

Проскура Георгий Федорович

Водяные турбины

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
Г36

Г36 **Георгий Федорович П.**
Водяные турбины / Проскура Георгий Федорович – М.: Книга по Требованию, 2024. –
327 с.

ISBN 978-5-519-79678-1

ISBN 978-5-519-79678-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO 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.

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ.

r_1 — входной радиус рабочего колеса;	} Фиг. 33, стр. 80.
b'_1 — ширина колеса при входѣ;	
b_2 — ширина колеса при выходѣ;	
r_{s1} — радиус всасывающей трубы у колеса;	
r_s — радиусъ въ концѣ всасывающей трубы;	
$\frac{r_1}{r_s} = \xi$ — относительный входной радиус рабочего колеса.	
$\frac{b_1}{r_1} = \mu$ — относительная ширина рабочего колеса при входѣ;	
s — толщина лопатки;	
t — шагъ „	
ψ — коэфф. стѣсненія;	
H — напоръ;	
ρ — степень реакціи;	
ε — коэфф. расширения всасывающей трубы;	
ζ — коэфф. тренія воды;	
v — абсолютная скорость воды;	} Фиг. 32, стр. 74.
v' — относительная „ „ ;	
u — вращательная „ „ ;	
α_0 — выходной уголъ лопатокъ направляющаго аппарата;	
α_1 — входной уголъ лопатокъ рабочего колеса;	
α_2 — выходной „ „ „ „ ;	
K_u, K_v — коэфф. скоростей u, v ;	

О Г Л А В Л Е Н І Е.

	СТР.
Введеніє. Выводъ основнаго уравненія гидравлики	1
Нетеченіє воды изъ отверстій	6
Движеніє воды въ круглой трубѣ	7
Движеніє не равномерное	12
Потеря энергіи отъ гидравлическаго удара	15
Возможность превращенія энергіи воды въ механиче- скую работу	16
Глава I. Введеніє	18
Выводъ основнаго ур. движенія воды въ каналахъ '	20
Диаграмма Г. Неггманна	24
Гидравлическій коэфф. пол. дѣйствія турбины	29
Характеристическіе коэффиціенты	32
Глава II. Типы турбинъ	38
Комбинированныя турбины	43
Глава III. Опредѣленіє размѣровъ осевой турбины	45
Профилированіє каналовъ рабочаго колеса	48
Методъ конформныхъ изображеній	59
Профилированіє лопатки турбины, пользуясь методомъ конформныхъ изображеній	67
Глава IV. Радіальныя турбины (общія соображенія)	71
Разсчетъ тихоходныхъ турбинъ	77
„ нормальныхъ „	83 (88)
„ быстроходныхъ ' „	92 (97)
Вліяніє $K_{тн}$, φ , B и φ на степень быстроходности турбины	101
Работа турбины при перегрузкѣ	105
Глава V. Профилированіє радіальныхъ турбинъ	107
Глава VI. Гидродинамика водяныхъ турбинъ:	
1) Условіє непрерывности	127
2) Циркуляція, вихрь	128
3) Ур. движенія жидкости	130
4) Теорема Thompson'a. Принципъ сохраненія вихрей	131
5) Преобразованіє ур. гидродинамики въ цилиндрическихъ координатахъ	133
6) Потенціальное движеніє	137
7) Уравненіє энергіи	140
<i>Гидродинамическая теорія турбины:</i>	
1) Полость вращенія, снабженная лопатками	141
2) Ур. поверхности лопатки	148

3) Кривыя (σ_n, r). Распределение давлений на поверхности лопаток	145
4) Изслѣдованіе условія непрерывности потока воды въ каналахъ турбины	148
5) Кривыя (σ_n, r). Распределение давлений на поверхности лопатки (другой способъ изложенія)	153
6) Опредѣленіе компонентъ вихря	155

Примѣненіе ур. гидродинамики турбинъ:

1) Турбина Lengen'a $\Delta_n = 0$:	
I. Случай $\Delta_1 = 0$	156
II. „ $\Delta_1 \neq 0, \Delta_2 \neq 0$	158
2) Общій случай	163
3) Приближенный способъ профилированія каналовъ турбины	165
Глава VII. Направляющій аппаратъ	169
Глава VIII. Подводъ воды къ турбинѣ и отводъ воды отъ нея:	
1) Колодезь открытыхъ турбинъ	184
2) Спираль	189
3) Вращающаяся труба	202
4) Трубопроводъ	207
Глава IX. Работа турбины при отклоненіи отъ нормальныхъ условій работы	211

Глава X. Осевое давленіе и разгрузка его:

1) Гидростатическое давленіе	237
2) Гидродинамическое давленіе	245
3) Особые средства разгрузки	247
4) Величина разгрузочныхъ отверстій	247
Глава XI. Активные турбины:	
Общая соображенія	252
I. Радіальная турбина	253
II. Осевая турбина	257

Расчетъ и профилированіе активныхъ турбинъ:

1. Турбина Schwanckrug'a	261
II. „ Zuppingera	270
Опредѣленіе расширенія каналовъ	272
Расчетъ и профилиров. колесъ Pelton'a	277
Направляющій аппаратъ активныхъ турбинъ	289

ОПЕЧАТКИ I-й части.

Страница	С т р о к а		Должно быть
	сверху	снизу	
17	2	—	$L = M \cdot \omega$
21	—	4	$v'^2_2 - v'^2_1 = \dots$
52	—	1	$2g$
86	—	9	$tg\alpha_2$
—	—	10	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \psi_2$
103	—	2	$n, \frac{1}{2} = \dots$
115	—	1	$\frac{\pi}{Z_1} < \dots$
—	—	6	$Z_1 \cdot l_1 > \frac{\pi \cdot B \cdot V}{\dots} = \pi \cdot 0,25$
118	—	8	$\sin \alpha > \frac{B_z}{\dots}$
			$V \dots \left(1 + \frac{\pi}{Z_1} \right) \dots$
121	2	—	$Z_1 \cdot l_1 > \frac{\pi \cdot B \cdot V}{\dots}$
124	15	—	O_1
129	—	8	Векторъ $A_x \dots$
—	—	12	Будемъ изображать величину $A_x \dots$
139	2	—	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{фиг. 51.}$
—	10	—	$\dots (104')$
142	—	10	$\Delta p = - \frac{\gamma}{g} \frac{2\pi}{Z} \dots$
146	—	5	$H_1 > \dots$
150	—	11	$\dots r_1 = 0,615 \dots$
152	8	—	закрытомъ
176	—	2	$0,86 \rho^2 = \dots$
205	—	12	$\dots \text{трубы} < \text{свечи} \dots$
207	7	—	

Введение.

Вывод основного уравненія гидравлики

Вода движется въ трубкѣ ab (фиг. 1а), которая связана съ вертикальной осью z и вращается вокругъ нея съ постоянной угловой скоростью ω .

Дѣлаемъ слѣдующія допущенія:

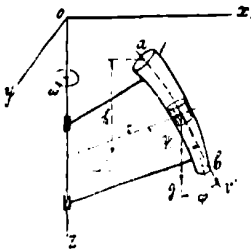
1. вода движется, не испытывая вредныхъ сопротивленій;
2. въ каждомъ сѣченіи трубы скорость не измѣняется съ теченіемъ времени; мы разсматриваемъ случай такъ называемаго *установившагося движенія* воды;

3. вода заполняетъ все сѣченіе трубы; если обозначить величину какого нибудь сѣченія черезъ F и скорость воды въ немъ черезъ v' , то сдѣланное допущеніе выражается уравненіемъ:

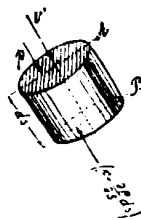
$$Fv' = \text{const.}$$

оно выражаетъ *условіе непрерывности теченія*;

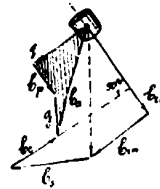
4. мы предположимъ, что сѣченія трубы настолько невелики, что можно считать скорости во всѣхъ точкахъ сѣченія равными между собой.



