

P 133323

Проф. Н. Е. Жуковскій.

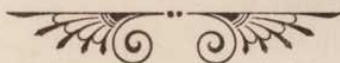
НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

НОВЫЯ НАУЧНЫЯ ЗАВОЕВАНІЯ
въ теоріи сопротивленія жидкостей.

Прозер. 1935

(Рѣчь, произнесенная на XIII създѣ Русскихъ Естествоиспытателей
и Врачей 20-го іюня 1913 г.).

PROVERENO
1952



ТИФЛИСЬ.
1914.

Отдельный оттискъ изъ № 10 Дневника XIII Съезда Русскихъ Естество-
испытателей и Врачей въ Тифлисъ.

~~2.93306~~

P 133323

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



133323

Жуковский Н.Е. Новые научные завоевания в

Типо-Литографія и переплетная

Т-ва „Либерманъ и К^о“.

Андреевская, 50, с. д.

М. Г. и М. Г.!

Покойный Д. И. Менделѣевъ указаль путь, по которому должна совершаться разработка труднаго вопроса о сопротивленіи жидкостей, Необходимъ, — писалъ онъ, — разумный и твердый опытъ, за которымъ поидеть теоретическая мысль, которая, направленная по вѣрному пути, сама поведеть за собою разработку вопроса. Теоретическая мысль въ первоначальной разработкѣ вопроса о сопротивленіи давала результаты несогласные съ дѣйствительностью. Струйная теорія Эйлера и ученіе о неразрывномъ невихревомъ потокѣ Кирхгоффа и Гельмгольца приводили къ парадоксальнымъ выводамъ объ отсутствіи силы сопротивленія жидкости движущемуся въ ней тѣлу и о невозможности для тѣла, погруженнаго въ жидкость, перемѣщаться посредствомъ воздѣйствія на жидкость. Приходилось для объясненія явленій сопротивленія жидкости придерживаться ударной теоріи Ньютона и Лёсса, въ которой оставалось безъ разсмотрѣнія, что дѣлается съ частицами жидкости послѣ удара ихъ о тѣло. Эта же теорія лежала въ основаніи расчета винтовъ по Ранкину, Буслею, Рузскому и др.

Обширный опытный матеріаль, даваемый судостроеніемъ, показаль недостаточность ударной теоріи, при чемъ совершенно невѣрнымъ оказался законъ квадратовъ синусовъ, изъ нея вытекающій. Выяснилось, что для судовъ съ хорошими обводами, съ которыхъ струи въ относительномъ движеніи не срываются, главнымъ факторомъ сопротивленія является треніе жидкости о стѣнки тѣла. Были произведены лабораторныя наблюденія Бофуа и Фруда надъ треніемъ жидкости о движущіяся въ ней доски и на основаніи этихъ опытовъ возникла такъ называемая *фрикціонная теорія сопротивленія*, главнымъ представителемъ которой явился Ранкинъ. Онъ принимаетъ, что движущееся въ жидкости тѣло окружено невихревымъ потокомъ, о которомъ писали Кирхгоффъ и Гельмгольцъ,

а къ самой поверхности тѣла прилегаеть тонкій завихренный слой жидкости, развивающій силу тренія, приблизительно пропорціональную квадрату скорости. Для тѣлъ съ рѣзко измѣняющимися обводами теорія Ранкина не приложима, и здѣсь для опредѣленія сопротивленія возникли двѣ теоріи: одна, опирающаяся на теорему Борда, и другая съ обстоятельной гидродинамической обработкой. Первая, называемая теоріею каналовъ, была предложена Понселе и Сень-Венаномъ. По ней, тѣло разсматривается какъ бы перемѣщающимся въ нѣкоторомъ идеальномъ каналѣ, стѣнки котораго отдѣляютъ возмущенную жидкость отъ покоящейся, при чемъ потеря энергіи струй, обтекающихъ въ относительномъ движеніи тѣло и вступающихъ въ медленно движущуюся жидкость за тѣломъ, опредѣляется по теоремѣ Борда. Вторая теорія была предложена Киргоффомъ и называется теоріею струй; она со всею строгостью относится къ такъ называемому плоско-параллельному потоку жидкости, т. е. къ жидкости, протекающей между двумя параллельными стѣнками (какъ это имѣеть мѣсто въ плоской аэродинамической галлерей Императорскаго Техническаго Училища) и обтекающей призматическія тѣла, образующія которыхъ перпендикулярны потоку. Теорія струй была разработана по отношенію къ плоскимъ пластинкамъ и къ клину въ сочиненіяхъ лорда Релейя, Митчеля, Бобылева, Мещерскаго, въ моей большой работѣ и въ сочиненіяхъ профессора Чаплыгина, посвященныхъ сопротивленію газовъ. Но теорія струй заключала въ себѣ невыполнимое требованіе затраты громадной энергіи для того, чтобы образовалась спутная масса жидкости, слѣдующая за плывущимъ тѣломъ. Предполагалось, что въ дѣйствительности Киргоффскія струи будутъ имѣть мѣсто только вблизи тѣла, а на нѣкоторомъ разстояніи отъ него относительный потокъ жидкости получить вслѣдствіе вязкости равномерное поступательное движеніе, обратное движенію тѣла.

