

Хаусбранд Эуген

**Выпаривание, конденсация и
охлаждение**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
393

Э93 **Эуген Х.**
Выпаривание, конденсация и охлаждение / Хаусбранд Эуген – М.: Книга по Требованию,
2026. – 416 с.

ISBN 978-5-521-28937-0

ISBN 978-5-521-28937-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2026
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2026

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.

Предисловіе къ первому нѣмецкому изданію.

Задачи, которыя приходится разрѣшать при проектированіи аппаратовъ для выпариванія, конденсаціи и охлажденія, находятся въ тѣсной зависимости отъ законовъ передачи тепла. Несмотря на то, что эти физическіе законы можно считать въ общемъ достаточно извѣстными, намъ часто неизвѣстенъ точный опытный коэффициентъ, годный въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ; между тѣмъ, безъ знанія этого коэффициента невозможно никакое вычисленіе. Для пополненія этого недостатка было сдѣлано экспериментаторами различной компетенціи въ дѣлѣ безчисленное множество опытовъ, но результаты ихъ изысканій безпорядочно разсѣяны въ литературѣ, часто относятся къ совершенно специальнымъ случаямъ, а въ нѣкоторыхъ обращено вниманіе не на всѣ, имѣвшіе мѣсто при опытѣ, факторы. Многіе изслѣдователи хранятъ свои открытія втайнѣ, какъ сокровища.

Данныхъ, пригодныхъ непосредственно для практическаго употребленія, не даетъ и цѣнный трудъ проф. Mollier'a, предпринятый по предложенію союза нѣмецкихъ инженеровъ и опубликованный въ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ 1897 № 6 и 7; впрочемъ это и не составляетъ задачу названнаго сочиненія, которое даетъ ясную картину того состоянія, въ которомъ находится современное положеніе этого вопроса.

Необходимо произвести въ этомъ направленіи цѣлый рядъ новыхъ опытовъ, и при томъ въ большемъ масштабѣ,

а также, чтобы приняты были во вниманіе всѣ факторы, имѣющіе мѣсто въ данномъ производствѣ; особенное же вниманіе надо обратить на абсолютную величину поверхностей нагрѣва. Вопросомъ этимъ занялся послѣднее время союзъ нѣмецкихъ инженеровъ; его компетентность и обширныя средства позволяютъ ожидать богатыхъ результатовъ.

Подчасъ ощущается недостаточность свѣдѣній вслѣдствіе отсутствія точныхъ и всестороннихъ опытовъ и относительно другихъ явленій, интересующихъ насъ при проектированіи аппаратовъ для выпариванія и охлажденія, напр. намъ неизвѣстно давленіе разрѣженныхъ или сжатыхъ газовъ и паровъ на падающія капли, треніе разрѣженной паровой струи въ длинныхъ трубопроводахъ и т. д.

Въ интересахъ общей техники весьма желательно, чтобы эти пробѣлы въ нашемъ знаніи были возможно скорѣе заполнены при помощи точныхъ экспериментальныхъ изслѣдованій.

Но пока еще осуществится это желаніе, будетъ построено множество аппаратовъ всякаго рода для вышеупомянутыхъ цѣлей; при этомъ ясно ощущается недостатокъ такой книги, въ которой бы для пракческаго употребленія приводились въ общую связь, насколько это возможно, всѣ вопросы и обстоятельства, имѣющіе мѣсто при выпариваніи (въ особенности, по отношенію къ главнымъ размѣрамъ и производительности аппаратовъ); настоящая книга представляетъ собою попытку дать такую связь.

Въ основаніе предлагаемаго труда легли какъ вообще доступныя для пользованія матеріалы, такъ и свѣдѣнія, полученные отъ уважаемыхъ товарищей, а также и собственныя наши наблюденія въ теченіе долгой практики и результаты произведенныхъ нами опытовъ.

Какъ и слѣдуетъ изъ вышесказаннаго, нѣкоторыя наши соображенія имѣютъ характеръ гипотезъ, и на это мы про-

симъ нашихъ уважаемыхъ читателей обратить вниманіе.

Инженеръ, не вполне освѣдомленный въ этой области знанія, не всегда имѣетъ время для пользованія специальной литературой, когда ему приходится примѣнить въ практикѣ какія либо научныя положенія; часто у него не хватаетъ времени произвести слишкомъ длинныя вычисленія; поэтому тамъ, гдѣ это было возможно, мы приложили таблицы, по которымъ можно во многихъ случаяхъ легко найти отвѣтъ на извѣстные вопросы.

Кромѣ того изъ этихъ таблицъ ясно видно, насколько измѣняется дѣйствіе аппаратовъ съ измѣненіемъ условій, при которыхъ аппараты дѣйствуютъ, что особенно цѣнно для конструктора.

