

**А.А. Саткевич**

**Аэродинамика как теоретическая основа  
авиации**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 030  
ББК 92  
А11

А11 **А.А. Саткевич**  
Аэродинамика как теоретическая основа авиации / А.А. Саткевич – М.: Книга по Требованию, 2024. – 596 с.

**ISBN 978-5-458-43816-2**

Книга посвящена задаче систематизации существующих теоретических основ авиации, в той их части, которая обнимает аэродинамическую сущность явлений.

**ISBN 978-5-458-43816-2**

© Издание на русском языке, оформление  
«УОУО 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 первоизданном 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.



## Предисловие.

Чрезвычайные практические успехи авиации настолько опередили теоретическую работу по изучению условий полета в воздухе, что в широких кругах создалось почти-что убеждение в совершенном бессилии теории, по крайней мере в ближайшее время, обеспечить себе в отношении авиации подобающую руководящую роль. Между тем, настойчиво работающая мысль, вдохновляемая достижениями практики и сознающая остроту обращаемых к ней жизненных запросов, на самом деле неустанно стремится к выяснению идейной сущности раскрывающихся перед ней задач и к построению рациональной теории летания. И фактически все расширяющиеся попытки строго-научного анализа, проверяемые многочисленными экспериментальными изысканиями, приводят за последние годы к целому ряду новых теоретических построений, являющихся уже серьезным шагом в деле создания прочных теоретических основ, гарантирующих большую уверенность дальнейших начинаний в борьбе за обладание воздушной стихией.

Однако, исключительная быстрота роста авиации связана с лихорадочной поспешностью в теоретическом учете открывающихся возможностей; и такая спешность возникновения и выражения отдельных теоретических идей, новых научных образов и представлений, такая постоянная эволюция схем и методов анализа естественно отзываются некоторой общей несогласованностью, требующей взаимных сопоставлений и планомерной об'единительной работы. Задаче систематизации существующих теоретических основ авиации, в той их части, которая обнимает аэродинамическую сущность явлений, и посвящён предлагаемый труд.

Имея, в общем, курсовой характер, такой труд должен, по моему убеждению, носить на себе отпечаток некоторой общей связующей идеи, придающей логическую цельность изложению. Это положение и руководило мною при составлении книги.

В существующих литературных источниках, затрагивающих связанные с авиацией вопросы аэродинамики, основные теоретические представления о полете тел в воздухе сообщаются в значительной мере обособленно: понятие о потенциальном потоке, идея циркуляции скорости, динамическая роль вихря, механическое выражение вязкости воздуха—создают такое разнообразие возможных отправных точек зрения, что познающая мысль готова, повидимому, мириться даже с явной несогласованностью об'яснений для силы поддержания крыла аэроплана в воздухе, как поперечного действия обтекающей крыло среды,—с одной стороны—и для продольной силы лобового сопротивления

полету—с другой,—несмотря на то, что оба этих внешних эффекта должны быть, по существу, выражениями лишь двух сторон одного и того же механического взаимодействия среды и тела.

Я пытался здесь в возможной мере связать, как сами понятия, так и ход исследовательской мысли. С этой целью, прежде всего, изложению вопроса о потенциальном обтекании среды я постарался придать такой характер, при котором возможно было, поступившись предпосылкой о непрерывной однозначности потенциала скоростей, подойти логически к идее циркуляции. Этот ход мысли можно было бы, пожалуй, развить и далее и, отрешившись также от требования непрерывности, притти и к потенциальному полю, отвечающему вихревому обтеканию. Но такое обобщение вызывало уже значительные осложнения и казалось мне к тому же слишком субъективным, слишком уклоняющимся от узаконенных жизнью форм аэродинамических теорий, а потому и неуместным для курса. Это заставило меня предпочесть введение последующих понятий и методов путем постепенного устранения упрощающих условных предпосылок исследования.