Сила сопротивленія на наклонныя пластинки, опредѣляемая по методу Киргоффа, оказалась менѣе дѣйствительной.

Таково было состояніе теоріи сопротивленія до 1906 года, когда братья Райтъ и Сантосъ-Дюмонъ впервые поднялись на воздухъ на аппаратахъ болѣе тяжелыхъ, нежели воздухъ. Начиная съ этого времени воздухоплаваніе по своему побѣдоносному пути и достигло за семь истекшихъ лѣтъ блестящихъ результатовъ.

Искусные летчики поднимаются теперь на аэропланахъ на высоты до 5 километровъ и пролетаютъ по безостановочному 12 часовому пути пространство, достигающее 1000 километровъ. Практика значительно опередила теорію. Потребность въ рациональной конструкціи летательныхъ машинъ и расчета ихъ безопаснаго полета заставила построить многочисленныя аэродинамическія лабораторіи и производить въ нихъ тщательное изслѣдованіе вліянія воздушнаго потока на различныя формы моделей и изученіе дѣйствія воздушныхъ пропеллеровъ. Франція, Германія, Италия и Россія конкурируютъ другъ передъ другомъ результатомъ своихъ аэродинамическихъ наблюденій и накопляютъ тотъ твердый опытъ, который

позволить теоріи, по словамъ Д. И. Менделѣева, принять на себя руководящую роль въ разрѣшеніи вопросовъ по сопротивленію жидкостей. Это время теперь приближается. Протекшіе семь лѣтъ блестящаго развитія воздухоплаванія ознаменовались новыми завоеваніями въ теоріи сопротивленія жидкостей, указаніе на которыя составляетъ предметъ моей рѣчи. Они, по моему мнѣнію, заключаются въ слѣдующихъ трехъ пунктахъ: 1) Теоретическое объясненіе поддерживающей силы плановъ аэроплана съ помощью циркуляціи скорости. 2) Объясненіе лобового сопротивленія тѣлъ и пластинокъ образованіемъ за кормомъ убѣгающихъ вихрей, расположенныхъ въ шахматномъ порядкѣ; 3) Разработка вихревой теоріи гребного винта.

Во всѣхъ этихъ трехъ пунктахъ выдающуюся роль играетъ гидродинамическая величина, названная Томсономъ циркуляціей скорости по замкнутому контуру.

Эта величина аналогична работѣ, которую бы совершила на заданномъ контурѣ сила, равная скорости жидкости въ соответствующей точкѣ контура. Прямолинейный вихревой шнуръ, какъ извѣстно, вращаетъ жидкость со скоростью, убывающею въ обратномъ отношеніи разстоянію разсматриваемой точки отъ оси шнура, поэтому циркуляція скорости по окружностямъ, описываемымъ частицами жидкости, одинакова. Половиною этой циркуляціи измѣряется такъ называемое напряженіе вихревого шнура. Существуютъ теоремы Стокса и Томсона о циркуляціи; по первой теоремѣ циркуляція равна двойной суммѣ напряженій всѣхъ вихревыхъ шнуровъ, проходящихъ черезъ разсматриваемый контуръ, а по второй циркуляція скорости по замкнутому контуру, проходящему черезъ однѣ и тѣ же частицы жидкости безъ тренія, не измѣняется при движеніи этихъ частицъ. На эти теоремы опирается Гельмгольцевъ принципъ сохраненія вихрей, по которому въ жидкости безъ тренія не могутъ зародиться вихри, а имѣющіеся въ ней вихри должны сохраняться. Когда жидкость въ относительномъ движеніи подтекаетъ къ движущемуся тѣлу, тогда подплывающіе къ нимъ замкнутые контуры имѣютъ циркуляцію нуль, такъ какъ она въ отдаленіи отъ тѣла была нулемъ, и весь потокъ жидкости будетъ невихревой, при чемъ циркуляція скорости по всякимъ замкнутымъ контурамъ будетъ нуль. Но если тѣло цилиндрической формы движется, опираясь основаніями на двѣ параллельныя стѣнки, между которыми заключена жидкость, то для замкнутыхъ контуровъ, не охватывающихъ цилиндръ, циркуляція скорости относительнаго движенія будетъ, на основаніи приведеннаго выше разсужденія, по прежнему равна нулю; циркуляція же скорости по контурамъ, охватывающимъ цилиндръ, можетъ и не равняться нулю, такъ какъ такіе контуры могутъ сдѣлаться замкнутыми послѣ того, какъ ихъ концы проскользили по поверхности цилиндра, а вдали отъ цилиндра они были разомкнутыми. Полученное при этомъ плоскопараллельное движеніе жидкости не будетъ имѣть вихрей внутри жидкости, но

