

ИЗВѢСТІЯ
Томскаго Технологическаго Института
ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.
Т. 18. 1910. № 2.

VI.

А. А. ШУТКОВЪ.

ОТЗЫВЪ О РАБОТАХЪ Инженеръ-механика А. МИЛОВИЧА
„Конструированіе лопатокъ турбины Фрэнсиса по способу проф.
Pfarr'a“ и „Опытъ теоріи всасывающей трубы“.

1—6.

Отзывъ о работахъ инженеръ-механика А. Миловича

„Конструированіе лопатокъ турбины Франсиса по способу проф. Pfaff'a“ и „Опытъ теоріи всасывающей трубы“, помѣщенныхъ въ «Бюллетеняхъ Политехническаго Общества» за 1906 и 1907 гг.

Турбина Франсиса по своимъ цѣннымъ качествамъ: высокому коэффициенту полезнаго дѣйствія, универсальности, компактности, быстроты и регулируемости, произвела переворотъ въ турбостроеніи, вытѣснила всѣ предшествующіе ей типы и сдѣлала возможнымъ то широкое распространеніе гидроэлектрическихъ установокъ, какое приходится констатировать за послѣдніе годы. Своимъ законченнымъ современнымъ видомъ и распространеніемъ турбина Франсиса обязана, главнымъ образомъ, знаменитому ея конструктору Pfaff'у, служившему раньше на первоклассномъ заводѣ Voith въ Heidenheim'ѣ, который первымъ въ Европѣ сталъ ихъ конструировать. вмѣстѣ съ этимъ, теорія гидравлическихъ двигателей, предшествовавшая появленію турбины Франсиса, не могла быть непосредственно примѣнена къ ея расчету, такъ какъ теорія средней струи,—и то рассматриваемой не во всемъ пути, а только въ трехъ точкахъ: выхода изъ направляющаго колеса, входа и выхода изъ рабочаго колеса,—была явно не примѣнима по слишкомъ рѣзкой разницѣ въ условіяхъ движенія крайнихъ струй. Болѣе же рациональной теоріи для расчета не было; теорія обычно не предшествуетъ, а лишь довершаетъ выработку рациональной конструкціи; поэтому расчетъ до появленія болѣе рациональнаго метода покоится пока на средней струйкѣ, но примѣняется къ элементарнымъ турбинамъ, получаемымъ отъ дѣленія всего пространства между ободьями рабочаго колеса и удовлетворяющимъ пропуску опредѣленнаго количества жидкости при одинаковыхъ условіяхъ отдачи работы. Такъ какъ всѣ струи имѣютъ одинаковыя условія—при вступленіи въ рабочее колесо, но различное—при выходѣ, то доминирующей скоростью при расчетѣ дѣлается скорость выхода изъ рабочаго колеса; относительно ея и дѣлались различныя предположенія при расчетѣ, а также существуетъ рядъ теоретическихъ изслѣдованій по этому вопросу. О томъ же, какой профиль давать лопаткамъ, оставалось неразработаннымъ; старая теорія заботилась о сохраненіи уг-

ловъ и уничтоженіи сжатія струи, очерчивая концы по винтовымъ линиямъ и по эвольвентамъ, и предписывала только для очертанія плавный переходъ угловъ и короткій путь для уменьшенія тренія. Все это, въ концѣ концовъ, не могло удовлетворить ищущей болѣе рациональнаго обоснованія теоріи. Гидродинамика, не принимавшая почти участія въ теоріи гидравлическихъ двигателей до конца XIX столѣтія, и послужила основаніемъ современной рациональной теоріи гидравлическихъ двигателей, еще не законченной, но уже много сдѣлавшей въ этомъ направленіи. Творцомъ ея является профессоръ Prásil при Цюрихскомъ Политехникумѣ. Онъ примѣнилъ къ изученію движенія частицы относительно вращающейся системы цилиндрическія координаты, принимая силу гнѣзности, поворотное и центробѣжное ускореніе за внѣшнія силы.