Такое же стремление к согласованию проведено мною и в теоретическом сопоставлении продольного лобового сопротивления с поперечной силой поддержания крыла аэроплана. Мне хотелось в возможной мере оттенить связь между двумя центральными руководящими мыслями современного вихревого анализа—между теорией Кармана и теорией Прандля. Отмечая в теории Прандля ее идейное значение—перенесение основной точки зрения с силовых образов к образам вихревым,—я старался в своей передаче сблизить ее фактическое воплощение с сущностью Кармановского исследования. Эта новая, намечаемая воззрениями Прандля, обобщающая идея кажется мне особенно ценной для дальнейшего развития теоретических представлений. Находя в ней оправдание несколько-искусственным приемам анализа аэропланнх крыльев помощью конформного преобразования поступательно-циркуляционного потока около круговых форм—оправдание для самого зарождения циркуляции в потоке, я предвижу дальнейшую необходимость объединения метода решения конформных задач для крыльев различного типа и расположения с применением к тем же объектам теоретического анализа Прандля.

Отчасти под этим влиянием я устранил пока из курса подробности развития методов Kutta—Жуковского—Чаплыгина—Blasius'a (применение их к сложным профилям и в частности—к бипланам) и ограничил в то же время изложение теории Прандля лишь простейшим случаем монопланного крыла с эллиптическим законом поддержания его воздухом, намечая дальнейшим развитием курсовых идей две специальных дополнительных главы: 1) аэродинамическую теорию крыла аэроплана (поступательно движущегося крыла) и 2) теорию гребного винта—пропеллера (крыла движущегося вращательно), а может быть еще и 3-ю главу—теорию полета птиц, в ее теперешнем понимании (периодически-колебательного движения крыла). Эти главы могут быть изложены уже под руководящим влиянием обоих современных подходов к решению практических задач.

Дополняемый такою надстройкою специальной теории аэроплана, курс теоретической аэродинамики нуждается затем лишь в чисто-механическом анализе полета аэроплана, как цельной механической системы, т.-е. главным образом в исследовании продольной, поперечной и общей устойчивости аппарата при полете—с одной стороны—и в изложении экспериментальных приемов, положений и выводов, т.-е. в так называемой прикладной аэродинамике—с другой,—чтобы образовать тот основной научный фундамент, на котором должен покоиться рациональный расчет аэроплана, как летательной машины.

Переходя в заключение к вопросу о характере изложения, отмечу, что основное учебное руководство должно, по моему убеждению, в значительной мере отличаться в этом отношении от теоретических монографий и научных работ иного назначения. То, что в специальном научном сочинении или справочной книге может сообщаться на веру, со ссылкой на другие литературные источники, а иногда даже просто выпускаться из круга логических представлений, в курсе должно быть возможно полно и строго устанавливаемо. Именно эта, вызываемая жизненными условиями, необходимая краткость рассуждений в специальных исследованиях и справочниках и обязует теоретическое руководство к особо-внимательной и обстоятельной оценке основных положений и схем развития мысли. Курс должен научать сознательному и вдумчивому пользованию теоретическими методами и средствами, должен, ради этого, ставить и разрешать логически возникающие попутные вопросы, выдвигать возможные возражения и обострять возникающие сомнения, стюдь не скрывая их, так как основная задача курса заключается не столько в преподании запаса формальных сведений, которые сами-по-себе могут и должны пополняться и в дальнейшее время, сколько в воспитании научно-исследовательской мысли обучающегося, в сообщении ему самого духа изучаемых научных методов и идейного существа оперативных приемов.

Такая передача, в целях отчетливо-прочного восприятия и усвоения требует несомненно согласования ее с общим кругозором и привычными способами мышления лиц, для которых курс предназначается. Учитывая в этом отношении предварительную подготовку современного студента-техника или даже инженера, полезно, как мне кажется, несколько воздержаться от слишком отвлеченных математических построений и в возможной мере, допускаемой требуемой строгостью рассуждений, приблизиться к более образным приемам мышления. Такое приспособление к кругозору несколько отразилось на методологической обработке всего курса и, в частности, побудило меня сопроводить его несколько подробным и притом своеобразным изложением вопросов о конформном преобразовании, в том числе—теоремы Шварца-Кристоффеля, ввиду сравнительно-трудной усвояемости слушателями высших технических школ классических форм теории аналитических функций и в то же время—возможности дать этому методу более образное, векториальное выражение.

Применение двух шрифтов, более и менее крупного, позволило выделить во всем содержании книги те главы и части глав и отдельных рассуждений, которые могут быть обойдены вниманием при желании большей концентрации мысли на главных объектах изучения.

