

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

V.

А. И. Астровъ.

ПО ПОВОДУ РАБОТЪ Инженеръ-механика А. Я. МИЛОВИЧА
„Конструированіе лопатокъ турбины Фрэнсиса по способу проф.
Pfarr'a“ и „Опытъ теоріи всасывающей трубы“.

1—5.

По поводу работ инженеръ-механика А. Я. Миловича

«Конструированіе лопатокъ турбины Фрэнсиса по способу профессора Pfaff'a»*) и «Опытъ теоріи всасывающей трубы»**).

Уже много лѣтъ ощущается недостаточная обоснованность теоріи водяныхъ турбинъ, принужденной уподоблять теченіе всей массы воды, пропускаемой двигателемъ, теченію одной „средней“ струйки. Всѣ попытки расчленивъ движущуюся массу жидкости на отдѣльныя струи исходили изъ предположенія о полномъ отсутствіи взаимодѣйствія ихъ между собой, какъ въ смыслѣ внутренняго тренія, такъ и въ смыслѣ деформациі всей массы. Такая принципиально неправильная постановка теоріи водяныхъ турбинъ стоитъ въ полномъ соотвѣтствіи со способомъ трактованія большинства вопросовъ гидравлики и является слѣдствіемъ ограниченнаго круга вопросовъ, изучаемыхъ гидродинамикой, большой сложности анализа, ею примѣняемаго, и все-таки необходимости вносить чисто эмпирическія поправки въ ея выводы. За послѣдніе годы появились попытки примѣненія уравненій гидродинамики къ теоріи турбинъ. Эти попытки были сдѣланы сначала профессоромъ Пражилемъ (Цюрихъ) и нѣсколько позднѣе профессоромъ Гансомъ Лоренцомъ (Данцигъ), очень сходныя между собою по методу изслѣдованія, хотя и имѣющія нѣкоторыя существенныя различія. Обѣ разсматриваемыя работы г. Миловича, и въ особенности вторая, должны быть отнесены къ продолженію подобнаго рода попытокъ. При этомъ слѣдуетъ отмѣтить, что работы профессора Лоренца, хотя и появились въ 1905 году, остались однако повидимому неизвѣстными г. Миловичу, по крайней мѣрѣ онъ объ нихъ не упоминаетъ. Разсмотрѣніе названныхъ выше работъ начнемъ со второй.

Въ основныхъ чертахъ эти работы г. Миловича представляютъ переработку статьи профессора Прожиля „Über Flüssigkeitsbewegungen in Rotationshöhlräumen“***), дополненную нѣкоторыми самостоятельными изслѣдованіями и соображеніями. Общій ходъ мысли таковъ. Допускается, что движеніе жидкой неразрывной массы— 1) не вихревое и 2) вполнѣ симметрично относительно вертикальной оси, такъ что для

*) Бюл. Пол. Общества, 1906 г., №№ 1 и 2.

***) Тамъ же, 1907 годъ, № 1.

***) Schweiz. Bauzeitung, 1903, Bd. XLI.

всѣхъ частицъ, лежащихъ въ плоскости перпендикулярной къ оси на одинаковомъ отъ нея разстояніи, всѣ обстоятельства движенія одинаковы. Помощью уравненій гидравлики, преобразованныхъ въ цилиндрическихъ координатахъ, разсматриваются какъ линіи токовъ, такъ и поверхности равныхъ потенціаловъ скоростей, равныхъ скоростей и т. д. Въ отличіе отъ Пражиля, г. Миловичъ дополняетъ это разсмотрѣніе изученіемъ поверхностей равнаго давленія. Это добавленіе является существеннымъ, и авторъ имъ пользуется ниже въ вопросѣ о раструбѣ. Исходя далѣе изъ предположенія объ отсутствіи какъ внѣшняго, такъ и внутренняго тренія, устанавливается положеніе, что если жидкость будетъ течь внутри сосуда, стѣнки котораго представляютъ поверхность, составленную изъ непрерывно слѣдующихъ другъ за другомъ линій тока разсмотрѣннаго теченія, то дѣйствительное ея теченіе не будетъ отличаться отъ изученнаго, если при томъ выполнены условія входа и выхода въ такой сосудъ, отвѣчающія этому теченію. Если при этомъ профессоръ Пражилъ (въ появившейся въ печати работѣ), а также и профессоръ Лоренцъ ограничиваются указаніемъ на сосуды, представляющіе тѣла вращенія съ осью, совпадающей съ осью теченія, и съ меридіаномъ, совпадающимъ съ одной изъ линій тока, то г. Миловичъ совершенно резонно распространяетъ это заключеніе на рядъ другихъ возможныхъ формъ, которыя вообще могутъ быть получены путемъ выдѣленія изъ теченія любого пучка линій тока, хотя бы и лежащихъ по одну сторону оси теченія, лишь бы были удовлетворены условія входа и выхода. Такимъ путемъ является возможность строго опредѣлить форму весьма распространенныхъ въ настоящее время изогнутыхъ и непрерывно уширяющихся бетонныхъ всасывающихъ трубъ. Критикуя форму всасывающей трубы профессора Пражиля, т. е. симметричную относительно оси теченія, авторъ вмѣстѣ съ профессоромъ Пфарромъ, совершенно правильно отмѣчаетъ, что такая труба была бы хороша, если бы изъ подъ нея вода могла утекать во всѣхъ радіальныхъ направленіяхъ, что въ дѣйствительности боковыя стѣнки отводящаго канала обыкновенно не допускаютъ. Однако предлагаемый имъ приѣмъ очертанія всасывающей трубы въ видѣ пучка линій тока, эксцентричнаго относительно оси теченія, улучшенный по сравненію съ трубою профессора Пражиля въ смыслѣ вытеканія изъ нея, уступаетъ послѣдней въ смыслѣ несоблюденія условій входа: если представляется болѣе или менѣе вѣроятнымъ и осуществимымъ предположеніе, что вода, покидая колесо турбины, всегда выполняемое какъ тѣло вращенія, движется по поверхностямъ вращенія же, то гораздо менѣе вѣроятно допущеніе, что при выходѣ изъ колеса будетъ имѣть мѣсто то имен-