фиг. 1 а



фиг. 1 в



фиг. 2

Выделимъ безконечно малый объемъ, заключенный между двумя сѣченіями на разстояніи ds одно отъ другого. Масса этого элемента

$dm = \frac{\gamma}{g} F \cdot ds$ имѣетъ въ разсматриваемый моментъ абсолютное ускореніе b_a , опредѣляемое слѣдующими силами: силами реакціи стѣнокъ ка-

нала, давленіями воды въ сѣченіяхъ элемента A и B (фиг. 1в) и вѣсомъ элемента. Соответственно этимъ силамъ раскладываемъ ускореніе b_a на ея слагающія q , b_p и g :

q — ускореніе отъ силъ реакціи стѣнокъ канала
 b_p — " " давленія воды
 g — " " силъ тяжести

$$b_a = q \wedge b_p \wedge q. *)$$

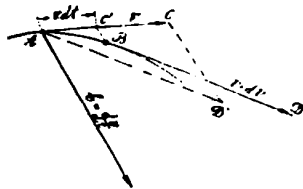
Съ другой стороны по теоремѣ Coriolis'a:

$$b_a = b_m \wedge b_n \wedge b_s \wedge b_c \quad (\text{фиг. 2})$$

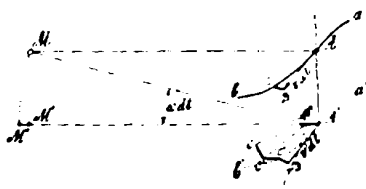
Доказательство 1). Раземотримъ движеніе точки по кривой AB (фиг. а); въ теченіе безконечно малаго промежутка времени dt sec точка изъ положенія A переходитъ въ B ; въ A скорость по величинѣ и направленію изображается отрѣзкомъ AC , въ B — отрѣзкомъ BD ; проведемъ черезъ A отрѣзокъ $AD' \parallel BD$, получимъ ускореніе

$$b = \frac{CD'}{dt} = \frac{dv}{dt},$$

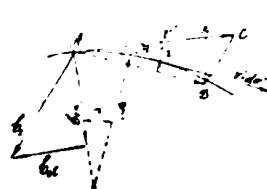
направленное линіи CD' .



фиг. а



фиг. б



фиг. в

Еслибъ точка двигалась по прямой AC , то въ теченіе dt sec. она прошла бы путь vdt и пришла бы въ C ; въ дѣйствительности она находится на кривой въ точкѣ B ; величина BC называется *девіаціей*; она имѣетъ направленіе ускоренія и по величинѣ $= \frac{1}{2} bdt^2$, т. к. BC представляетъ собой путь пройденной массой m подъ дѣйствіемъ силы $P = mb$, которую въ теченіе промежутка времени dt sec можно разсматривать постоянной.

Движеніе точки въ теченіе dt sec можно разсматривать составленнымъ изъ слѣдующихъ движеній (фиг. в).

1. Система остается неподвижной, а точка A при относительномъ движеніи переходитъ въ положеніе C' , испытывая девіацію $=$

$$= BC' = \frac{br (dt)^2}{2};$$

*) Здѣсь $\wedge$ знакъ геометрическаго сложенія.

1) Brauer. Turbinentheorie.

2. Точка остается неподвижной на относительномъ пути въ положеніи C' , а система движется поступательно по направленію скорости ωr , перемѣщаясь изъ AM въ $A'M'$.

3. При положеніи точки въ C' на относительномъ пути вся система перемѣщается поступательно по направленію $A'M'$ изъ положенія $A'M'$ въ $A''M''$; при этомъ совершается девиация =

$$= A'A'' = \frac{b_s (dt)^2}{2} = \frac{r\omega^2 (dt)^2}{2}$$

4. При положеніи точки въ C' на относительномъ пути вся система вращается вокругъ A'' на уголъ $= \omega dt$, при этомъ M'' переходитъ въ M , а точка займетъ положеніе C , испытывая девиацию CC'' ; если кривая ab расположена на плоскости $\perp$ къ оси вращения

$$CC'' = A''C'' \omega dt = v' \omega (dt)^2.$$

Въ общемъ случаѣ кривая ab располагается въ пространствѣ такимъ образомъ, что скорость v' составляетъ уголъ α съ осью вращения; тогда при вращеніи вокругъ A'' на уголъ $\omega \cdot dt$ девиация