Высказанными соображениями, полагаю, достаточно об'ясняется весьма значительный об'ем всего руководства, несколько увеличенный еще и желанием дать всюду, где было возможно, некоторые попутные исторические справки и полезные литературные указания. Указания эти приводятся не в форме особого справочника, а именно—попутно, на протяжении самого курса, опять-таки по тем же соображениям об его назначении.

К курсу прибавлены две дополнительных главы—о методе механического подобия и об основах векториального анализа. Главы эти не связаны органически с содержанием книги; их изложение можно было бы, пожалуй, заменить ссылкой на другие руководства или научные статьи. К сожалению, мне не удалось подыскать подходящих к общему характеру курса передач этих вспомогательных научных методов, и потому я решился еще на некоторое увеличение об'ема книги, введением в нее таких, особых, дополнений.

Вот—краткий отчет о руководивших мною при написании курса побуждениях, которым я считаю нужным сопроводить выпуск его в свет, чтобы и с методологической стороны представить его на суд специалистов. С особым интересом жду я такой критики, так как, трактуя в своем труде о предложениях и теориях, зачастую, самых последних лет, не имея временами образцов для подражания и чувствуя себя, вообще, принужденным следовать иногда вновь намечавшимися путями, я естественно сознаю и свою особую в том ответственность.

Конец декабря 1922 года, Петроград.

Считаю своим долгом выразить глубокую признательность Петроградскому Институту Инженеров путей сообщения, редакционно-издательская организация которого, при чрезвычайно трудных издательских условиях нынешнего времени, взяла на себя задачу выпуска в свет такого об'емистого труда, и Академии Воздушного флота в Москве, участвовавшей материально в осуществлении этого начинания, а также—специальную благодарность всем активным сотрудникам названной редакц.-издат. организации и прежде всего—Ник. Алексеев. Шопину, Петру Ефр. Свешникову и Брон. Адам. Луцику, которые своей особой заботливостью и фактическим трудовым участием сделали возможным выход этой книги в свет в том виде, в каком она представляется теперь на суд читателей. Изящной ясности и аккуратности сложного математического набора способствовало, конечно, внимательное отношение хорошо налаженного административного и рабочего аппарата печатавшей книгу Типографии Штаба Р.-К. К. А.

*А. Саткевич.*

Апрель 1923 года, Петроград.

# Оглавление

	Стр.
Введение . . . . .	1
<b>А. Основные средства гидромеханического анализа движения совершенной жидкости, несжимаемой и упругой . . . . .</b>	<b>8</b>
I. Общая постановка задачи гидро- и аэро-механики . . . . .	8
II. Составление дифференциальных уравнений движения (и покоя) совершенной жидкости . . . . .	14
1. Вывод с точностью до беск.-малых 2-го порядка, определяющий основное свойство гидромеханического давления . . . . .	14
2. Вывод с точностью до беск.-малых 3-го порядка, приводящий к трем основным дифференциальным уравнениям гидромеханики . . . . .	17
3. Составление четвертого уравнения — непрерывности движения . . . . .	21
4. Составление дополнительного, пятого — характеристического уравнения жидкости . . . . .	24
5. Формулировка пограничных и начальных условий движения . . . . .	25
6. Уравнения движения совершенной жидкости в так наз.— Лягранжевой форме . . . . .	29
III. Введение в исследование понятий об установившемся движении, о потенциале скоростей и о потенциале сил . . . . .	33
IV. Интегрирование дифференциальных уравнений движения совершенной жидкости . . . . .	40
V. Приложимость интегральных формул гидродинамики несжимаемой жидкости к изучению движения жидкости упругой (газа) . . . . .	49
VI. Физическое значение существования потенциала скоростей при движении совершенной жидкости . . . . .	54
VII. Разложение движения частицы на три элементарных вида движения — переноса, деформации и вращения . . . . .	57
VIII. Уравнение энергии в динамике совершенной жидкости (Интеграл диф-ных ур-ий движения совершенной жидкости в общем случае) . . . . .	61
IX. Пользование в гидро- и аэро-динамических исследованиях уравнением количеств движения . . . . .	66
X. Замечание о механической обратимости явлений относительного движения жидкой среды и находящегося в ней твердого тела . . . . .	70
<b>Б. Специальное исследование основных типов движения совершенной жидкости . . . . .</b>	<b>72</b>
I. Безвихревое неразрывное движение несжимаемой жидкости без срыва струй с поверхности обтекаемого ею тела . . . . .	72
1. Обтекание шара сплошным потоком, симметричным относительно продольной оси (Упрощенная задача Дирихле-Пуассона) . . . . .	72
2. Обтекание шара сплошным несимметричным потоком жидкости (Задача Дирихле-Пуассона) . . . . .	83
3. Видоизменение задачи Дирихле-Пуассона для случая плоского потока — Задача о неотрывном обтекании жидким потоком кругового цилиндра . . . . .	93
а. Случай поступательного потока . . . . .	96
б. Случай чисто-циркуляционного потока . . . . .	104
в. Случай поступательного потока, соединенного с циркуляцией . . . . .	108
4. Обобщенная теорема о силе воздействия на тело установленного поступательного потока, соединенного с циркуляцией (Теорема проф. Н. Е. Жуковского) . . . . .	112