Кромѣ того, онъ сталъ искать не законъ движенія по формѣ стѣнки, а наоборотъ, давая то или другое условіе движенію, искать форму потока, поверхность потенциала скоростей, поверхность равныхъ скоростей и поверхность уровней. Въ его работахъ „Über Flüssigkeitsbewegungen in Rotationsholräumen“ и „Die Bestimmung der Kranzprofil und der Schaufelformen für Turbinen und Kreiselpumpen“, помѣщенныхъ въ «Schweizerische Bauzeitung» за 1903 и 1906 гг., рассмотрѣно достаточно много примѣровъ. Въ этой же области почти одновременно работалъ и Н. Lorenz; онъ въ своихъ статьяхъ пользовался также цилиндрическими координатами, но рассматривалъ не относительное движеніе, а абсолютное, давая внѣшнимъ силамъ такъ называемое принужденное ускореніе отъ профиля лопатокъ, принимая ихъ безконечно тонкими при безконечно большемъ числѣ ихъ, т. е. принимая условія на параллельныхъ кругахъ одинаковыми*). Въ томъ же журналѣ помѣщена полемика въ 1907 г. между Н. Lorenz'омъ и Prásil'емъ, не пришедшими, въ концѣ концовъ, къ соглашенію. Это указываетъ на то, почему такъ плохо усваивается теорія Prásil'я его слушателями, о чемъ упоминають г. Миловичъ, а также и г. Кржижановскій въ своемъ отчетѣ о заграничной командировкѣ. Изъ изслѣдованій обоихъ авторовъ, Prásil'я и Н. Lorenz'a, можно притти къ одинаковымъ выводамъ, принимая движеніе установившимся съ потенциаломъ скоростей, не производящимъ работы, при чемъ такое движеніе потока ведетъ къ опредѣленію или формъ всасывающей трубы, или концовъ лопатокъ, служащихъ для приданія струѣ одинаковыхъ направленій по отношенію къ оси вращенія.

*) Статя Н. Lorenz'a „Neue Grundlagen der Turbinentheorie“ помѣщена въ «Zeitschrift für das gesammte Turbinenwesen» за 1905 и 1906 годы.

Въ то время какъ на Западѣ происходилъ переворотъ въ воззрѣніяхъ по теоріи гидравлическихъ двигателей, и разрабатывался типъ турбины Франсиса, доведенной до совершенства, Россія продолжала изучать и пользоваться старой теоріей объ отжившихъ типахъ турбинъ. Въ 1900 году на промышленной выставкѣ въ Ригѣ была выставлена фирмой Пирвиць, построившей къ тому времени 343 турбины, какъ образцовая—турбина Жонваля, гдѣ лопатки были направлены подъ угломъ къ радіусу, о турбинахъ же Франсиса не упоминалось. Въ 1901 году, при посѣщеніи мною лучшихъ германскихъ и швейцарскихъ турбостроительныхъ заводовъ, мнѣ пришлось только на одномъ встрѣтить старый типъ турбинъ Жонваля и Жирара, на заводѣ Queva въ Эрфуртѣ, изготовляемыхъ специально для Россіи. Въ положеніи читаемыхъ курсовъ происходило то же самое—удѣлялось много мѣста изслѣдованію отживающихъ типовъ и почти не давалось никакихъ свѣдѣній о турбинахъ Франсиса. За послѣднее время произведена фирмой Voith недалеко отъ Эссентуковъ гидравлическая установка съ подводнымъ каналомъ около 1 версты длиной. Поставлены двѣ спиральныя горизонтальныя турбины Франсиса по 500 силъ каждая съ автоматическимъ регулированіемъ гидравлическимъ сервомоторомъ; турбины непосредственно сцѣплены съ динамо-машиной. Установка достойна вниманія и должна вызвать интересъ и подражаніе.