но распредѣленіе скоростей, давленій и проч., которое необходимо для выбираемаго эксцентричнаго пучка линій тока. Введеніе цилиндрической трубы въ видѣ перехода отъ колеса всасывающей трубы вѣроятно не всегда будетъ достаточно, чтобы выразить эти несоотвѣтствія. Во всякомъ случаѣ надлежало бы выяснитъ надлежащую ея длину. Тотъ же пріемъ—изслѣдованіе теченія и опредѣленіе соотвѣтствующей ему формы теченія г. Миловичъ примѣняетъ къ другому—плоскому теченію жидкости и получаетъ такимъ образомъ всасывающую трубу, заключающуюся между двумя параллельными и вертикальными плоскостями, весьма удобную для выполненія изъ бетона. Мнѣ не извѣстно, чтобы въ печати кто либо давалъ такое разсмотрѣніе въ примѣненіи къ всасывающимъ трубамъ.

Во всѣхъ случаяхъ авторъ удѣляетъ большое вниманіе мѣсту перехода теченія изъ всасывающей трубы въ отводящій каналъ, подсчитываетъ потерю энергіи, этимъ вызываемую, и пытается установить нѣкоторыя нормы для правильнаго выполненія этой части турбинной установки. Въ силу сложности вопроса—нахожденіе формы раструба, наименѣе нарушающей основное теченіе и въ тоже время достаточно приближающей его къ условіямъ движенія въ отводящемъ колесѣ, по крайней мѣрѣ въ смыслѣ распредѣленія давленій—все разсмотрѣнное, хотя и идетъ гораздо дальше указаннаго профессоромъ Пражилемъ, но далеко не имѣетъ того стройнаго и законченнаго характера, какимъ оно отличается при изученіи самаго теченія. Благодаря этому здѣсь особенно нельзя не согласиться съ авторомъ, когда онъ говоритъ, что вся теорія нуждается въ опытной провѣркѣ.

Въ концѣ разбираемой работы авторъ разсматриваетъ случай вращательнаго, но не вихреваго движенія въ трубѣ (нѣсколько иначе, чѣмъ тотъ же случай разсмотрѣнъ въ работѣ профессора Пражиля) и одинъ случай вихреваго движенія въ трубѣ, именно, когда линіи вихрей совпадаютъ съ линіями тока. Послѣднимъ разсмотрѣніемъ авторъ пользуется для объясненія того обстоятельства, что въ смѣшанныхъ турбинахъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія мало измѣняется, не смотря на широкіе предѣлы измѣненія расхода. Этому обстоятельству, которое авторъ называетъ „устойчивостью коэффициента полезнаго дѣйствія“, онъ удѣляетъ также вниманіе въ первой изъ упомянутыхъ въ заголовкѣ этой замѣтки статей; поэтому мое мнѣніе по этому поводу я укажу тоже при разборѣ этой статьи.—Наконецъ послѣднія страницы работы о всасывающихъ трубахъ посвящены ряду интересныхъ аналогій между разсмотрѣнными теченіями капельной жидкости и формами рупоровъ.

Первая работа г. Миловича—о конструированіи колесъ Франсиса—въ значительной мѣрѣ менѣе самостоятельна нежели предыду-