	Стр.
II. Приемы кинематического исследования плоского потока в применении к движению неразрывному и безвихревому . . . . .	118
1. Понятие о линиях тока и линиях равного потенциала окоростей и о составляемых ими ортогональных сетях . . . . .	118
2. Метод комплексных переменных в применении к кинематическому исследованию потока . . . . .	125
3. Метод конформных изображений, как дополнение метода функций комплексного переменного . . . . .	137
а. Примеры простейших конформных преобразований . . . . .	144
б. Конформное изображение полуплоскостью области прямолинейно-многоугольного контура (Формула Кристоффеля-Шварца) . . . . .	167
III. Циркуляция (многозначный потенциал окоростей), как фактор, изменяющий условия влияния среды на движущееся относительно нее тело . . . . .	175
1. Поддерживающая сила для плоской пластинки и для прямого крыла с утолщенной передней частью, исчисляемая по методу конформного преобразования поступательно-циркуляционного плоского потока (Теория проф. Н. Е. Жуковского) . . . . .	175
2. Поддерживающая сила для дугобразной пластинки и для изогнутого, утолщенного спереди, крыла, исчисляемая по тому же методу (Задача Кутта-Жуковского) . . . . .	183
3. Общий обзор работ В. М. Кутта, С. А. Чаплыгина и Н. Е. Жуковского и др. по применению метода конформных изображений к исследованию поддерживающей силы крыльев летательных аппаратов . . . . .	196
IV. Установившееся движение совершенной жидкости с образованием поверхностей разрыва (Струйная теория Кирхгофа) . . . . .	218
1. Возникновение идеи срыва струй с поверхности обтекаемого жидкостью тела . . . . .	218
2. Изучение плоского движения жидкости, с пограничными условиями относительно скоростей, по методу конформных изображений (Способ Кирхгофа) . . . . .	220
3. Задача о давлении неограниченного потока на плоскую преграду, в представлениях, предшествовавших теории Кирхгофа . . . . .	225
4. Давление неограниченного потока жидкости на нормальную к нему плоскую преграду, исчисляемое по методу Кирхгофа . . . . .	228
5. Давление неограниченного потока жидкости на наклонную к нему плоскую преграду, исчисляемое по методу Кирхгофа . . . . .	245
6. Общие замечания о струевой теории Кирхгофа . . . . .	254
V. Гидродинамическая теория вихрей в применении к задаче воздействия жидкой среды на обтекаемое ею тело . . . . .	259
I. Общие основания теории вихрей . . . . .	259
1. Основные понятия учения о вихрях . . . . .	259
2. Теорема Стокса о циркуляции скорости по контуру . . . . .	264
3. Теорема Уильяма Томсона о влиянии времени на циркуляцию по жидкому контуру . . . . .	271
4. Применение интегрального закона Гаусса к доказательству теорем Хельмгольца о вихрях . . . . .	271
5. Основные теоремы Хельмгольца о вихрях . . . . .	275
1-я теорема Хельмгольца . . . . .	276
2-я теорема Хельмгольца . . . . .	277
3-я теорема Хельмгольца . . . . .	278
II. Анализ вихревых явлений в условиях плоского потока . . . . .	281
1. Влияние вихрей на распределение скоростей в двухразмерном движении жидкости . . . . .	281
2. Вихревая теория лобового сопротивления, разработанная проф. Карманом . . . . .	302
а. Устойчивость вихревых систем, образуемых плоским потоком за телом . . . . .	302
б. Лобовое сопротивление тела плоскому потоку, как следствие вихреобразований . . . . .	329