оно будетъ управляться прямолинейными вихревыми шнурами, заключенными въ цилиндрѣ. Такое движеніе называется невихревымъ движеніемъ съ циркуляціей. Оно возникаетъ тогда, когда вихревое движеніе безъ циркуляціи сопровождалось бы громадными скоростями на острыхъ краяхъ цилиндрическаго тѣла, напр., когда послѣднее имѣетъ видъ поддерживающихъ плановъ аэроплана. Легко усмотрѣть, что при невихревомъ движеніи съ циркуляціей развивается подъемная сила перпендикулярная къ относительному потоку жидкости. Въ отдаленіи отъ тѣла придется слагать поступательную скорость относительнаго потока жидкости со скоростью, сообщаемой вихревымъ шнуромъ, заключеннымъ въ тѣлѣ. Принимая потокъ горизонтальнымъ, набѣгающимъ на тѣло справа налѣво, а вращеніе вихря противъ стрѣлки часовъ, мы увидимъ, что скорости набѣгающей жидкости будутъ приподняты немного вверхъ, а скорости убѣгающей—будутъ опущены немного внизъ. Отъ обѣихъ причинъ на тѣло будетъ дѣйствовать сила снизу вверхъ. Я показалъ въ своемъ сочиненіи «О присоединенныхъ вихряхъ», что эта сила будетъ равна произведенію изъ плотности тѣла, циркуляціи и скорости поступательнаго движенія тѣла. Это теорема одинаково имѣетъ мѣсто и въ томъ случаѣ, когда поддерживающіе планы представляютъ нѣкоторую цилиндрическую поверхность. Для случая, когда планы даютъ въ сѣченіи дугу круга, подъемная сила была опредѣлена профессоромъ Кутта и независимо отъ него профессоромъ С. А. Чаплыгинымъ. Способъ опредѣленія подъемной силы и точки ея приложенія для различныхъ однопланныхъ и многопланныхъ контуровъ получилъ широкую математическую разработку въ дальнѣйшихъ трудахъ Чаплыгина, Кутта, моихъ, Блазиуса, Больтце, Блюменталя и др. Результаты этихъ работъ даютъ хорошее согласіе съ лабораторными изслѣдованіями. Такимъ образомъ вполне оправдалось на опытѣ заключеніе профессора Чаплыгина, что подъемная сила вогнутыхъ плановъ зависитъ не отъ ширины плановъ, а отъ стрѣлки ихъ прогиба, что указываетъ на рациональность узкихъ плановъ въ аэропланѣ Сикорскаго. Но до сихъ поръ мы говорили о плоскопараллельномъ потоцѣ жидкости, который непосредственно изслѣдуется въ аэродинамической лабораторіи И. Т. У. Для того, чтобы указанные результаты распространить на планы, имѣющіе открытые концы, слѣдуетъ воображаемый внутри плановъ вихрь выпустить изъ этихъ концовъ въ видѣ двухъ шнуровъ, направляющихся по струямъ сбѣгающей жидкости. Циркуляція скорости около такихъ вихревыхъ шнуровъ будетъ равна циркуляціи скорости по контурамъ, охватывающимъ поддерживающій планъ. Теоретическое указаніе на такіе спутные вихревые шнуры было дано Ланчестеромъ, Финстервальдеромъ, Чаплыгинымъ и Прандлемъ. Опыты въ круглой аэродинамической трубѣ И. Т. У. съ двумя вертушками, поставленными на пути струй, сбѣгающихъ съ концовъ плановъ, показали, что эти вертушки вращаются въ сторону плана для наблюдателя, глядящаго на его выпуклую сторону. Такимъ образомъ разъяснилась теоретически подъемная сила поддерживающихъ плановъ

аэроплана. Но указанный принцип невихревого движения съ циркуляціею не даетъ намъ лобового сопротивленія плановъ, т. е., не даетъ силы сопротивленія, направленной по относительному вѣтру.

