

53
А-60



МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

кафедра гидромеханики

На правах рукописи

АВЕРБУХ АРКАДИЙ ЗЕЛЬМАНОВИЧ

МЕДЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ
ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

/ 01.02.05. Механика жидкостей, газа и плазмы /

Автореферат диссертации,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА • 1974

5311

А60

Работа выполнена в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова на кафедре гидромеханики механико-математического факультета.

Научный руководитель профессор Н. А. Слезкин
Официальные оппоненты доктор физико-математических наук, профессор Г. Ю. Степанов
доктор физико-математических наук Ю. А. Буевич

Ведущее предприятие - указано в решении Ученого Совета
Автореферат разослан " " _____ 1974 г.
Защита диссертации состоится " " _____ 1974 г.
в _____ часов на заседании Ученого Совета отделения механики и НИИ Механики МГУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке механико-математического факультета МГУ

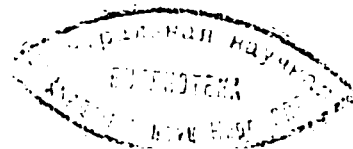
Ученый секретарь Совета

Задача о движении деформируемого тела в жидкости представляет интерес с различных точек зрения. Результаты, полученные при решении этой проблемы, могут способствовать, например, созданию новых или усовершенствованию существующих двигателей для передвижения в водной среде. Кроме того, она помогает понять, как передвигаются живые организмы, обитающие в водной среде, что, в свою очередь, может быть полезно для техники.

Проблемой движения деформируемых тел в жидкости занимались М. Е. Келдыш, М. А. Лаврентьев, Л. И. Седов, В. В. Голубев, А. И. Некрасов, Г. В. Логвинович, Н. А. Слезкин, Дж. И. Тэйлор, М. Латхилл, Р. Саффмен, Д. Блэйк, Д. Грэй и ряд других исследователей. В качестве достижений этой теории можно назвать, например, решение проблемы флаттера.

Данная работа посвящена, в основном, медленному движению деформируемых тел в вязкой жидкости. Более конкретно - возможности "самодвижения" за счет деформаций поверхности тела.

Работа состоит из введения, трех глав и приложения. Во введении дан краткий обзор способов передвижения, приобщив "водяным" животным, а также названы основные работы, в которых эти способы анализируются. Наиболее примечательным фактом является тот, что огромному многообразию животных, обитающих в водной среде, присущи всего три типа передвижения. Это позволяет предположить, что преимущество этих способов является чисто гидромеханическим, и позволяет на первых порах рассматривать такие задачи, в которых деформации поверхности заданы. В данной работе рассмотрены медленные движения деформируемых тел в жидкости в предположении, что деформации поверхности



заданы, а движение жидкости подчиняется квазистационарным или нестационарным уравнениям Стокса.

Короткая первая глава посвящена движению деформируемого тела в безграничном объеме идеальной несжимаемой жидкости, движение которой потенциально. Показано, что хотя при периодических деформациях поверхности средняя за период гидродинамическая сила равна нулю, возможно перемещение тела из состояния покоя на сколь угодно большие расстояния за счет периодических деформаций своей поверхности. Эта глава является некоторым обобщением работ Саффмена и Н.А.Слезкина.

Во второй главе рассмотрено движение деформируемого тела в жидкости, движение которой подчиняется квазистационарным уравнениям Стокса. В этом случае гидродинамическую силу (и момент) можно представить в виде суммы двух слагаемых. Первое является силой, действующей со стороны жидкости на абсолютно твердое тело, имеющее ту же форму, что и деформируемое в данный момент. Это слагаемое является силой сопротивления. Второе обусловлено деформациями, и может быть силой тяги.

Для определения этого второго слагаемого необходимо решить достаточно сложную краевую задачу. Поэтому предложены два способа, упрощающие задачу. Во-первых, удобно пользоваться асимптотическим разложением решения в окрестности бесконечно удаленной точки. В этом случае сила определяется коэффициентом в главном члене разложения. Во-вторых, эффективным является применение теоремы взаимности. В этом случае необходимо знать только решение гидродинамической задачи о поступательном движении в трех некомпланарных направлениях абсолютно твердого тела имеющего ту же форму, что и деформируемое в

данный момент. Таким образом, можно вычислить гидродинамическую силу при любом распределении скоростей на поверхности таких тел, например, как: 1) тела, остающиеся в процессе деформации эллипсоидами или близкие к ним, 2) тела, построенные с помощью фундаментальных решений уравнений Стокса. Приведены примеры на применение теоремы взаимности.