	Стр.
III. Анализ вихревых явлений в трехразмерном потоке . . . . .	344
1. Общая задача об исчислении скоростей, вызываемых действием вихрей в трехразмерном пространстве . . . . .	344
2. Теория проф. Л. Прандля воздействия потока на обтекаемое им тело конечных измерений . . . . .	365
а. Общее, переработанное, изложение теории проф. Прандля . . . . .	365
б. Применение теории проф. Прандля к исследованию крыла аэроплана . . . . .	382
3. Попытка проф. Н. Е. Жуковского построения вихревой теории лобового сопротивления плоских пластинок конечных размеров . . . . .	394
IV. Несколько заключительных слов о роли вихревого метода в динамике совершенной жидкости, как теоретической основе изучения полета аппаратов в воздухе . . . . .	405
G. Механический анализ движения жидкости несовершенной (вязкой) . . . . .	409
I. Основные средства анализа движения жидкости вязкой . . . . .	409
1. Составление основных дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости (уравнений Навье-Стокса) . . . . .	409
2. Составление дополнительного уравнения внутренней энергии для вязкой жидкости упругой (уравнения Кирхгофа) . . . . .	420
3. Формулировка пограничных и начальных условий движения жидкости вязкой . . . . .	425
4. Несколько общих указаний, касающихся основных уравнений движения вязкой жидкости . . . . .	429
5. Интеграл дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости в условиях существования потенциала скоростей . . . . .	433
6. Интеграл уравнений установившегося движения вязкой жидкости (Обобщенная теорема Д. Бернулли) . . . . .	436
7. Условия образования и роль вихрей в движении вязкой жидкости . . . . .	437
II. Приложение теории движения жидкости вязкой к вопросу о воздействии среды на обтекаемое ею тело . . . . .	440
1. Современное состояние теории обтекания тел вязкой жидкостью . . . . .	440
2. Задача Стокса о сопротивлении медленному движению твердого тела (шара) в вязкой жидкости . . . . .	442
3. Теоретические исследования Осена по динамике вязкой жидкости и предложенное им уточнение решения задачи Стокса . . . . .	450
4. Метод проф. Прандля решения задачи об обтекании тела маловязкой жидкостью . . . . .	459
а. Воззрения проф. Прандля о пограничном слое, как основа приближенного составления дифференциальных уравнений обтекания тела жидкостью . . . . .	459
б. Способ Блязиуса приближенного интегрирования уравнений Прандля . . . . .	468
5. Поверхностное трение, как фактор, влияющий на сопротивление обтеканию тела вязкой жидкостью . . . . .	481
6. Дополнительные замечания об исчислении поддерживающей силы, проявляемой жидкостью вязкой . . . . .	481
III. Намечающиеся задачи дальнейшего развития аэродинамических методов изучения теории полета, в связи с вихреобразованием в вязкой жидкости . . . . .	483
<b>Д о п о л н е н и я .</b>	
I. Метод механического (динамического) подобия, как дополнение теоретических методов аэродинамики . . . . .	493
II. Метод векториально-аналитических представлений, как средство сокращения математических операций при теоретическом исследовании физических явлений . . . . .	511
Алфавитный указатель имен, встречающихся в тексте . . . . .	577

