, не говоря уже о том, что в рамках модели идеальной жидкости выход жидкой частицы из точки торможения на любое конечное расстояние требует бесконечного времени, так что говорить о времени движения частицы (без специальных оговорок) бессмысленно.

Физический смысл слагаемого с давлением в интеграле Бернулли. В учебной литературе распространено ошибочное (или, как минимум, вводящее в заблуждение) толкование слагаемого с давлением в интеграле Бернулли для несжимаемой жидкости как «потенциальной энергии давления». В действительности, как известно, это слагаемое описывает работу, совершаемую силами давления, и не является мерой запаса какого-либо вида энергии.

Записывал ли Даниил Бернулли интеграл Бернулли? При формулировке утверждений, касающихся истории гидродинамики, требуется известная доля осторожности. Часто утверждается, что Даниил Бернулли опубликовал связь давления и скорости в 1738 году. В действительности, как это хорошо известно историкам науки, в то время Д.Бернулли не вводил давление в жидкости (как функцию координат), а в соответствующем месте его «Гидродинамики» давление вообще не фигурирует (в современном виде интеграл Бернулли будет получен его отцом Иоганном Бернулли).

Отметим также, что часто при популярном объяснении природных явлений интеграл Бернулли ошибочно применяется в тех случаях, когда он неприменим, например для описания затопленных струй воздуха (выдувание воздуха ртом, пульверизатором), где существенно влияние вязкости (от таких ошибок предостерегал еще Прандтль), или не учитывается тот факт, что для

разных линий тока константа в интеграле, вообще говоря, различна. Аналогичные ошибки распространены и в западной популярной литературе; их обилие привело к тому, что в англоязычной Википедии в статье об уравнении Бернулли (Bernoulli's principle) был создан специальный раздел (Misapplications of Bernoulli's principle in common classroom demonstrations), посвященный бытующим заблуждениям.

Направление закручивания воронки в ванной. В популярной литературе встречается утверждение о том, что направление закручивания воронки в обычной ванне определяется силой Кориолиса, связанной с суточным вращением Земли. Это, вообще говоря, ошибочное утверждение опровергается прямыми экспериментами с большим числом ванн, о которых, например, сообщает известный советский популяризатор Я.И.Перельман, а также отсутствием выделенного направления закрутки в аналогичных природных процессах схожего (лабораторное моделирование торнадо) или даже большего (наблюдение пыльных смерчей) масштаба. Выделенное направление закрутки, зависящее от полушария, удастся наблюдать только в специально поставленных опытах в условиях максимального снижения возмущений от всех остальных факторов.

Конденсационные облака вокруг самолетов. В некоторых популярных книгах встречается неверное объяснение образования облаков при полетах самолетов в условиях большой влажности (ошибочно утверждается, что это облако образуется за ударной волной, а самолет преодолевает звуковой барьер). В действительности же, хотя около самолета возникают местные сверхзвуковые зоны (в которых и происходит конденсация пара из-за понижения температуры), скорость самолета в этом случае дозвуковая, а ударные волны образуются в задней части облака (см., например, https://vk.com/wall-102183983_53).

Ньютон и закон вязкого трения Ньютона. В большом числе учебников ошибочно утверждается, что закон вязкого трения был установлен Ньютоном экспериментально. В действительности экспериментальное подтверждение закона вязкого трения было получено только в первой половине XIX века (в экспериментах Кулона с крутильными весами, а потом в известных экспериментах Хагена и Пуазейля). Сам Ньютон проводил эксперименты с падающими телами и затуханием колебаний маятников и, естественно, подтвердить линейный закон вязкого трения в этих условиях не мог (он выделял в законе сопротивления составляющие, пропорциональные различным

степеням скорости, но основной вклад давала квадратичная зависимость). Интересно, что побуждающими мотивами проведения экспериментов были не практические приложения, а желание опровергнуть вихревую теорию Декарта (что видно уже из названия его труда — «Математические начала натуральной философии», вызывающе противопоставляемого «Началам философии» Декарта).

«Кровавые» опыты Пуазейля. В ряде учебников встречается неверное утверждение о том, что известные опыты Пуазейля проводились с течением крови. В действительности Пуазейль, как и Хаген, проводил свои опыты с водой, хотя мотивом для его экспериментов было изучение кровообращения.

Закон Дарси для идеальной жидкости. В некоторых учебниках встречается неточное утверждение о том, что фильтрация жидкости в пористой среде следует законам движения идеальной жидкости. В действительности, доминирующим фактором при движении жидкости в пористой среде (в условиях применимости закона Дарси) является вязкость, явно входящая в коэффициент пропорциональности в законе Дарси, и можно говорить только о кинематической аналогии (тогда как распределения давления при фильтрации и при течении идеальной жидкости принципиально различаются).

Теория подобия и размерностей. В учебной литературе встречается представление о том, что размерность величины может говорить о ее физическом смысле. В действительности, размерность, вообще говоря, никак не связана с физическим смыслом величины (например, все безразмерные величины, которые, несмотря на то, что они вводятся в совершенно различных областях, имеют одинаковую — нулевую — размерность), а если о таком смысле и можно говорить, то он косвенно связан со спецификой определения конкретной физической величины (например, введение единицы силы обычно опирается на второй закон Ньютона).

Вывод соотношений на разрывах из дифференциальных уравнений. В гидродинамической литературе встречаются принципиально ошибочные попытки получения соотношений на поверхностях разрыва путем интегрирования дифференциальных уравнений «через разрыв». Как это неоднократно отмечалось (С.К.Годунов, Дж.Уизем, Л.И.Седов), такой подход может приводить к получению различных соотношений на разрывах при разных формах записи дифференциальных уравнений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-01-00037).