$$CC'' = A''C'' \cdot \sin \alpha \omega dt = v' \omega \sin \alpha (dt)^2.$$

Точка C даетъ положеніе движущейся точки при абсолютномъ движеніи; поэтому абсолютная девиация =

$$= BC = \frac{b_a \cdot (dt)^2}{2}.$$

Такимъ образомъ имѣемъ:

$$BC = BC'' \wedge C''C''' \wedge C'''C$$

или

$$b_a = b_r \wedge \omega^2 r \wedge 2v' \sin \alpha \cdot \omega$$

(знакомъ $\wedge$ обозначено геометрическое сложение векторовъ).

Относительное ускореніе b_r въ свою очередь можетъ быть разложено на два: нормальное b_{rn} и тангенціальное b_{rt} . Проводя въ точкѣ A относительнаго пути (фиг. с) два вектора $\parallel v'$ и $\perp v'$ и $=$ скоростямъ v' и $v' + dv'$, получимъ, согласно опредѣленію, ускореніе $b_r = \frac{CD}{dt}$.

Проводя $DE \perp AC$, найдемъ что

$$DC = DE \wedge EC$$

Но

$$DE = AE \cdot \alpha = AE \frac{AB}{\rho} \approx v' \cdot \frac{ds}{\rho}$$

(ρ — радиусъ кривизны кривой AB въ точкѣ A , ds' — элементъ пути AB)

$$EC \simeq d\vec{v}'$$

Такимъ образомъ:

$$b_r = \frac{v'}{\varphi} \cdot \frac{ds'}{dt} \wedge \frac{dv'}{dt} = \frac{v'^2}{\varphi} \wedge \frac{dv'}{dt}$$

окончательно имѣемъ:

$$b_a = \frac{v'^2}{\varphi} \wedge \frac{dv'}{dt} \wedge \omega^2 r \wedge 2v' \omega \sin \alpha.$$

Такъ какъ предположено, что движеніе воды въ каналѣ происходитъ безъ тренія, то реакція стѣнокъ канала направлена $\perp$ къ относительной скорости движенія v' ; т. е. кромѣ того ускоренія b_{ra} и b_r также нормальны къ v' , то изъ фиг. 2 имѣемъ соотношеніе:

$$b_{ra} = \frac{dv'}{dt} = b_s \cdot \cos(b_s, b_{ra}) + g \cos(g, b_{ra}) + b_p \dots \dots (1)$$

при обозначеніяхъ фиг. 1а:

$$b_s \cos(b_s, b_{ra}) = \omega^2 r \cos \varphi$$

$$g \cos(g, b_{ra}) = g \cos \psi.$$

Предполагая, что давленія во всѣхъ точкахъ каждаго изъ сѣченій A и B (фиг. 1 в) одинаковы, что давленія измѣняются только при переходѣ отъ одного сѣченія къ другому, найдемъ величины давленій въ сѣченіяхъ A и B соответственно равными:

$$p \cdot F_a \text{ и } \left(p + \frac{dp}{ds} ds \right) F_b;$$

ускореніе

$$b_p = \left[p \cdot F_a - \left(p + \frac{dp}{ds} ds \right) F_b \right] : dm$$

т. е.

$$F_a \cong F_b = F; dm = F \cdot ds \frac{\ddot{v}}{g},$$

то

$$b_p = - \frac{g}{\ddot{v}} \cdot \frac{dp}{ds} \dots \dots \dots (2)$$

Подставляя въ уравненіе (1) вмѣсто b_{ra} , b_s и b_p и эѣ значенія, получимъ:

$$\frac{dv'}{dt} = \omega^2 r \cos \varphi + g \cos \psi - \frac{g}{\ddot{v}} \frac{dp}{ds}$$

отсюда, имѣя въ виду, что $\frac{ds}{dt} = v'$, $ds \cos \varphi = dr$, и $ds \cos \varphi = dz$, найдемъ

$$d \left(\frac{v'^2}{2g} \right) = d \left(\frac{U^2}{2g} \right) + dz - d \left(\frac{p}{\gamma} \right) \dots \dots \dots (3)$$