В § 2 рассмотрена задача о поступательном движении мало деформированной среды. Уравнение поверхности задано с точностью до величин 2-го порядка малости, и сила вычислена с точностью до величин второго порядка малости.

В § 3 рассмотрено движение сферы под действием малых деформаций ее поверхности. Деформации поверхности заданы с точностью до величин второго порядка малости. Для периодических деформаций средняя за период гидродинамическая сила равна нулю, а движение тела в целом представляет колебания около начального положения. Во втором приближении средняя сила отлична от нуля, и возможно перемещение тела на сколь угодно большое расстояние. Вычислена скорость поступательного движения через параметры деформации поверхности. Можно так подобрать параметры деформации, что колебательное движение будет отсутствовать, тянущая сила будет постоянной, и движение будет происходить с постоянной скоростью.

В главе III рассмотрено движение деформируемого тела в вязкой жидкости, движение которой подчиняется нестационарным уравнениям Стокса. В этом случае гидродинамическая сила и другие величины зависят от всей предыдущей истории движения.

В § I дано обобщение на нестационарный случай коэффи-

циентов сопротивления абсолютно твердого тела, рассмотренных для стационарного случая Бреннером.

В § 2,3 выводится формула для силы, действующей со стороны жидкости на тело в плоском и осесимметричном случаях. Сила выражается через функцию тока на поверхности тела, которая известна из граничных условий прилипания, и первый коэффициент в разложении давления в окрестности бесконечно удаленной точки.

С помощью этой формулы в § 2 вычислена сила, действующая на малодеформированный круглый контур, и сила, действующая на круглый контур для любого распределения скорости на нем.

В § 3 рассмотрена задача о проницаемой сфере, т.е. вычислена сила, действующая на сферу с произвольным распределением скоростей деформаций на поверхности сферы.

В § 4 рассмотрена задача о поступательном движении мало деформированной сферы вдоль оси симметрии. Вычислена поправка 1-го порядка малости к известной формуле для сопротивления шара.

В § 5 рассмотрена задача о движении сферы за счет малых деформаций своей поверхности. Деформации поверхности заданы с точностью до величины второго порядка малости. В первом приближении средняя за период сила для периодических деформаций равна нулю (асимптотически, для больших значений времени), и движение тела в целом носит колебательный характер. Во втором приближении имеет место поступательное движение тела в целом, на которое наложены колебания. Вычислено асимптотическое значение средней скорости (для больших значений времени) через параметры деформации поверхности.

Таким образом, возможно перемещение тела на сколь угодно большое расстояние за счет деформаций своей поверхности.

Интересно отметить, что в случае квазистационарных уравнений Стокса завихренной является вся область, занятая жидкостью. Для нестационарных уравнений Стокса эта область имеет характерный размер, который определяется кинематической вязкостью и частотой.

В приложении дано краткое описание рясничатого способа передвижения, характерного для микроорганизмов. Рассмотрен вопрос о применимости решенных задач к исследованию этого способа передвижения.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. О движении деформируемого тела в безграничном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Известия АН СССР. МЭТ № 2, 1973г.
2. О силе, действующей на деформируемое тело при его медленном движении в вязкой несжимаемой жидкости. Вестник МГУ, Сер. "Математика, механика", 1974г., № 3.
3. Медленные осесимметричные движения в вязкой жидкости. Сборник научных работ аспирантов № I, механико-математический факультет, МИИ механики, М., изд-во МГУ, 1973г.

ПОДП. К ПЕЧАТИ 17/1-74 Г. Л-70538 Ф. 60.90/18
Физ.пл. 0,25. ЗАКАЗ 1081. ТИРАЖ 200 ЭКЗ.

ОТПЕЧАТАНО НА РОТАПРИНТАХ В ТИП. ЛЭЛ. МГУ
МОСКВА, ЛЕНИНГРАД