Авторъ труда, предложеннаго мнѣ для отзыва Механическимъ Отдѣленіемъ Томскаго Технологическаго Института, г. Миловичъ, является почти первымъ,—если не считать атласа профессора Астрова, удѣлившаго много мѣста конструкціямъ и установкамъ турбины Франсиса,—опубликовавшимъ свои работы, посвященныя турбинѣ Франсиса и органу, пріобрѣвшему особый интересъ въ примѣненіи къ ней,—это всасывающая труба. Авторъ слушалъ такихъ корифеевъ современнаго турбостроенія и его идеологовъ, какъ Pfarr и Prásil, и является прямымъ ихъ послѣдователемъ. Первая его работа „Конструкція лопатокъ турбины Франсиса по способу Pfarr'a“, какъ видно по самому заглавію, является только сообщеніемъ, заполняющимъ существующій пробѣлъ въ читаемыхъ въ Россіи курсахъ; слѣдовательно, въ ней авторъ и не претендуетъ на самостоятельность. Тѣмъ не менѣе, авторъ, благодаря введенію способа Prásil'я, освѣщаетъ теченіе въ рабочемъ колесѣ турбины Франсиса и даетъ средство къ корректированію колеса, отступающаго отъ простѣйшаго профиля.

Кардинальной работой автора является теорія всасывающей трубы, основанная на гидродинамической теоріи теченія потока жидкости: авторъ преобразуетъ уравненіе движенія Эйлера при установившемся

состояніи, уравненіе неразрывности и несжимаемости и компоненты вихря изъ Декартовыхъ координатъ въ цилиндрическія. За внѣшнія силы при этомъ принимаетъ силу, имѣющую потенциалъ. Общія уравненія автора разнятся отъ общихъ уравненій Prásil'я и Н. Logenz'a, такъ какъ у названныхъ авторовъ внѣшнія силы зависятъ отъ скоростей и будутъ потенциальными въ томъ случаѣ, когда существуетъ потенциальная функція скоростей.

Такимъ образомъ, уравненія, съ которыми оперируетъ авторъ, отличаются отъ уравненій Prásil'я и включаютъ лишь то, что можно считать вполне неоспоримымъ, принимая во вниманіе пренія гг. Prásil'я и Н. Logenz'a.

Въ дальнѣйшемъ авторъ рассматриваетъ движеніе невихревое, для котораго существуетъ потенциалъ скоростей,—тогда уравненіе неразрывности и несжимаемости служитъ къ опредѣленію функціи потенциала скоростей, служащей къ опредѣленію скоростей, а слѣдовательно къ опредѣленію линій или струй потока и поверхностей равныхъ скоростей; изъ уравненія же Д. Бернулли, имѣющаго при этомъ мѣсто, опредѣляется распределенное давленіе въ потокѣ,—такова схема пользованія дифференціальными уравненіями гидродинамики. Дѣлая дальнѣйшія допущенія, а именно отсутствіе касательной скорости, и давая при этомъ два простѣйшихъ рѣшенія дифференціальныхъ уравненій неразрывности, первое рѣшеніе—движеніе воды по цилиндрической вертикальной трубѣ—авторъ назвалъ I теченіемъ; второе рѣшеніе—движеніе жидкости, названное II теченіемъ, рассмотрѣнное Prásil'емъ,—весьма интересный случай, въ которомъ потенциалъ функцій скорости и линіи потока, поверхности равной скорости и поверхности уровня просто выражаются и не совпадаютъ. Этотъ же случай рассмотрѣнъ въ первой статьѣ автора для очертанія ободьевъ колеса Франсиса, гдѣ онъ приведенъ для выясненія истинныхъ явленій при движеніи жидкостей между ободьями турбины Франсиса.

Н. Logenzъ даетъ очертаніе турбины Франсиса также согласно этому движенію, но Prásilъ съ гидродинамической точки зрѣнія, и V. Kaplanъ съ конструктивной отрицаютъ рациональность такого очертанія. Далѣе авторъ рассматриваетъ по той же схемѣ плоское движеніе, выраженное въ Декартовыхъ координатахъ, и получаетъ аналогичное рѣшеніе, подобное II теченію, названное авторомъ III теченіемъ. Затѣмъ авторъ, при изслѣдованіи этихъ теченій, опредѣляетъ параметры въ зависимости отъ расхода, опредѣляетъ геометрически мѣсто minimum скорости, а также maximum давленія и даетъ графическое построеніе распределенія давленій и затрачиваемой энергіи по вертикальной оси.

