

А.А. Брикс

**Теоретический курс
гидравлики и
гидравлических движителей**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 93
ББК 63.3
А11

A11 **А.А. Брикс**
Теоретический курс гидравлики и гидравлических движителей / А.А. Брикс –
М.: Книга по Требованию, 2014. – 242 с.

ISBN 978-5-517-96106-8

ISBN 978-5-517-96106-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

(Théorie des moteurs hydrauliques. 1872), но примѣненіе его тамъ ограничено. Общее же примѣненіе этого уравненія появляется въ печати въ предлагаемомъ курсѣ впервые.

При изложеніи тѣхъ вопросовъ, которые не разработаны мною самостоятельно, я придерживался методовъ, принятыхъ въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: *M. Bresse* (Hydraulique),—замѣчательномъ по простотѣ, изящности и ясности изложенія; *F. Grashof* (Theoretische Maschinenlehre), съ весьма пространной и подробной теоріей всевозможныхъ вопросовъ и механизмовъ; *Д. Бобылевъ* (Гидростатика и теорія упругости); *C. Bach* (Die Wasserräder); *И. Тиме* (Курсъ гидравлики, томъ II); *W. U. Uhland* (Handbuch für den praktischen Maschinenconstructeur), *H. v. Reiche* (die Gesetze des Turbinenbaues) и друг.

На причину сопротивленія въ загибахъ трубъ (§ 40) мое вниманіе было обращено братомъ моимъ *Ө. А. Бриксъ*.

Чертежи курса отчасти заимствованы, съ болѣе или менѣе крупными упрощеніями, изъ сочиненій: *Uhland, Bach, Meissner* (Theorie und Bau der Turbinen und Wasseräder), *Haton de la Goupillière* (Cours de machines) и *Armengaut aîné* (Publication indistruelle).

Примѣненный въ предлагаемомъ курсѣ методъ изслѣдованія турбинъ и гидравлическихъ колесъ, по сравненію съ другими многочисленными теоріями этихъ двигателей, ведетъ, мнѣ кажется, прямѣе къ цѣли и даетъ учащемуся возможность легче объять сущность вопроса. Полагая поэтому, что при изученіи гидравлики курсъ этотъ можетъ служить полезнымъ пособіемъ, или даже руководствомъ въ тѣхъ заведеніяхъ, гдѣ гидравлика не составляетъ главнаго предмета, я предоставляю его благосклонному вниманію учебнаго міра.

Всѣ численныя величины настоящаго курса, у которыхъ не помѣчены единицы, относятся къ метру, килограмму и секундѣ.

А. Бриксъ.

С.-Петербургъ. Мартъ 1892.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ВВЕДЕНІЕ.

1. Предметъ гидравлики (1).—2. Опредѣленіе жидкости (1).—3. Гидравлическое давленіе (2).

ОСНОВНЫЯ УРАВНЕНІЯ ГИДРОСТАТИКИ.

4. Уравненія равновѣсія жидкости (5). — 5. Частныя случаи (7). — 6. Условія на поверхности (9).—7. Потенціалъ и поверхность уровня внѣшнихъ силъ (10).—8. Двѣ несмѣшивающіяся жидкости (11).

Примѣры поверхностей уровня и гидравлическаго давленія.

9. Тяжелая капельная жидкость (12). — 10. Притяженіе къ одному центру (13).—11. Вращеніе сосуда около вертикальной оси (13). — 12. Движеніе сосуда по вертикальному кругу (14).—13. Равновѣсіе воздуха на земной поверхности (15).

Примѣненія законовъ гидростатики.

14. Сообщающіеся сосуды съ одной жидкостью (16).—15. Сообщающіеся сосуды съ двумя жидкостями (16). — 16. Давленіе жидкости на плоскую стѣнку (17).—17. Давленіе на тѣло, погруженное въ тяжелую жидкость (19).

ОСНОВНЫЯ УРАВНЕНІЯ ГИДРОДИНАМИКИ.

Движеніе совершенной жидкости.

18. Дифференціальныя уравненія движенія (21).—19. Уравненіе неразрывности массы (22).

Частныя случаи движенія жидкости.

20. Прямолинейное движеніе тяжелой капельной жидкости (24). — 21. Независимое движеніе частицъ жидкости (26).—22. Вращеніе около вертикальной оси (26).—23. Установившееся движеніе (28).—24. Теорема Даниэля Бернулли (29).—25. Значеніе теоремы Д. Бернулли (30).—26. Потенціальная энергія тяжелой жидкости (32).