Надъ моделями дирижаблей, которые должны быть отнесены къ тѣламъ съ хорошими обводами, были произведены многочисленныя наблюденія въ Геттингенской аэродинамической лабораторіи профессорами Прандлемъ и Фурманомъ. Кромѣ опредѣленія общей силы сопротивленія съ помощью динамометра, опредѣлялись еще манометромъ давленія воздуха въ каждой точкѣ модели, которая дѣлалась пустотѣлою съ дырками въ стѣнкахъ, при чемъ всѣ дырки, кромѣ одной, заклеивались бумажками. Графика давленій показала, что при хорошихъ обводахъ давленія, начиная отъ носа модели до кормы, совпадаютъ съ теоретическими величинами, даваемыми теоріей невихревого потока, на кормѣ же давленія меньше теоретическихъ. Вычитая изъ силы сопротивленія, опредѣленной динамометромъ, силу, опредѣленную по манометру, авторы нашли силу сопротивленія, близко совпадающую съ силою, опредѣленной по фрикціонной теоріи Ранкина. Такія же наблюденія въ цѣляхъ опредѣленія коэффиціента тренія воздуха производились въ Москвѣ Сорокоумовскимъ и Морошкинымъ. Коэффиціентъ тренія получался близкимъ къ тому, который опредѣлилъ Цамъ: около 0,0002, т. е., почти въ 800 разъ менѣе коэффиціента тренія воды. Это показываетъ, что треніе жидкостей о стѣнки при большихъ скоростяхъ зависятъ отъ ихъ плотностей, а не отъ ихъ вязкости, такъ какъ отношеніе приведенныхъ къ единицѣ массы коэффиціентовъ вязкости воды и воздуха есть 1:14. По всей вѣроятности, треніе жидкости о стѣнки при большихъ скоростяхъ имѣетъ своимъ источникомъ образованіе мелкихъ вихрей, сбѣгающихъ при хорошихъ обводахъ тонкимъ слоемъ за корму. Для тѣлъ съ дурными обводами, дающими срывъ струй со стѣнокъ тѣла, образуются вихри за кормою, столь отчетливо представленныя на фотографіяхъ Альборна и Д. П. Рябушинскаго. Проникнуть въ механизмъ лобового сопротивленія при образованіи вихрей удалось аахенскому профессору Карману. Работая еще въ званіи лаборанта вмѣстѣ съ профессоромъ Прандлемъ въ Геттингенской лабораторіи надъ вихрями на поверхности воды, образующимися за вертикальнымъ движущимся цилиндромъ, Карманъ замѣтилъ, что эти вихри располагаются всегда въ шахматномъ порядкѣ. Упомянутые вертикальные вихревые шнуры плывутъ согласно закону движения вихрей въ догонку за убѣгающимъ отъ нихъ цилиндромъ и уменьшаютъ въ относительномъ потокѣ жидкости скорость струй за кормою. Вслѣдствіе этого образуется потеря количества движения, по которой можно опредѣлить лобовое сопротивленіе. Изучая вопросъ съ помощью математическаго анализа, Карманъ доказалъ, что только шахматный порядокъ убѣгающихъ въ относительномъ движеніи вихрей даетъ устойчивое расположеніе ихъ, причемъ между разстояніями вихрей и ихъ напряженіемъ должно существовать нѣкоторое простое соотношеніе. Это позволило ему дать формулу лобового сопротивленія цилиндра, которая