# Inhaltverzeichnis.

	Seite.
<b>Einführung</b> . . . . .	1
<b>A. Hydrodynamische Behandlung der Bewegung der idealen Flüssigkeit</b> . .	8
I. Probleme der Hydro- und Aero-dynamik . . . . .	8
II. Differentialgleichungen der Flüssigkeitsbewegung . . . . .	14
1. Eigenschaft des hydrodyn. Druckes, 14; 2. Die drei Hauptgleichungen, 17; 3. Die Kontinuitätsgleichung, 21; 4. Charakteristische Gleichung, 24; 5. Grenzbedingungen, 25; 6. Lagrange'sche Form der Gleichungen, 29.	
III. Stationäre Bewegung, Kraftpotential, Geschwindigkeitspotential .	33
IV. Integration der Bewegungsgleichungen . . . . .	40
V. Anwendbarkeit der hydrodyn. Formeln auf den Gasbewegungen . . .	49
VI. Physikalische Deutung des Geschwindigkeitspotentials . . . . .	54
VII. Zerlegung der Bewegung eines Flüssigkeitselementes in Translation, Rotation und Deformation . . . . .	57
VIII. Die Energiegleichung . . . . .	61
IX. Impulssatz in der Hydrodynamik. . . . .	69
X. Reversibilität der mechanischen Betrachtungen . . . . .	70
<b>B. Haupttypen der Bewegung der idealen Flüssigkeit</b> . . . . .	72
I. Wirbelfreie kontinuierliche Strömung um einen festen Körper . . . .	72
1. Symmetrische Potentialströmung um eine Kugel, 72; 2. Unsymmetrische Strömung derselben Art, 88; 3. Potentialströmung um einen Kreiszylinder, 93: a) Translation, 96; 6) Zirkulation, 104; b) Translation mit überlagerter Zirkulation, 103; 4. Joukowskyscher Satz über den Auftrieb in die Zirkulationsströmung, 112.	
II. Kinematische Untersuchung ebener Flüssigkeitsbewegungen . . . . .	118
1. Stromlinien und Aequipotentiallinien, 118; 2. Methode der komplexen Grössen, 125; 3. Methode der konformen Abbildung, 137; 3a. Beispiele der konformen Abbildungen, 144; 3b. Schwarz-Christoffel'sche Formel, 167 . . . . .	167
III. Die Zirkulation als Ursache des Auftriebs . . . . .	175
1. Flache Tragflügel in der Zirkulationsströmung, 175; 2. Gebogene Flügel in der Strömung, 188; Theoretische Untersuchungen von W. Kutta, S. Tschapligin, N. Joukowsky u. A., 196.	
IV. Diskontinuierliche stationäre Bewegung der idealen Flüssigkeit . .	218
1. Ursprung der Idee der Diskontinuität, 218; Kirchhoff's Theorie der diskontinuierlichen Bewegung, 220; Alte Theorien des Stromdruckes auf ein festes Hindernis, 225; Der Druck des Normalstromes, nach Kirchhoff, 228; Der Druck eines geneigten Stromes, nach Kirchhoff, 245; Allgemeine Schlussbemerkungen über Kirchhoff's Theorie, 254.	
<b>B. Hydrodynamische Wirbeltheorie und ihre Anwendung auf die Auftriebs- und Widerstands-Problemen</b> . . . . .	259
I. Grundlagen der Wirbeltheorie . . . . .	259
1. Hauptbegriffe, 259; 2. Stokes' Satz, 264; W. Thomson's Satz, 271; Gauss-Green'scher Integralsatz, 274; Die drei Sätze von Helmholtz, 275.	