Движеніе дѣйствительныхъ жидкостей.

27. Сущность гидравлическихъ сопротивленій (33).—28. Обобщеніе уравненія Д. Бернулли для дѣйствительныхъ жидкостей (37).

ГИДРАВЛИКА.**Истеченіе изъ отверстій.**

29. Цѣль изученія (39).—30. Истеченіе изъ горизонтальныхъ отверстій (40).—31. Коэффициенты скорости, сжатія и расхода (40).—32. Истеченіе изъ отверстій въ боковой стѣнкѣ сосуда въ атмосферу (44).—33. Случай отверстия съ русломъ (45).—34. Истеченіе черезъ водосливъ (46).—35. Постепенное расширеніе струи (47).—36. Инжекторъ Жиффара (49).—37. Внезапное расширеніе трубы (50).

Движеніе въ каналахъ и трубахъ.

38. Распредѣленіе скоростей (52).—39. Средняя скорость теченія (54).—40. Сопротивленіе въ загибѣ трубы по дугѣ круга (58).—41. Приборы для измѣренія скорости теченія (59).

ГИДРАВЛИЧЕСКІЕ ДВИЖИТЕЛИ.**Работа и роды двигателей.**

42. Общія понятія (63).—43. Наибольшая работа (65).—44. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія двигателя (67).—45. Дѣленіе гидравлическихъ двигателей (67).—46. Методъ наслѣдованія (69).—47. Обозначенія (70).—48. Основное уравненіе работы гидравлическаго двигателя съ вращательнымъ движеніемъ (71).—49. Дѣленіе гидравлическихъ двигателей (74).

ТУРБИНЫ.

50. Устройство (75).—51. Сущность дѣйствія (76).—52. Виды турбинъ (78).

Работа турбинъ.

53. Обозначенія (80).—54. Допущенія (81).—55. Основное уравненіе (82).—56. Опредѣленіе геометрическихъ произведеній v и u и скорости v_0 (83).—57. Опредѣленіе p_1-p_0 (83).—58. Опредѣленіе p_2-p_1 (85).—59. Зависимость между p_2 и P (87).—60. Работа турбины и коэффициентъ полезнаго дѣйствія (87).—61. Условія невыгоднѣйшаго дѣйствія (88).—62. Опредѣленіе скоростей въ общемъ случаѣ (92).

Работа при нормальныхъ условіяхъ.

63. Опредѣленіе скоростей и коэффициента η (93).—64. Зависимость между углами α_0 , α_1 и α_2 (95).—65. Давленіе противъ зазора (95).—66. Характеристика активныхъ и реактивныхъ турбинъ (96).

РАЗЛИЧНЫЕ РОДЫ ТУРБИНЪ.**Осевыя реактивныя турбины.**

67. Практическія данныя; опредѣленіе размѣровъ (98).—68. Высота расположенія турбины (102).—69. Форма лопасти (103).—70. Измѣненіе про-

фили лопасти съ удаленіемъ отъ оси (106).—71. Разность давленій наружныхъ и внутреннихъ слоевъ (106).—73. Опредѣленіе потерь (107).—74. Примѣръ (111).—75. Вліяніе числа оборотовъ на работу турбины (113).—76. Вліяніе измѣненія напора (114).—77. Регулированіе (115).

Радіальныя реактивныя турбины съ внутреннимъ подводомъ воды.

78. Общія понятія и данныя устройства (120).—79. Турбины безъ направляющаго аппарата (125).—80. Опредѣленіе размѣровъ шотландской турбины (127).

Радіальныя реактивныя турбины съ вѣнчаннымъ подводомъ воды.

81. Практическія данныя (129).—82. Турбина Томсона (131).

Активныя турбины (турбины безъ давленія).

83. Основная характеристика (134).

Осевыя активныя турбины.

84. Основныя формулы и практическія данныя (135).—85. Вентиляція и спинки (137).—86. Форма лопастей и сѣченіе обода (139).—87. Вредныя сопротивленія и коэффициентъ полезнаго дѣйствія (143).—88. Вліяніе числа оборотовъ и переменнаго напора (144).—89. Регулированіе (145).—90. Турбины для большаго расхода воды (147).

Радіальныя активныя турбины.

91. Форма лопастей (148).

Частіальныя турбины.

92. Турбины со севознымъ протокомъ воды (149).—93. Колесо Понселе (151).—94. Работа колеса Понселе (153).—95. Уголъ α_1 (156).—96. Моментъ вѣса воды (157).—97. Ширина обода (158).—98. Радіусъ кривизны лопасти (159).—99. Недостатки существующихъ колесъ Понселе (160).—100. Ударная турбина (162).