съ точностью не соответствовала закону квадратовъ, но давала хорошее совпаденіе съ опытомъ. Здѣсь слѣдуетъ указать, что устойчивость шахматнаго порядка вихрей съ опытной стороны еще раньше Кармана указывалась Д. П. Рябушинскимъ при его опытахъ съ самоподдерживающимся качаніемъ маятниковъ, помѣщенныхъ въ потокѣ воды такъ, чтобы плоскость качанія была перпендикулярна движенію воды, и маятникъ представилъ пластинку, лежащую въ этой плоскости. Сбѣганіе образовавшихся за кормой вихрей въ такомъ случаѣ понятно. Но почему отбѣгаютъ они отъ неподвижнаго тѣла въ потокѣ жидкости? Въ своемъ выше упомянутомъ сочиненіи «О присоединенныхъ вихряхъ» я указывалъ на невихревой, плоскопараллельный потокъ жидкости, оббѣгающій пластинку, поставленную перпендикулярно къ потоку, съ образованіемъ за нею двухъ вихрей, вращающихся въ противоположныя стороны. Струи жидкости, срываясь съ краевъ пластинки, смыкаются на оси симметріи потока и охватываютъ вихри. Эти вихри, вообще говоря, будутъ двигаться, измѣняя весь потокъ жидкости; когда они отбѣгутъ на нѣкоторое разстояніе отъ пластинки, то струи жидкости, сбѣгающія съ краевъ, могутъ сомкнуться въ новомъ мѣстѣ и образовать между собою и пластинкою новое замкнутое пространство, въ которомъ разовьются новые вихри, и т. д. Къ сожалѣнію, послѣдовательный способъ образованія вихрей еще мало изученъ. Работы профессоровъ Прандля и Блазіуса, которые стремились получить это образованіе изъ послѣдовательнаго завихренія жидкости, прилегающей къ стѣнкамъ тѣла, не дали результатовъ, согласныхъ съ опытомъ, и я думаю, что источникъ образованія вихрей за тѣломъ съ дурными обводами связанъ съ образованіемъ замкнутыхъ пространствъ за кормой. Что касается до стационарныхъ вихрей, прилегающихъ къ обтекаемымъ пластинкамъ, которые обстоятельно изслѣдованы профессоромъ Чаплыгинымъ, то они, измѣняя подъемную силу, не даютъ лобового сопротивленія. Последнее получается только отъ движущихся вихрей. Въ своемъ сочиненіи «Поддерживающіе планы типа Антуанеттъ» я опредѣляю дѣйствіе убѣгающихъ вихрей, образующихся въ той точкѣ плановъ, гдѣ вслѣдствіе громадной скорости должно образоваться схождение струй, и получаю формулу, тождественную съ формулой лобового сопротивленія, данною Кутта.

Такъ какъ формула Кармана для лобового сопротивленія цилиндровъ не согласна съ закономъ квадратовъ скоростей, то можно ждать отъ распространенія теоріи убѣгающихъ вихрей на сопротивленіе шара (въ этомъ случаѣ надо разсматривать убѣгающія вихревыя кольца) объясненія парадоксальныхъ на первый взглядъ явленій, получаемыхъ при изученіи измѣненія силы сопротивленія шара со скоростью. На I-омъ Всероссійскомъ Воздухоплавательномъ Съѣздѣ Г. И. Лукьяновъ доложилъ свои опыты надъ уменьшеніемъ коэффиціента сопротивленія шара съ возрастаніемъ скорости въ предѣлахъ отъ 6 до 12 метровъ. Въ этомъ году Эйфель подтвердилъ опыты Лукьянова и обнаружилъ, что для шаровъ небольшихъ диаметровъ не только коэффиціентъ, но и самая величина лобового сопротивленія

уменьшается съ увеличеніемъ скорости. Это имѣетъ мѣсто для шарика въ 16 см. при измѣненіи скорости отъ 12 до 16 метровъ въ секунду. Напомню здѣсь, что подобный результатъ былъ найденъ В. А. Слесаревымъ для стоекъ аэроплана и доложенъ имъ на I-омъ Всероссійскомъ Воздухоплавательномъ Съѣздѣ.

Переходимъ къ третьему пункту отмѣченныхъ нами завоеваній въ теоріи сопротивленія жидкостей.

Съ точки зрѣнія Кирхгоффскаго невихревого потока, вращающійся въ жидкости винтъ, представляющій тѣло, обладающее винтовой симметрией, на которую указываетъ Ламбъ, перемѣщался бы въ жидкости, сохраняя, такъ называемую, импульсивную силу и пару. Если на массу такого тѣла по направленію оси винтовой симметріи, подѣйствуетъ нѣкоторая сила въ сторону, обратную перемѣщенію, то оно получитъ добавочное равноѣрно-ускоренное движеніе въ направленіи силы, какъ это было указано академикомъ Стекловымъ, и по прошествіи нѣкотораго времени начнетъ двигаться въ сторону силы, какъ бы она не была мала.