щая и представляет сначала нѣсколько соображеній въ пользу примѣнимости одного изъ вышеуказанныхъ теченій къ профилированію ободьевъ турбинныхъ колесъ (по мысли профессора Пражиля), а главнымъ образомъ обстоятельно и довольно подробно излагаетъ правило проектированія и выясненія формы лопатокъ колеса, примѣняемая профессоромъ Пфарромъ, однимъ изъ крупнѣйшихъ авторитетовъ въ дѣлѣ построенія турбинъ. Толковое и ясное изложеніе этого приѣма, весьма нагляднаго и довольно простаго, нельзя не поставить въ заслугу г. Миловичу передъ нашей технической литературой. Если о чемъ можно пожалѣть, такъ это объ отсутствіи въ статьяхъ иллюстраціи этого приѣма примѣромъ конструированія нормальнаго и быстроходнаго колеса (данъ примѣръ только для тихоходнаго типа). Если бы эти примѣры были даны г. Миловичемъ, то можетъ быть это заставило бы его не такъ настойчиво утверждать, что поверхность, въ которой располагаются выпускные кромки лопатокъ колеса, должна быть выбираема какъ поверхность равнаго потенциала скоростей въ теченіи съ одной осью симметріи. Самое это пробованіе въ первой части этой статьи не очень убѣдительно объясняется исключительно желаніемъ примѣнять уравненіе расхода безъ введенія множителя, характеризующаго уголъ отклоненія абсолютной скорости отъ нормали къ этой поверхности; между тѣмъ выполненіе этого требованія въ нормальной турбинѣ, а особенно—въ быстроходной, почти невозможно и во всякомъ случаѣ приводитъ къ очень длиннымъ лопаткамъ. Я полагаю, что авторъ былъ бы болѣе правъ, если бы разрѣшала этотъ вопросъ въ менѣе категорической формѣ, оставляя и его разрѣшеніе до экспериментальной провѣрки.

Что касается первой части этой работы, то приходится ее скорѣе разсматривать какъ введеніе или дополненіе къ выше разобранной статьѣ о всасывающихъ трубахъ: вмѣстѣ съ послѣдней она стоитъ въ тѣсной связи, тогда какъ ея отношеніе къ построенію колеса по Пфарру только внѣшнее и въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже противорѣчивое. Попытку автора разъяснить это противорѣчіе возраженіемъ на возраженіе профессора Эшера*) нельзя назвать убѣдительною: признавая, что форма ободьевъ колеса способна измѣнить величины скоростей, хотя бы онѣ оказывались равными, принимая во вниманіе вліяніе центробѣжной силы, авторъ почему то не допускаетъ того, что и центробѣжная сила въ свою очередь должна измѣнить ту форму поверхности потенциала скоростей, которая получается безъ вліянія эффекта вращенія жидкости съ колесомъ.

*) См. стр. 24 отдѣльнаго оттиска.

Вообще авторъ быть можетъ нѣсколько чрезмѣрно оцѣниваетъ значеніе теоретическихъ выводовъ въ дѣлѣ конструированія колесъ турбинъ. Такъ на примѣръ, объясняя, какъ отмѣчено выше, въ обоихъ работахъ явленіе „устойчивости коэффициента полезнаго дѣйствія“ турбины Франсиса, авторъ останавливается исключительно на разсмотрѣнныхъ имъ формахъ теченія и совершенно не касается такого важнаго фактора, какъ конструкція регулирующаго органа турбины, имѣющаго въ этомъ именно вопросѣ весьма существенное значеніе: турбины съ цилиндрическими щитами, какъ извѣстно, не обнаруживаютъ той устойчивости, которая замѣчается при направляющихъ аппаратахъ Финка, Цодея и т. под.

Оставляя однако въ сторонѣ это, въ сущности понятное увлеченіе теоретическими выводами, особенно въ виду не разъ высказываемаго авторомъ мнѣнія, что эти выводы подлежатъ строгой научно-экспериментальной провѣркѣ, оставляя также въ сторонѣ нѣкоторую неполноту практическихъ данныхъ и указаній по конструированію колесъ, такъ какъ они не вполне входятъ въ задачу статьи, необходимо признать въ работахъ г. Миловича крупныя достоинства, которыя можно формулировать такъ:

1) Статьи эти представляютъ весьма обстоятельное, ясное и сравнительно простое изложеніе теоріи Пражиля, весьма удачно дополненное критикой практическихъ предложеній этого автора, распространеніемъ на приемы не новыя теоретически, но практически употребительныя формы изогнутыхъ всасывающихъ трубъ и разсмотрѣніемъ плоскаго теченія, также снабженнаго указаніемъ на его практическую примѣнимость.

2) Совершенно правильно поднятъ и поставленъ, хотя и не рѣшенъ вопросъ о раструбѣ всасывающей трубы, т. е. о мѣстѣ перехода теченія изъ трубы въ отводящій каналъ.

3) Обѣ статьи представляютъ несомнѣнно самостоятельную обработку всего матеріала, что видно изъ простаго сличенія статей автора съ цитируемыми имъ источниками.

4) Нельзя, наконецъ, не отмѣтить, что изъ обѣихъ статей видно, что авторъ достаточно свободно владѣетъ аппаратомъ математическаго анализа.

Въ заключеніе могу только пожелать, чтобы авторъ, несомнѣнно показавшій обѣими работами способность и охоту къ самостоятельнымъ изслѣдованіямъ, былъ поставленъ въ такія условія, которыя позволили бы ему какъ продолжать его изслѣдованія, такъ и подвергнуть ихъ экспериментальной провѣркѣ.

Ад.-проф. Ал. Астровъ.