	Seite.
II. Behandlung der Wirbelerscheinungen bei ebener Strömung . . . . .	281
1. Geschwindigkeitsvertheilung in ebener Strömung, 281; 2. Kármán'sche Widerstandstheorie, 302; 2a. Stabilitätsbedingungen des ebenen Wirbelsystems, 302; 2b. Berechnung des Widerstandes, 329.	
III. Behandlung der Wirbelerscheinungen bei dreidimensionaler Strömung . . . . .	344
1. Geschwindigkeitsvertheilung im räumlichen Wirbelbereiche, 344;	
2. Prandtl'sche Tragflügeltheorie, 365; 2a. Modifizierte Behandlung der Prandtl's Theorie, 365; 2b. Anwendung der Prandtl's Theorie auf einem Flugzeuge, 382; 3. Joukowsky'sche Erklärung des Widerstandes einer ebenen Platte, 394.	
IV. Bedeutung der Wirbelmethode in der Flugtheorie . . . . .	405
<b>F. Theorie der Bewegung der zähen Flüssigkeit . . . . .</b>	<b>409</b>
I. Grundlagen der Hydrodynamik der zähen Flüssigkeit . . . . .	409
1. Die Navier-Stokes'sche Bewegungsgleichungen, 409; 2. Die Kirchhoff'sche Energiegleichung, 420; 3. Anfangs- und Grenzbedingungen, 425; 4. Einige Bemerkungen, 429; 5. Integration der Gleichungen bei der Existenz des Geschwindigkeitspotentials, 433; 6. Integration im Falle der stationären Bewegung, 436; 7. Allgemeines über die Wirbeln in zähen Flüssigkeit, 437.	
II. Mechanische Erläuterung der gegenseitigen Wirkung der zähen Flüssigkeit und des festen Körpers . . . . .	440
1. Gegenwärtiger Stand der Theorie der Strömung zäher Flüssigkeit um einen festen Körper, 440; 2. Langsame Bewegung der zähen Flüssigkeit um eine Kugel, 442; 3. Theoretische Betrachtungen von C. Oseen, 450; 4. Prandtl'sche Lösung der Probleme der Flüssigkeitsbewegung bei kleiner Reibung, 459; 4a. Grenzschichttheorie von Prandtl, 459; 4b. Blasius'sche Näherungsmethode der Integration der Prandtl'schen Gleichungen, 468; Oberflächenreibung, als ein zusätzlicher Faktor, 481; Bemerkungen über den Auftrieb in zäher Flüssigkeit, 484.	
III. Hinweise auf weitere Entwicklung der aerodynamischen Untersuchungsmethoden mit Berücksichtigung der Wirbeln . . . . .	488
<b>Z u s c h l ä g e:</b>	
I. Methode der dynamischen Aehnlichkeit . . . . .	493
II. Grundlagen der Vektoranalyse . . . . .	511
<b>Namenregister . . . . .</b>	<b>577</b>

## Замеченные опечатки и неточности, требующие исправления.

Страница.	Страна.	Напечатано.	Должно быть.
5	1 сверху	un	und
11	24 сверху	ее части	части ее
15	1 сверху	получили	получим
17	фиг. 2	Поставить в центрах заштрихованных площадок $k'$ и $k$	
18	фиг. 3	Заменить у ближнего угла парал-педа $k$ на $k'$	
24	14 сверху	из несжимаемых	из нескольких несжимаемых
42	11 сверху	Громеко	Громска
56	6 снизу	в 1871 г.	в 1781 г.
66	8 сверху	приращения моментов	приращения проекций или моментов
70	11 снизу	одинаковых сил	одинаковых скоростей
86	фиг. 12	$k$ у левого края шара заменить $k'$	
95	1 снизу	$r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \delta r \delta \varphi$	$r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \delta r \delta \vartheta$
97	1 снизу	(в двух местах)... $\overline{r^{2n}+1}$	$\overline{r^{2n}+1}$
117	3 сверху	$I$	$\Gamma$
122	13 снизу	$v_x dy$	$v_x dy$
123	6 сверху	$(x_2 - iy_2)$	$(x_2 + iy_2)$
135	9 снизу	$+ v_{\infty y} r_0^2 d \frac{x}{r}$	$+ v_{\infty y} r_0^2 d \frac{x}{r^2}$
137	2 сверху	$\sqrt{\frac{-a}{b}}$	$\sqrt{\frac{b}{a}}$
140	6 сверху	. по условию	, как было отмечено,
159	1 сверху	$\frac{2x}{+tg2A}$	$\frac{2(x-x_0)}{+tg2A}$
159	3 сверху	$1-x_0^2=1-\frac{1}{tg^2 2A}$	$1+x_0^2=1+\frac{1}{tg^2 2A}$
159	4 сверху	$1-x_0^2$	$1+x_0^2$
179	фиг. 38	На пересечении силы $P$ и оси $x$ поставить букву $D$	
180	фиг. 39	$r_0$	$r$
180	15 сверху	$r+c \cos \vartheta$	$-r+c \cos \vartheta$
183	16 сверху	протекающую	протекающей
183	20 сверху	$\frac{r_c}{r^0}$	$\frac{r_c}{r..}$
189	8 сверху	и прочие	прочие
195	17 сверху	$\sin \frac{\alpha}{2}$	$\sin^2 \frac{\alpha}{2}$
204	4 снизу	$(\cos \theta_y + i \sin \theta_y) \cdot dS$	$(\cos \theta_y - i \sin \theta_y) \cdot dS]$
205	26 сверху	$(z - z_0)^m$	$(z - z_0)^m$
211	19 снизу	малое количество, влияющее	малого количества, влияющего