При приложеніи авторомъ разсмотрѣнныхъ трехъ теченій къ дѣйствительному выполнению всасывающихъ трубъ, имъ указывается также наиболѣе рациональный въ каждомъ случаѣ способъ отвода жидкости въ бассейнъ. Для цилиндрической трубы авторъ предполагаетъ наиболѣе рациональнымъ имѣть бассейнъ безконечной глубины и поверхности, относя къ этому случаю всѣ явленія I-го теченія, и рассматриваетъ графическое распределение давленія по вертикальной оси, принимая во вниманіе треніе жидкости о стѣнку. При всасывающей трубѣ, согласно II-му теченію, въ такъ называемой турбинѣ профессора Prásil'я, авторъ предполагаетъ, что отводъ воды долженъ происходить въ бассейнъ конечной глубины и безконечной поверхности, приводитъ всѣ результаты изслѣдованія теоріи II теченія, строитъ распределение давленія по оси трубы, удѣляетъ большое вниманіе переходу жидкости изъ всасывающей трубы въ бассейнъ и находитъ вполне рациональнымъ рекомендовать употребленіе при этомъ растреба. Это же II теченіе авторъ примѣняетъ и къ тому случаю, когда жидкость отводится въ бассейнъ, ограниченный съ двухъ сторонъ вертикальными стѣнками, сходящимися подъ угломъ; этотъ случай является наиболѣе рациональнымъ и разработанъ авторомъ самостоятельно, такъ же, какъ и случай отвода водъ въ бассейнъ конечной глубины съ двумя или тремя плоскими вертикальными стѣнками, основанный на изученіи III-го теченія, предложеннаго самимъ же авторомъ, и являющійся въ примѣненіи ко всасывающимъ трубамъ наиболѣе рациональнымъ.

Затѣмъ авторъ переходитъ къ изученію теченія при условіи существованія вращательнаго движенія въ трубѣ, при чемъ касается 2-хъ случаевъ, первый — при отсутствіи компонента вихря около вертикальной оси; этотъ случай разсмотрѣнъ также у Prásil'я, но авторъ его разбираетъ нѣсколько подробнѣе; и второй случай винтового движенія жидкости, когда линіи вихря совпадаютъ съ линіями потока. Второй случай авторъ рассматриваетъ въ Декартовыхъ координатахъ, при условіи независимости скорости и энергіи отъ координатъ вертикальной оси z и постоянномъ отношеніи компонентовъ вихрей къ соответствующимъ скоростямъ, — получаетъ дифференціальныя уравненія скоростей въ зависимости отъ координатъ x и y ; переходя къ цилиндрическимъ координатамъ и принимая рациональную скорость равной нулю, приходитъ къ двумъ уравненіямъ для опредѣленія скоростей по касательной и оси Z въ зависимости отъ радіуса r , рѣшаемыя при помощи Бесселевыхъ функций. На основаніи этого изслѣдованія авторъ проводитъ анализъ дѣйствительнаго теченія во всасывающей трубѣ и приходитъ къ заключенію, что явленіе теченія жидкости во всасывающей трубѣ не

совпадаетъ съ установившимся вращеніемъ, какъ предполагаетъ Prásil, а является болѣе близкимъ къ винтовому; но тѣмъ не менѣе оба случая требуютъ, для избѣжанія образованія пониженнаго давленія около оси въ трубѣ, слѣдствіемъ чего образуется воронка и послѣдуетъ выдѣленіе воздуха, лучше заполнять осевое пространство нѣкоторымъ тѣломъ вращенія.

Въ заключеніе краткаго изложенія содержанія статьи, я считаю долгомъ указать, что плоское движеніе, названное авторомъ III теченіемъ, и примѣненіе его къ всасывающей трубѣ съ примѣненіемъ рас-труба является, по моему мнѣнію, наиболѣе раціональнымъ, а также винтовое движеніе, по аналогіи его съ явленіемъ движенія въ всасывающей трубѣ, является самостоятельнымъ изслѣдованіемъ автора. Какъ въ этомъ, такъ и во всемъ остальномъ, авторъ показалъ свое умѣніе прекрасно владѣть математическимъ анализомъ, свое широкое знакомство съ гидродинамикой и съ наиболѣе труднымъ ея отдѣломъ—теоріей вихрей. Въ упрекъ надо поставить автору его непопулярное изложеніе, которое сдѣлало его статью, столь интересную по содержанию, мало доступной среди широкаго круга инженеровъ.

А. А. Шутковъ.

24-го января 1908 года.
