

Документ подписан простой электронной подписью
 Информация о владельце:
 ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
 Должность: проректор по учебной работе
 Дата подписания: 11.02.2021 20:23:14
 Уникальный программный идентификатор:
 0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛЫХ ФОРСУНОЧНЫХ СКРУББЕРОВ

Методические указания к проведению лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Экология», «Экология Курского края», «Системы защиты воздушной среды», «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности», «Перспективные технологии защиты окружающей среды» для студентов всех специальностей и направлений подготовки

Курск 2020

УДК 62: 784.433

Составители: В.В. Юшин, А.В. Иорданова, В.М. Попов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Г.П. Тимофеев*

Исследование работы полых форсуночных скрубберов: методические указания к проведению лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Экология», «Экология Курского края», «Системы защиты воздушной среды», «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности», «Перспективные технологии защиты окружающей среды» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.В. Юшин, А.В. Иорданова, В.М. Попов. Курск, 2020. 12 с. Библиогр.: с. 11.

Излагается методика расчета полых форсуночных скрубберов вероятно-энергетическим способом и определяются факторы, влияющие на их эффективность.

Работа предназначена для студентов всех специальностей и направлений подготовки.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 05.02.20. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 0,6. Уч.-изд.л. 0,5. Тираж 30 экз. Заказ 55. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель занятия: изучить методику расчета полых форсуночных скрубберов и исследовать влияние удельного расхода жидкости на эффективность очистки.

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама. Метод мокрой очистки от пыли считается достаточно простым и в то же время эффективным способом обеспыливания.

При современном уровне развития техники пылеулавливания наметилась тенденция применения сухих пылеуловителей, однако в ряде случаев мокрые пылеуловители конкурируют с такими высокоэффективными аппаратами, как рукавные фильтры и электрофильтры.

Преимущества мокрых пылеуловителей перед аппаратами других типов:

- сравнительно небольшая стоимость (без учета шламового хозяйства) и более высокая эффективность улавливания частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями;

- возможность охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов;

- возможность применения для очистки высокотемпературных газовых потоков;

- возможность одновременной очистки от пыли и от газообразных вредных веществ, т.е. их можно использовать в качестве абсорберов.

К недостаткам пылеуловителей относятся:

- улавливаемый мокрыми пылеуловителями продукт выделяется в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод;

- потери жидкости вследствие брызгоуноса;

- необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

В мокрых пылеуловителях в качестве орошающей жидкости чаще всего применяется вода. При решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) обуславливается процессом абсорбции.

Общепринятой классификации мокрых пылеуловителей, в настоящее время, не существует. Обычно они классифицируются на группы в зависимости от поверхности контакта или по способу действия:

1. Полый скруббер - скруббер, в котором газовый поток пропускается через завесу распыляемой жидкости;

2. Тарельчатый скруббер - скруббер, в котором контакт газа с жидкостью осуществляется на контактных устройствах (тарелках), устанавливаемых внутри аппарата;

3. Насадочный скруббер - скруббер, в котором контакт газа с жидкостью осуществляется в заполняющем аппарат слое тел различной формы (насадке);

4. Скруббер с подвижной насадкой - насадочный скруббер, в котором контакт газа с жидкостью осуществляется в объеме свободно перемещающегося слоя насадки;

5. Ударно-инерционный скруббер - скруббер, в котором контакт газа с жидкостью осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации;

6. Центробежный скруббер - скруббер, в котором газовый поток, контактирующий с жидкостью, вращается в корпусе аппарата под действием центробежной силы;

7. Скруббер Вентури - скруббер, в котором интенсивное дробление контактирующей с газом жидкости осуществляется за счет высокой скорости газового потока, достигаемой в трубе-распылителе, имеющей форму трубы Вентури.