Получается теоретическій выводъ, совершенно несогласный съ дѣйствительностью. По этой причинѣ теоретическія изслѣдованія надъ гребнымъ винтомъ въ прежнее время имѣли свою опору почти исключительно въ ударной теоріи. За послѣднее время, въ виду накопившагося опытнаго матеріала въ лабораторіяхъ Эйфеля, Доранда, Рябушинскаго, Бендемана Крокко и Прандля, явились попытки поставить теорію винта на болѣе раціональномъ основаніи.

Расширилась теорія элементарнаго винта, построенная нашимъ соотечественникомъ С. К. Джевецкимъ. Онъ рассматриваетъ движеніе вырѣзки лопасти винта въ потокѣ жидкости между двумя соосными цилиндрами, при чемъ силу дѣйствія воздуха на такой элементарный винтъ опредѣляетъ съ помощью наблюденій надъ поддерживающими планами. Къ этой теоріи прикнули теоріи Рато, Тейлора, Сабинина и др.

Съ теоретической точки зрѣнія задача объ элементарномъ винтѣ въ потокѣ между двумя соосными цилиндрами есть задача о дѣйствіи плоскопараллельнаго потока на безконечно длинную рѣшетку. Съ точки зрѣнія Кирхгоффскихъ струй эта задача разрѣшена въ моемъ сочиненіи «Видоизмѣненіе метода Кирхгоффа», а съ точки зрѣнія теоріи Кутта она разрѣшена профессоромъ С. А. Чаплыгинымъ и доложена этою весною въ засѣданіи Математическаго Общества.

Въ случаѣ движенія пропеллера съ большою поступательною скоростью радіальная скорость частицъ жидкости незначительна сравнительно со скоростью поступательнаго движенія, и предположеніе о движеніи жидкости въ соосныхъ цилиндрахъ приближенно удовлетворяется; но рассматриваемая теорія дѣлается непримѣнимой для геликоптернаго винта. Наблюденія показали, что за винтомъ и надъ винтомъ жидкость движется по радіусу къ оси винта, какъ будто бы она вытекала черезъ отверстіе кружка ометаемаго лопастями винтовъ. Отсюда возникла теорія винта, основанная

на разсмотрѣніи струи, отбрасываемой винтомъ и примѣненіи къ ней общихъ формулъ динамики. Такова элементарная теорія винта, данная Финстервальдеромъ и Бендеманомъ.

Докторъ Кюммель построилъ линіи токовъ невихревого теченія жидкости, текущей въ безконечности съ постоянной скоростью и образующаго струю, опирающуюся на плоскость упомянутого кружка. Эти линіи пока близки къ тѣмъ, которыя даны Крокко въ его изслѣдованіяхъ надъ потокомъ воздуха, окружающаго вращающійся пропеллеръ. Но въ такомъ потокѣ не принято во вниманіе вращеніе жидкости въ струѣ винта.

Наибольшее значеніе, на мой взглядъ, для построенія рациональной теоріи винта имѣютъ фотографіи Фламма надъ расположеніемъ воздушныхъ пузырьковъ въ струѣ, отбрасываемой винтомъ. Эти пузырьки располагаются внутри винтообразныхъ вихревыхъ шнуровъ, сбѣгающихъ съ краевъ лопастей пропеллера, приблизительно въ направленіи послѣднихъ и по осевому вихревому шнуру, причемъ винтообразные вихревые шнуры вращаются со скоростью вращенія винта. Наблюденія Фламма дали основанія для моей статьи «Вихревая теорія гребного винта». Къ этой теоріи примыкаютъ работы Д. П. Рябушинскаго и В. П. Ветчинкина, и, поскольку мнѣ извѣстно, тѣмъ же вопросомъ въ настоящее время занимается и профессоръ Прандль. Откуда берутся вихри, которые появляются за винтомъ? Было бы ошибочно думать, что источникомъ ихъ является только треніе жидкости о стѣнки лопастей. По моему мнѣнію, здѣсь мы имѣемъ дѣло съ тѣмъ простымъ образованіемъ вихрей, на которое указываетъ творецъ теоріи вихрей — знаменитый Гельмгольць.

