

Гидродинамические особенности при обтекании тел традиционной формы

© Н.И. Сидняев, И.А. Тархов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

Представлены современные подходы к решению проблемы математического моделирования динамических возмущений надводных и подводных тел традиционной формы в морской воде. Даны основные сведения о потоке, о принципе неразрывности, освещены кинематические и динамические стороны общих уравнений движения, их решение для различных условий течения. Приведены допущения классической гидродинамики — однородность, несжимаемость, вязкость, математические приемы, применяемые при решении трех- и двумерных возмущенных движений, а также различные методы приближений для конкретных примеров. Подробно изложены исследования гидродинамического обтекания сублимирующей сферы и способы снижения сопротивления трения путем подвода массы в пристеночную пограничную область потока веществ с малыми значениями вязкости и плотности. Получены зависимости гидродинамических параметров при различных режимах обтекания сферы.

Ключевые слова: гидродинамика, обтекание, сфера, конус, сопротивление, силы, скорость, уравнение, режимы обтекания

Введение. Гидродинамика как наука о движении жидкости под действием внешних сил и о механическом взаимодействии между жидкостью и телом получила разнообразное практическое применение при проектировании кораблей, самолетов, расчете трубопроводов и гидротурбин, при исследовании морских течений, изучении фильтрации грунтовых вод и т. п. [1–4]. Развитие прикладной гидродинамики в настоящее время во многом связано с разработкой инженерных методов расчета параметров обтекания различных тел жидкой средой и определением суммарных гидродинамических характеристик тел при движении в воде и при взаимодействии с ней: поля скоростей, сопротивления трения и давления, подъемной силы при внешнем обтекании тел [5–9]. Особое место в развитии гидродинамики занимает вопрос построения адекватных моделей. Несмотря на развитый теоретический аппарат и мощности современных вычислительных средств, теоретическое исследование взаимного влияния тела и среды в динамике оказывается возможным только в исключительных, как правило, сильно упрощенных ситуациях [10–13]. С позиции теоретической механики обсуждается задача о движении твердых тел в среде с сопротивлением, вводится правдоподобная модель воздействия среды на тела, проводится качественный анализ нелинейных движений простых моделей различной конфигурации в потоке

сопротивляющейся среды [14–16]. Современные исследования показывают, что подъемная сила может иметь такую зависимость от обобщенных скоростей, которая носит недиссипативный характер [17, 18]. Указаны условия, в которых возможны устойчивые ротационные режимы движения. Особое внимание уделяется подъемной силе как новому (по сравнению с задачей о движении точки) силовому фактору. Отмечается, что подъемная сила приводит к такой зависимости обобщенных сил от скорости, которая может носить не только диссипативный, но и ускоряющий характер. Наряду с известной неконсервативной зависимостью подъемной силы от координат это свойство служит источником нетривиальных закономерностей движения тела, которые проиллюстрированы примерами [19, 20].

На современном этапе развития авиационной и ракетной техники перед конструкторами-гидромеханиками и учеными поставлена еще одна важная физическая задача, относящаяся к сопротивлению движению тела или системе твердых тел в жидкости, особенно в части снижения трения. Данная проблема является актуальной в настоящее время и представляет значительный теоретический и практический интерес [9, 21–24].

Из трех составляющих сопротивления воды движению твердых тел — волнового, сопротивления формы и сопротивления трения — прежде всего начали уменьшать сопротивление формы путем придания движущимся в жидкости телам обтекаемых плавных обводов. Наименее разработаны вопросы воздействия на сопротивление трения. Возможно снижение сопротивления трения за счет уменьшения смоченной поверхности, но при этом сильно возрастает сопротивление формы, что может вызвать отрывы потоков. В настоящее время существует достаточно ограниченное число работ по снижению гидродинамического сопротивления трения, все они находятся на различных стадиях проверки [3, 9, 12, 14, 17].

Одним из способов решения практических задач, связанных с уменьшением сопротивления трения, является управление пограничным слоем, которое принципиально может быть осуществлено двумя методами [9, 4–6]:

- подачи в пристенную область веществ, свойства которых отличаются от свойств воды. При этом возможно изучение пограничного слоя как с непрерывным распределением свойств жидкости поперек пограничного слоя, так и при наличии границы раздела между жидкостями (воздушная или газовая прослойка между обтекаемой поверхностью и основным потоком воды);

- ламинаризации пограничного слоя, основанной на том, что при больших числах Рейнольдса трение в пограничном слое меньше при ламинарном режиме течения, чем при турбулентном.

Наиболее перспективным и эффективным средством является вдувание в пристеночную область потока веществ с малыми значениями вязкости и плотности, например газов, т. е. создание тонкой воздушной прослойки. В качестве вдуваемого вещества можно использовать воздух. В литературе данный способ уменьшения сопротивления получил название «воздушной смазки» [6, 9]. С точки зрения уменьшения сопротивления трения наибольший интерес представляет пленочный режим газонасыщения, при котором наблюдается четко выраженная, устойчивая поверхность раздела газ — жидкость [6, 10, 13].

Метод теоретического исследования пленочного режима газонасыщения заключается, с одной стороны, в том, что для изучения данного режима используется теория пограничного слоя с учетом влияния плотности и вязкости газа при условии пренебрежения влиянием его вдува на распределение давления, которое предполагается заданным. Форма границы раздела определяется расходом газа и способом его введения в поток. С другой стороны, для исследования искусственно создаваемых газовых пленок используется теория развитого кавитационного течения, в которой не учитываются реальные свойства газа. Движение с поверхностью раздела рассматривается как движение идеальной жидкости, определяемой числами кавитации и Фруда, с подлежащей отысканию свободной линией тока, давление на которой постоянно и равно давлению газа в пленке.

Применение пленочного режима газонасыщения включает в себе ряд допущений о монотонности перехода свойств среды — от свойств газа на стенке до свойств жидкости на границе пограничного слоя [6–9], так как при вдуве газа сквозь пористую поверхность в пограничный слой обычно образуются поверхности раздела, на которых свойства среды могут изменяться скачком, а не монотонно [6, 7, 18]. Необходимо также учитывать, что на характеристики движения жидкости в пограничном слое большое влияние оказывают материал стенки и, прежде всего, отсутствующий в однородных потоках фактор смачиваемости [12, 18]. В данной работе на примере сферы представлены исследования решения задачи обтекания твердого тела жидкостью, проведены расчеты по определению поля скоростей и давления, а также сопоставлены полученные результаты для различных методов решения. Одним из частных случаев исследования проблемы обтекания тела жидкостью является обтекание при малых числах Рейнольдса, так как в этом случае на тело действуют силы вязкости, возникающие вследствие существования пограничного слоя вблизи поверхности тела, и течение является ламинарным.

Цель настоящих исследований — разработка современных подходов к решению математических задач по гидродинамическому нестационарному обтеканию высокоскоростных тел различного назначения в условиях взаимодействия с водной поверхностью.