8. Эжекторный скруббер - скруббер, в котором контакт газа с жидкостью осуществляется в трубе-распылителе за счет энергии, подводимой к жидкости (водоструйный насос);

9. Конфузорный скруббер - полый скруббер, в котором дробление контактирующей с газом жидкости осуществляется за счет энергии газового потока, подводимого в аппарат через конфузорный насадок [1].

Рассмотрим подробно конструкцию полых скрубберов.

В аппаратах данного типа газопылевой поток пропускают через завесу распыляемой жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями промывной жидкости, а очищенные газы уда-

ляются из аппарата. Наиболее распространенным аппаратом данного типа является полый форсуночный скруббер (рис. 1). Он широко используется как для очистки газов от достаточно крупных частиц, так и для охлаждения газов.

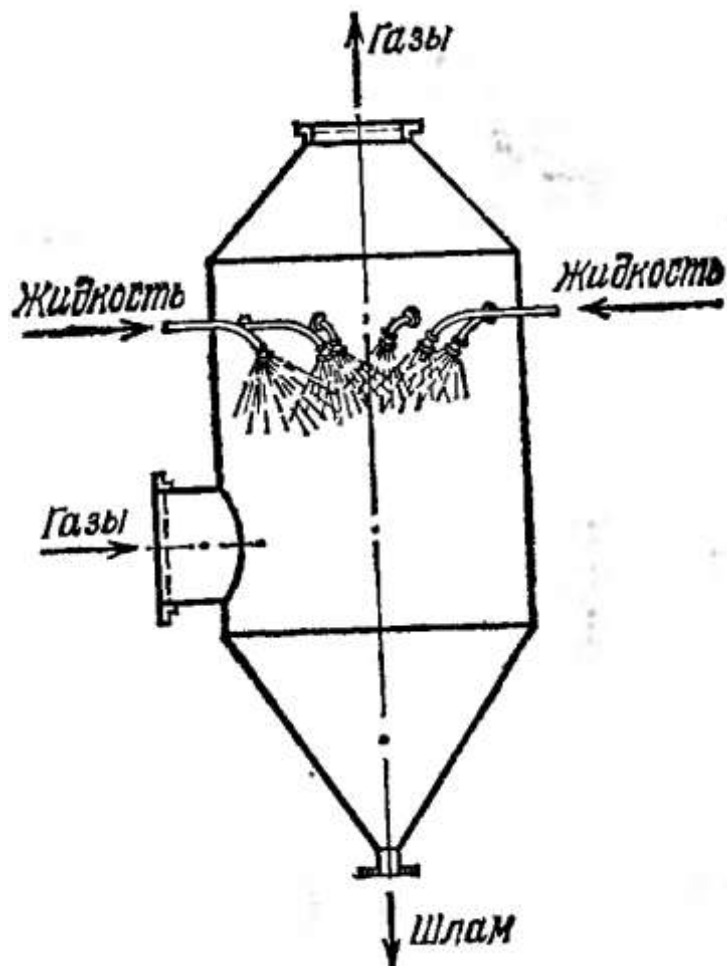


Рисунок 1- Полый форсуночный скруббер

Аппарат представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыливаемыми форсунками. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости.

Наиболее распространенные аппараты этого класса представлены на рисунке 2.

Гидравлическое сопротивление полого скруббера весьма незначительно: при отсутствии каплеуловителя и газораспределителя оно обычно не превышает 250 Па.