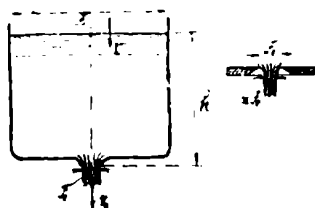
Интегрируя уравненіе (3) между сѣченіями a и b , получимъ:

$$\frac{v'^2_b - v'^2_a}{2g} = \frac{U^2_b - U^2_a}{2g} + h - \frac{p_b - p_a}{\gamma} \dots \dots \dots (3')$$

здесь $U = \omega r$ окружная скорость

h — вертикальное разстояніе между сѣченіями a и b .

Уравненіе (3') основное уравненіе гидравлики, выведенное изъ основныхъ законовъ механики; оно тѣмъ болѣе точно охватываетъ явленіе движенія воды, тѣмъ менѣе касаются сущности явленія допущенія, сдѣланныя для упрощенія математическаго изложенія задачи движенія воды въ каналахъ. Что касается тренія, производимаго частицами воды между собой и стѣнкою канала, то оно можетъ быть оценено приближенно на основаніи опыта. На слѣдующихъ примѣрахъ будетъ пояснено какъ это дѣлается.



Фиг. 3 а, б.

Примѣнимъ уравненіе (3') для движенія воды въ неподвижномъ каналѣ (фиг. 3) при этомъ въ немъ надо принять $U=0$ и $v'=v=$ абсолютной скорости движенія воды; для данного случая имѣемъ

$$\frac{v^2_2 - v^2_1}{2g} = h - \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \dots \dots \dots (3'')$$

Перепишемъ это уравненіе, группируя отдѣльно величины, относящіяся къ сѣченіямъ F_2 и F_1 :

$$\frac{v^2_2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v^2_1}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h = E = \text{Const.} \dots \dots \dots (4)$$

члены, входящие въ составъ уравненія 4, имѣютъ слѣдующее значеніе:

$\frac{v^2}{2g}$ — кинетическая энергія 1 kg. воды.

$\frac{p}{\gamma}$ — избытокъ потенциальной энергіи 1 kg. воды въ сѣченіи F_1 надъ сѣченіемъ F_2 .

$\frac{p}{\gamma}$ — высота столба воды, оказывающая на основаніи давленіе p .

членъ $\frac{p}{\gamma}$ представляетъ собой также мѣру потенциальной энергіи жидкости; называютъ его иногда *гидростатической высотой*.

Такимъ образомъ первая и вторая часть уравненія (4) представляютъ величины энергіи воды (1 kg.) въ сѣченіяхъ F_2 и F_1 ; уравненія (4) выражаетъ собой, слѣдовательно, законъ сохраненія энергіи въ примѣненіи къ движенію жидкостей.

Чтобы оцѣнить, теперь, вліяніе вредныхъ сопротивленій, предположимъ, что 1 kg. воды теряетъ количество энергіи равное R на преодоленіе вредныхъ сопротивленій при движеніи отъ F_1 къ F_2 ; уравненіе (4) должно быть написано при этомъ въ видѣ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + R = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h \dots\dots\dots (4')$$

Исследуемъ нѣсколько задачъ имѣющихъ частое практическое примѣненіе.

1. Истеченіе воды изъ отверстій. Вода вытекаетъ изъ отверстія въ днѣ сосуда (фиг. 3). уровень воды въ которомъ поддерживается на постоянной высотѣ h . Сѣченіе F_1 настолько велико по сравненію съ F_2 что можно считать $v_1=0$: давленія p_2 и p_1 въ сѣченіяхъ F_2 и F_1 == давленію окружающаго воздуха, и при небольшой высотѣ h можно считать $p_2=p_1=p_a$. При слѣдующихъ допущеніяхъ изъ уравненія (4') имѣемъ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + R = h. \dots\dots\dots (5)$$

Величину сопротивленія R можно представить въ видѣ:

$$R = \zeta \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (6)$$

ζ — называется *коэффициентомъ сопротивленія*.

Изъ уравненій 5 и 6 найдемъ выраженіе скорости v_2 :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \zeta}} = \zeta \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (7)$$