Заключенія въ отдѣлу о турбинахъ.

101. Устройство лопастей (164).—102. Сравненіе разнаго рода турбинъ (165).

ГИДРАВЛИЧЕСКІЯ КОЛЕСА.

103. Общія понятія (166).—104. Обозначенія (167).—105. Работа вѣса свободной части воды (168).—106. Работа вѣса спокойной воды (170).—107. Общее выраженіе работы (171).

Наливныя колеса.

108. Устройство (171).—109. Главныя размѣры (174).

Работа наливныхъ колесъ.

110. Вліяніе удара о спинки лопастей (176). — 111. Вліяніе скорости вращенія (177).—112. Работа реакціи воды (178).—113. Работа вѣса (179).—114. Полная работа (184).—115. Колеса большой скорости (184).

Боковые колеса.

116. Устройство (185).

Работа боковыхъ колесъ.

117. Вліяніе скоростей (189).—118. Работа вѣса (191).—119. Гидравлическое треніе (194).—120. Полная работа (195).

Ударныя колеса.

121. Подливныя колеса (121).—122. Работа ихъ (197). — 123. Средства къ увеличенію полезнаго дѣйствія (198). — 124. Подливныя колеса въ неограниченномъ потокѣ (200).—125. Работа ихъ (202).

ВОДОСТОЛБНЫЯ МАШИНЫ.

126. Общія понятія (203).—127. Распредѣленіе воды (205).—128. Работа (208).—129. Регулированіе (209).—130. Примѣнимость (210).

ВѢТРЯНЫЕ ДВИЖИТЕЛИ.

131. Общія понятія (211).—132. Устройство (211).—133. Работа (214).

ВОДОПОДЪЕМНЫЯ МАШИНЫ.

134. Общія понятія (217).

Обыкновенныя насосы.

135. Устройство (218).—136. Работа (220).

Центробѣжныя насосы.

137. Устройство (221).—138. Работа (222).—139. Примѣръ (226).

Гидравлическій таранъ.

140. Устройство (228).—141. Теорія дѣйствія тарана (228).

ЗАМѢЧЕННЫЯ ПОГРѢШНОСТИ.

<i>Стр.</i>	<i>Строка.</i>	<i>Слѣдуетъ читать:</i>
7	ур. 8	$= X dx.$
18	9 св.	$\left(\frac{H}{\sin \alpha} \right)$
23	12 св.	противоположную грань (гдѣ
25	6 св.	<i>давление</i> p
33	4 св.	молекулярныхъ движеній частицъ;
34	9 св.	$\frac{M}{3.2} \left\{ V^2 - \right.$
35	18 св.	живая сила частичныхъ
43	8 св.	жидкость была бы
57	1 св.	$(\frac{2}{3} \beta - \frac{2}{3} i)$
76	чертежъ	пропущенъ номеръ 1.
84	чертежъ	колесо турбины.
90	2 св.	сѣченія (a)
92	5 св.	всѣ скорости.
99	8 св.	$v_0^2 + w_2^2$
102	17 св.	ихъ концами вромокъ
104	3 св.	$KL B = \alpha_1$
120	6 св. }	$\left(\frac{\eta h}{\eta_0} \right)$
—	12 св. }	
135	1 св.	$b'_2 e'_2$
136	ур. 7	$2 \cos^2 \alpha_0$
142	13 св.	$+ r \omega^2 +$
144	18 св.	происходить отъ повышенія нижняго уровня (стр. 138).
154	5 св.	$-\varphi \frac{w_1^2}{2}$
—	3 св.	$+\varphi \frac{w_2^2}{2}$
158	6 св.	на колесо (стр. 156).
173	9 св.	v_0
178	12 св.	горизонтальна
181	7 св.	мѣрѣ наклоненія
198	11 св.	канала;
205	16 св.	имѣють распрежденіе чаще
206	Черт. 2	Букву E вверху не надо.
226	2 св.	напр. $\alpha_1 =$
228	4 св.	допущеніяхъ
230	ур. 1	$\Delta(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)$
232	2 св.	. 1000. 0,002.

Въ нумераці §§ пропущенъ номеръ 72.

П О П Р А В К А: Форма лопасти на стр. 140 предложена *J. C. B. Leh-*
mann'омъ, а не *Бахомъ*, какъ тамъ ошибочно указано. Выписка же на
стр. 141 относится только къ изложенію *Баха*.