Форма и конструкціи аппаратовъ и машинъ, употребляемыхъ въ промышленности, такъ разнообразны и такъ быстро совершенствуются, что является совершенно невозможнымъ рассмотреть всѣ возможные въ практикѣ случаи.

При составленіи предлагаемой книги нами руководило желаніе по возможности научнымъ и точнымъ методомъ помочь разрѣшенію задачъ, возникающихъ при постройкѣ и при дѣйствіи аппаратовъ для выпариванія, конденсаціи и охлажденія. Если бы наше намѣреніе и не вполне намъ удалось осуществить, то все же, быть можетъ, нашъ трудъ можетъ послужить основаніемъ для дальнѣйшихъ изысканій въ этомъ направленіи.

Затѣмъ, считаемъ пріятнымъ долгомъ выразить нашу благодарность всѣмъ товарищамъ, сообщившимъ намъ результаты своихъ опытовъ.

Берлинъ, Августъ 1899.

Авторъ.

Предисловіе ко второму нѣмецкому изданію.

Второе изданіе нашей книги потребовалось въ короткій срокъ послѣ выхода въ свѣтъ перваго изданія, и никакихъ значительныхъ измѣненій въ книгу не сдѣлано. Поэтому, если не считать небольшихъ поправокъ, вызванныхъ частью товарищеской критикой, настоящее изданіе представляетъ собою точную перепечатку перваго изданія.

Намъ остается пожелать, чтобы и это изданіе встрѣтило такой же пріемъ у публики, какъ и первое.

Берлинъ Апрель 1900.

Авторъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Глава.	Стр.
Предисловіе къ русскому изданію	III
Предисловіе къ нѣмецкому изданію	V
Введеніе.	1
I. Коэффициентъ передачи тепла k и средняя разность темпера- туръ ϑ_m	2
Логарифмическое уравненіе для ϑ_m , Фиг. 1—4.	5
Конечное уравненіе для ϑ_m , Табл. 1	7
II. Параллельное и противоположное теченіе, Табл. 2, Фиг. 5	9
III. Нагрѣваніе непосредственнымъ огнемъ (открытымъ)	12
Свойства нѣкоторыхъ видовъ топлива, Табл. 3	14
Коэффициентъ передачи тепла k , Табл. 4	15
IV. Непосредственный впускъ насыщеннаго пара	17
V. Перегрѣтый водяной паръ.	19
Расходъ тепла для нагрѣванія, Табл. 5	20
Объемъ перегрѣтаго пара, Табл. 6	21
Нагрѣвательная поверхность перегрѣвателя, Табл. 7 и 8	22
Коэффициентъ передачи тепла k	22
VI. Выпариваніе горячей жидкостью.	23
VII. Передача тепла вообще и передача тепла насыщеннымъ водянымъ паромъ въ частности	24
Уменьшеніе и увеличеніе передачи тепла въ зависимости отъ различ- ныхъ условій	25
Свойства насыщеннаго пара, Табл. 9	26
Вліяніе толщины стѣнокъ, Табл. 10 и 11	35
VIII. Передача тепла насыщеннымъ паромъ въ трубахъ (змѣевикахъ) и въ двойномъ днѣ	38
А. Обогрѣвательныя трубы (змѣевики)	38

Глава.	Стр.
Коэффициентъ передачи тепла k , при выпариваніи, Табл. 12. . .	39
Выпаривательная производительность мѣдныхъ трубъ, Табл. 13. .	42
Коэффициентъ передачи тепла k , при нагрѣваніи	44
В. Размѣры выпаривательныхъ трубъ	45
Вѣсъ пара, проходящаго въ 1 часъ черезъ вентиль, Табл. 14 . .	52
С. Двойное дно и кожухъ	52
Передача имп тепла кипящей и некипящей жидкости	54
IX. Выпариваніе въ вакуумъ	56
Пониженіе точки кипѣнія, Табл. 15	60
Передача тепла.	61
X. Многокорпусные выпарные аппараты	62
А. Выпаривательная производительность каждаго кор- пуса, Фиг. 7 и 8.	62
Расходъ пара въ каждомъ корпусѣ, Фиг. 9 и 10	65
Повышеніе точки кипѣнія нижнихъ слоевъ сока, Табл. 16 . . .	72
Парообразование каждаго корпуса, Табл. 17	77
В. Содержаніе въ сокѣ сухихъ веществъ въ каждомъ кор- пусѣ, Табл. 18	90
XI. Многокорпусные выпарные аппараты, въ которыхъ отводится экстрапаръ	96
А. Выпаривательная производительность каждаго корпуса, Табл. 19, Фиг. 11.	97
В. Содержаніе въ сокѣ сухихъ веществъ въ каж- домъ корпусѣ, Табл. 20 и 21.	109
XII. Количество воды, которое надо выпарить изъ 100 кгр. щелока, чтобы первоначальное содержаніе въ немъ сухихъ веществъ r_f % довести до болѣе высокаго r_n %, Табл. 22	110
XIII. Взаимное отношеніе нагрѣвательныхъ поверхностей корпусовъ многокорпусныхъ выпарныхъ аппаратовъ и ихъ дѣйстви- тельные размѣры	112
XIV. Давленіе паровой и воздушной струи на разбрызгиваемыя водя- ныя капли.	118
XV. Направленіе движенія водяныхъ капель, находящихся подъ давле- ніемъ пара	123
А. Дѣйствіе вертикальной паровой струи на пада- ющія капли, Табл. 23	123
В. Дѣйствіе горизонтальной или косой паровой струи на падающія капли, Фиг. 12, Табл. 24	127