Удельный расход жидкости m в полном скруббере принимают

от 0,5 до 10 л/м³

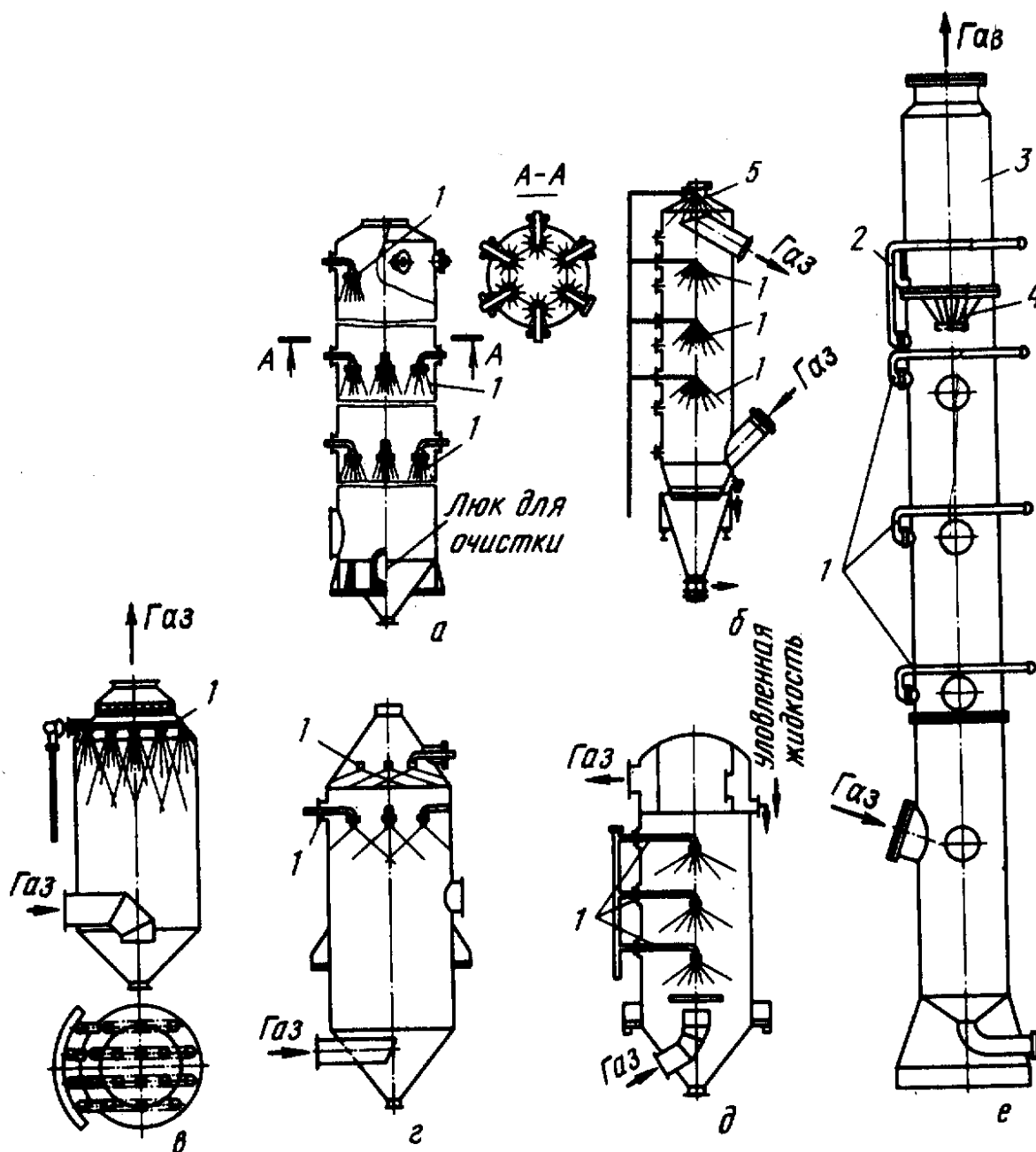


Рисунок 2 - Конструкции полых скрубберов: а - с тарельчатыми форсунками; б - конденсационная башня; в - д - колонны улавливания фтористых газов и аммиака; е - скруббер типа СП; 1 ярусы орошения; 2 - система гидросмыва каплеуловителя; 3 - каплеуловитель; 4 - завихритель; 5 - форсунки газохода

Максимальная эффективность при инерционном осаждении улавливаемых частиц на каплях, падающих под действием силы тяжести в неподвижном воздухе (независимо от размера частиц), достигается при $d_k = 0,6-1,0$ мм. Поэтому, в полых газопромывате-

лях чаще всего используют центробежные форсунки грубого распыла (работающие под давлением от $3 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ Па), которые и создают капли требуемого размера. Такие форсунки позволяют работать на оборотной воде, содержащей взвеси, просты в изготовлении и мало подвержены износу.