Если погрузить ложку въ чашку кофею и, немного придвинувъ ее горизонтально, вынуть вверхъ, то въ чашкѣ зарождается вихревое полукольцо, отмѣчаемое двумя воронками на поверхности кофея. Конецъ лопасти является такой ложечкой; на задней нерабочей сторонѣ ея образуются замкнутые контуры, по которымъ циркуляція скорости не равна нулю. Эти контуры, смыкаясь сбѣгающей жидкостью, питаютъ завихренною жидкостью вихревые винтовые шнуры. Точно также, лопасти винта сообщаютъ жидкости циркуляцію по замкнутымъ контурамъ, охватывающимъ ось винта, вслѣдствіе чего образуется осевой вихревой столбъ. Эти замкнутые контуры не могутъ образоваться изъ частицъ, которыя подошли къ винту въ видѣ замкнутыхъ контуровъ, такъ какъ, разрѣзаясь лопастями винта, онѣ болѣе не смыкаются въ замкнутые контуры.

Согласно теоремѣ Стокса, циркуляція скорости по контурамъ, охватывающимъ винтовые шнуры, равна циркуляціямъ по контурамъ охватывающимъ соотвѣтственныя лопасти, а суммы этихъ циркуляцій для всѣхъ лопастей равны по абсолютной величинѣ циркуляціи осевого столба. Получается такая же картина, какая была указана для поддерживающихъ плановъ: какъ будто внутри лопастей проходятъ вихревые шнуры, которые, выходя изъ ихъ концовъ, образуютъ винтовые вихри и осевой вихревой столбъ. Но для того, чтобы потокъ, создаваемый винтомъ, управ-

лялся указанными вихрями, лопасти винта должны имѣть определенную конструкцію, представляющую форму, суживающуюся къ концамъ. Такой винтъ даетъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ себя постоянную осевую скорость и является весьма выгоднымъ, какъ въ качествѣ геликоптернаго винта, такъ и въ качествѣ гребного. Мой ученикъ В. П. Ветчинкинъ далъ удобный способъ построения такого винта, и мы имѣемъ въ виду привести съ помощью его въ движеніе воздухъ въ строящейся теперь большой галлерей Императорскаго Техническаго Училища ($2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ мп.). Но когда винтъ отступаетъ отъ указанной формы, то, кромѣ упомянутыхъ вихревыхъ шнуровъ, развиваются въ струѣ, отбрасываемой винтомъ, безконечное множество вихрей, которые должны лежать въ поверхностяхъ тока относительнаго движенія, являющихся продолженіемъ поверхностей винтовыхъ лопастей, такъ какъ только при этомъ условіи не можетъ получиться замкнутыхъ контуровъ, охватывающихъ вихри, которые притекли изъ безконечности и не разрѣзались полостями винта. В. П. Ветчинкинъ изслѣдовалъ этотъ болѣе общій случай и показалъ возможность постановки вихревой теоріи для винтовъ произвольной формы.

На основаніи всего сказаннаго можно надѣяться, что приближается то время, когда направляемая твердымъ опытомъ теоретическая мысль сдѣлается хозяиномъ въ рѣшеніи вопросовъ о сопротивленіи жидкостей, когда аэропланы и дирижабли будутъ строиться съ такимъ же вѣрнымъ расчетомъ, съ какимъ теперь строятся пароходы и автомобили.

Заканчивая свою рѣчь, я хочу отмѣтить, что въ разработку вопросовъ о сопротивленіи жидкостей, какъ съ теоретической, такъ и съ практической стороны, внесли свою лепту и русскіе ученые, несмотря на то, что имъ приходится работать сравнительно въ невыгодныхъ условіяхъ: наши аэродинамическія лабораторіи только возникаютъ и обставлены, сравнительно съ западными, бѣдно, какъ со стороны оборудованія, такъ и со стороны наблюдателей; тогда какъ Франція, Германія и Италія имѣютъ теперь спеціальныя органы по научному воздухоплаванию; работы нашихъ лабораторій и ученыхъ или не печатаются, или же печатаются въ спеціальныхъ математическихъ журналахъ, вслѣдствіе чего остаются неизвѣстными заинтересованнымъ лицамъ въ Европѣ.

Позвольте высказать пожеланіе, чтобы у насъ возникъ органъ по научному воздухоплаванию, который было бы лучше издавать на иностранномъ языкѣ, и чтобы средства нашихъ аэродинамическихъ лабораторій стали въ соотвѣтствіе съ могуществомъ и творческими силами нашей родины.