Глава.	Стр.
С. Дѣйствіе вертикальной паровой струи на капли, отбрасываемыя подъ угломъ, Фиг. 13, Табл. 25 . . .	130
XVI. Разбрасываніе массъ при выпариваніи жидкостей.	
А. Высота, до которой выбрасываются массы при дѣйствіи на нихъ пара	133
В. Высота поднятія выбрасываемыхъ массъ, не подверженныхъ дѣйствію паровой струи	135
1. Въ пароогрѣвателяхъ съ вертикальными огрѣвательными трубами, Табл. 26, а, b, с, d.	135
2. Въ пароогрѣвателяхъ, имѣющихъ форму змѣевикувъ и двойного дна, и при открытомъ огнѣ, Табл. 27.	152
С. Дѣйствіе паровой струи на подбрасываемыя капли.	154
Д. Дѣйствіе паровой струи на выбрасываемыя въ разныхъ видахъ капли жидкости и средства для отвращенія причиняемыхъ этимъ потерь, Табл. 28.	157
Е. Измѣненіе величины пузырьковъ пара въ кипящей жидкости, Табл. 29	161
XVII. Размѣры трубопроводовъ для водяныхъ и спиртныхъ паровъ и для воздуха.	
А. Для водяного пара	163
Результаты по формуламъ Шмидта и Фишера-Гутермута, Табл. 30	164
Скорость водяного пара въ трубахъ 20 м. длины при 0,5 ⁰ /о потери давленія, Табл. 31	169
Вѣсъ пара, проходящаго при этомъ въ 1 ч. Табл. 32	170
В. Для паровъ воднаго раствора алкоголя	176
Скорость паровъ воднаго раствора алкоголя въ трубахъ 3 м. длины при 0,5 ⁰ /о потери давленія, Табл. 33, и вѣсъ пара, проходящаго при этомъ по трубамъ въ 1 ч. Табл. 34	
С. Для воздуха	177
Вѣсъ и скорость воздуха, проходящаго въ 1 ч. по трубамъ при 0,5 ⁰ /о потери давленія, Табл. 35.	
XVIII. Размѣры водопроводныхъ трубъ, Табл. 36	180
XIX. Потеря тепла въ аппаратахъ и трубопроводахъ вслѣдствіе перехода его въ окружающій воздухъ	191
А. Потеря тепла черезъ лучеиспусканіе и теплопроводность	

Глава.	Стр.
1. По уравненіямъ Пекле, Табл. 37	191
Сравненіе опытныхъ п теоретическихъ дапныхъ, Табл. 38 . . .	196
Потеря тепла на погонный метръ трубъ и на кв. м. поверхности, Табл. 39	198
2. По новѣйшимъ уравненіямъ, Табл. 40)	204
Потеря тепла въ многокорпусномъ выпарномъ аппаратѣ . . .	205
В. Предохранительныя средства противъ потери тепла	206
XX. Конденсаторы	208
А. Конденсаторы со вспрыскиваніемъ воды	209
1. Общія положенія, Фиг. 14, 15,	209
2. Необходимое количество охлаждающей воды, Табл. 41	214
3. Діаметръ трубъ, проводящихъ воду	216
4. Труба для отхода воды (барометрическая труба) въ сухомъ конденсаторѣ, Табл. 42	216
5. Распределеніе воды въ конденсаторѣ	220
а) переливаніе воды, Фиг. 16, Табл. 43	220
б) разбрызгиваніе воды сквозь плоскія сита, Табл. 44	221
6. Діаметръ паропроводящихъ трубъ	224
7. Діаметръ воздухопроводящихъ трубъ	226
8. Нагрѣваніе вспрыскиваемой воды	226
Взаимное отношеніе поверхности и количества въ водяномъ тѣлѣ, Табл. 45	228
Глубина прохожденія тепла въ воду, Табл. 46	230
9. Объемъ 1 кгр. воздуха при разлчномъ давленіи, Табл. 47 . . .	238
10. Продолжительность наденія вспрыскиваемой воды, Табл. 48 . .	239
11. Размѣры мокрыхъ (параллельныхъ) конденсаторовъ со вспрыски- ваніемъ воды, Табл. 49	240
12. Размѣры конденсаторовъ съ барометрической трубой (сухихъ, противоточныхъ), Табл. 50	246
В. Поверхностные конденсаторы (холодильники)	255
1. Поверхностные закрытые конденсаторы съ охлажденіемъ водой, Фиг. 17, 18, 19	256
а) Разности температуръ, Табл. 52	257
при конденсаціи	260
при охлажденіи	260
б) Коэффициенты передачи тепла k_c п k_k	265
при конденсаціи, Табл. 53	267
при охлажденіи	267