ВВЕДЕНИЕ.

1. Предметъ гидравлики въ общемъ смыслѣ обнимаетъ ученіе о движеніи и покоѣ жидкости и о гидравлическихъ движителяхъ; въ тѣсномъ смыслѣ гидравлика—это практическая часть ученія о движеніи жидкости. Выводы гидравлики основаны отчасти на теоретическихъ отдѣлахъ: на *гидростатикѣ* и на *гидродинамикѣ*, подобно тому, какъ практическая механика основана на теоретической.

Гидростатика представляетъ собой отдѣлъ ученія о равновѣсіи жидкихъ тѣлъ; полученные въ немъ результаты вполне примѣнимы къ дѣйствительнымъ жидкостямъ. *Гидродинамика* рѣшаетъ много вопросовъ только для нѣкоторой теоретической жидкости, называемой *совершенной*, за которую дѣйствительныя жидкости могутъ быть приняты только съ извѣстнымъ приближеніемъ; поэтому всѣ выводы *гидравлики* относительно движущихся жидкостей, основанные большею частью на законахъ гидродинамики, имѣютъ въ окончательныхъ результатахъ поправки, основанные на эмпирическихъ формулахъ, выведенныхъ изъ опытовъ.

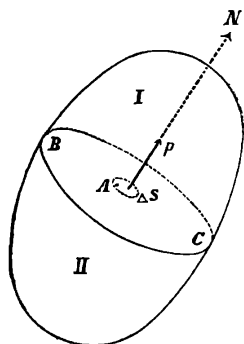
2. Жидкостью въ механикѣ называется такое тѣло природы, между частицами коего въ состояніи равновѣсія (т.-е. относительно неподвижности частицъ) *не проявляются касательныя напряжения, ни натяженія*, а могутъ существовать *только давленія*; другими словами силы, замѣняющія какой нибудь элементъ жидкости, могутъ быть направлены только *по внешнимъ нормалямъ* элемента.

При существованіи относительнаго движенія частицъ жид-

кости между собой или относительно твердыхъ тѣлъ, является всегда касательное напряженіе, противодѣйствующее данному относительному перемѣщенію; это напряженіе называется *гидравлическимъ треніемъ*. Большинство вопросовъ гидродинамики относится, однако, къ случаю, когда и при движеніи жидкостей касательнаго напряженія не существуетъ, такъ какъ точное рѣшеніе при настоящемъ положеніи математики и физики невозможно. Такія идеальныя жидкости, въ которыхъ треніе никогда не проявляется, называются *совершенными*, въ отличіе отъ *дѣйствительныхъ* или *несовершенныхъ* жидкостей.

Подъ именемъ жидкостей въ механикѣ подразумѣваютъ и *капельная*, и *газообразная*; первыя имѣютъ свойство весьма мало измѣнять плотность съ измѣненіемъ температуры и давленія, такъ что на практикѣ этимъ измѣненіемъ можно свободно пренебречь по отношенію къ размѣрамъ всего объема жидкости или къ длинѣ описываемыхъ разными точками траекторій, кромѣ вопросовъ колебательнаго движенія частицъ (звукъ); такія жидкости рассматриваются въ гидромеханикѣ какъ *несжимаемая*; газообразныя жидкости, въ противоположность несжимаемымъ, называются *упругими*.

3. Гидравлическое давленіе. Положимъ, что нѣкоторый объемъ жидкости разсѣченъ поверхностью BC на двѣ части: I и II.



Возьмемъ на этой поверхности элементъ Δs , заключающій въ себѣ точку A . Черезъ этотъ элементъ проходятъ направленія дѣйствій f атомовъ части II-й на атомы части I-й; возьмемъ проекціи всѣхъ силъ f на нормаль N къ элементу и на два направленія въ плоскости его. Тогда

$$p_n = \text{пр.} \left(\frac{\sum f \text{Cos}(f, N)}{\Delta s} \right)_{\Delta s = 0}$$

представить отнесенное къ единицѣ площади *нормальное давленіе* въ точкѣ A на поверхность BC части I-ой; подобныя же выраженія для двухъ направленій, взятыхъ въ плоскости элемента, дадутъ соотвѣтствующія *касательныя натяженія*, которыя при равновѣсіи жидкости суть нули.