Глава.

Стр.

с) Конденсационная и охлаждающая поверхность H_c и H_k , Табл. 54	270
Вѣсь воздуха и пара, проходящаго въ часъ по трубамъ отъ 10 до 100 мм. діаметра, Табл. 55.	
Вѣсь воды, поднимающейся въ часъ въ аппаратахъ діаметра отъ 300 до 1250 мм., Табл. 56.	
d) Размѣры конденсационныхъ и охлаждающихъ трубъ, Табл. 57.	274
Примѣрные размѣры трубъ, Табл. 58	280
2. Поверхностные закрытые холодильники съ воздушнымъ охлажде- ніемъ, Табл. 59 и 60	284
3. Открытые конденсаторы съ орошаемой поверхностью, Табл. 61 .	289
XXI. Нагрѣваніе жидкости паромъ, Табл. 62.	
А. Паровыми трубамъ, находящимися внутри жид- кости	294
1. При постоянномъ количествѣ жидкости	294
Безъ мѣшальныхъ снарядовъ	
Съ мѣшальными снарядами	
2. При непрерывномъ притокѣ и отходѣ жидкости .	298
В. Паровымъ двойнымъ дномъ	299
Безъ мѣшальныхъ снарядовъ.	
Съ мѣшальными снарядами.	
С. Неподвижнымъ паромъ при прохожденіи жид- кости по трубамъ, Табл. 63	300
XXII. Охлажденіе жидкостей	302
А. Непосредственное вбрасываніе льда	303
В. Непосредственное примѣшиваніе холодной жид- кости къ теплой	304
С. Охлажденіе жидкости испареніемъ	304
D. Охлажденіе холодной жидкостью черезъ метал- лическія стѣнки	
1. Охлажденіе при непрерывномъ противоточномъ движеніи жид- костей, Табл. 64, 65, 66.	
2. Періодическое охлажденіе, Табл. 67.	
Е. Открытые холодильники съ орошаемой поверхностью . .	321
F. Охлажденіе холоднымъ воздухомъ черезъ ме- таллическія стѣнки	326
G. Охлажденіе воды непосредственно воздухомъ, Табл. 69, 70	326

Глава.		Стр.
H.	Охлажденіе воздуха водою, Табл. 71	338
XXIII.	Объемъ газовъ, отводимыхъ воздушнымъ насосомъ изъ конденса- саторовъ	
A.	Общія положенія	341
B.	Объемъ воздуха, отводимаго изъ мокрыхъ кон- денсаторовъ со вспрыскиваніемъ воды, Табл. 72.	343
C.	Объемъ воздуха, отводимаго изъ сухихъ конден- саторовъ со вспрыскиваніемъ воды, Табл. 73. . .	370
D.	Объемъ воздуха, отводимаго изъ поверхност- ныхъ конденсаторовъ.	372
XXIV.	Кое что о воздушныхъ насосахъ и о достигаемомъ ими воздуш- номъ разръженіи	
A.	Клапанные воздушные насосы	373
B.	Золотниковые воздушные насосы, Табл. 74.	375
XXV.	Объемная полезная работа воздушныхъ насосовъ.	
A.	Воздушные насосы безъ компенсаціи давленія.	378
B.	" " съ компенсаціей "	
	Табл. 75	381
XXVI.	Объемъ воздуха (V_1), который надо выкачать изъ сосуда, содер- жащаго V_g воздуха опредѣленнаго давленія, чтобы достиг- нуть опредѣленнаго меньшаго давленія (p_c), Табл. 76 . . .	389