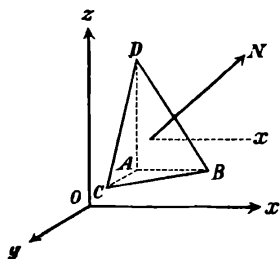
Относительно величины p_n полезно сдѣлать слѣдующее замѣчаніе: число атомовъ или частицъ, отъ взаимодѣйствія которыхъ происходятъ силы f , хотя и велико, но не безконечно велико; поэтому подъ давленіемъ p_n слѣдуетъ подразумѣвать предѣлъ, взятый не при $\Delta_s = 0$, а при такихъ размѣрахъ Δ_s , которые меньше точности (меньше допускаемой ошибки) нашихъ вычисленій и измѣреній, но еще настолько велики, что число силъ f , проходящихъ черезъ элементъ, очень велико—такъ велико, что отъ прибавки къ суммѣ проекцій силъ f еще одной изъ нихъ, величина p_n измѣняется на величину, меньшую точности нашихъ вычисленій. Еслибы оказалось, что при требуемой большой точности черезъ элементъ Δ_s проходитъ очень мало силъ f , такъ что послѣднее условіе невыполнено, то при этой точности мы не можемъ говорить объ давленіи на элементъ поверхности, а должны брать въ расчетъ взаимодѣйствія между атомами каждое отдѣльно. Если же упомянутое условіе выполнено, то при постепенномъ передвиженіи элемента Δ_s вдоль поверхности BC скачки въ величинѣ p_n будутъ меньше точности вычисленія, т.-е. величина p_n будетъ сплошная функция координатъ точки A .

Безъ этой оговорки нельзя было бы согласить выводы гидромеханики съ принимаемой всѣми кинетической теоріей газовъ (и жидкостей), по которой атомы и частицы находятся въ постоянномъ движеніи, а слѣдовательно и давленіе въ математической точкѣ A должно быть переменнымъ; если же элементъ считать конечнымъ, указанныхъ выше размѣровъ, то замѣна однихъ частицъ другими произведетъ колебаніе въ давленіи p_n меньшее точности нашихъ вычисленій, т.-е. p_n не зависитъ отъ молекулярныхъ движеній частицъ тѣла, если это движеніе установилось, т.-е. если число частицъ данного элемента колеблется въ столь тѣсныхъ предѣлахъ, что плотность элемента съ принятой точностью можно считать постоянной.

По новѣйшимъ вычисленіямъ въ кубѣ воздуха, сторона коего равна $0,001$ мм., находится при атмосферномъ давленіи около 20 милліоновъ частицъ и на длинѣ $0,001$ мм. укладывается около 270 среднихъ разстояній между ними; для воды эти числа больше: первое—въ 1700, а второе—въ 12 разъ.

Докажемъ, что давленіе въ какой-нибудь точкѣ не зависитъ отъ направленія выбраннаго элемента поверхности, какъ въ случаѣ *равновѣсія* всякой жидкости, такъ и въ случаѣ *движенія* жидкости *совершенной*.

Построимъ тетраэдръ около точки *A* изъ трехъ плоскостей, параллельныхъ плоскостямъ прямоугольныхъ координатъ, и четвертой грани въ желаемомъ направленіи; обозначимъ буквами



σ и s площадки *ACD* и *BCD* и буквами p_x и p_n — давленія на нихъ, идущія на основаніи опредѣленія жидкости по внутреннимъ къ элементу объема нормалямъ; обозначимъ буквой m массу элемента и буквой X отношеніе проекціи на ось *ox* внѣшней силы къ массѣ m элемента или *напряженіе* внѣшней силы по оси *ox*;

напряженіе внѣшней силы выражаетъ собой то ускореніе, которое эта сила сообщила бы элементу, еслибы онъ былъ свободенъ.

Такимъ образомъ, произведеніе mX выражаетъ собой величину проекціи внѣшней силы. Ускореніе по *ox* будетъ $\frac{d^2x}{dt^2}$, а уравненіе движенія по *ox*:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p_x \sigma - p_n s \cos(N, x) + mX.$$

Давленія на двѣ остальные грани тетраэдра, какъ нормальныя къ оси проекцій, въ уравненіе не войдутъ. Площадь σ есть проекція площади s , такъ что

$$\sigma = s \cos(N, x)$$

и по раздѣленіи всего уравненія на σ :

$$\frac{m}{\sigma} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = p_x - p_n + \frac{m}{\sigma} X.$$

Если мы будемъ уменьшать размѣры тетраэдра, оставляя точку *A* внутри его, то m будетъ третьяго, а σ — второго порядка по отношенію къ ребрамъ, такъ что въ предѣлѣ оба крайнихъ члена пропадутъ и останется

$$p_x = p_n$$