На рисунке 3 показаны формы факела форсунок, применяющихся в полых форсуночных скрубберах.

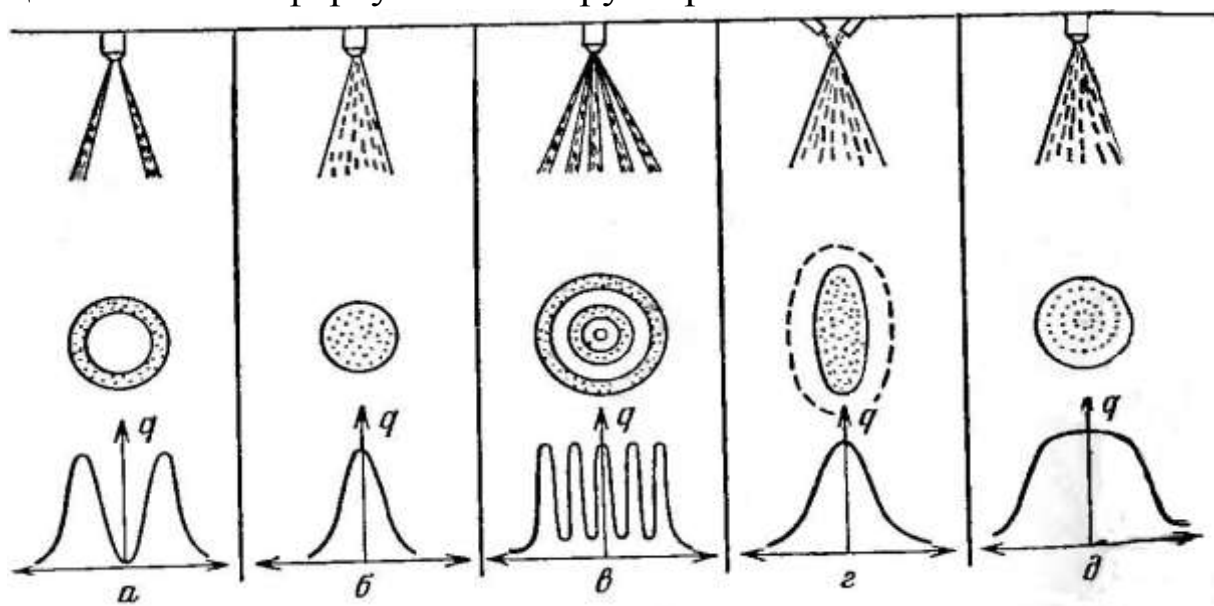


Рисунок 3 – Формы факела форсунок:

- а) центробежная; б) струйная; в) струйно-ударная; г) с соударением струй; д) центробежно-струйная.

При применении высокоскоростных скрубберов с линейной скоростью газов 5-8 м/с рекомендуется установка каплеуловителя.

Степень очистки в полном форсуночном скруббере достигает 99% при улавливании частиц размером > 10 мкм и резко снижается при размере < 5 мкм[3].

Методы расчета эффективности пылеулавливания.

1. *Метод с использованием интеграла вероятности $\Phi(x)$.* В некоторых случаях кривая фракционной эффективности аппарата $\eta_{\phi} = f(d_v)$ при построении в вероятностно - логарифмической системе координат приобретает вид прямой линии, свидетельствующей о том, что она подчиняется логарифмически нормальному за-

кону распределения и может быть записана в виде интеграла вероятности :

$$\eta_{\phi} = \int_{-\infty}^{\lg(d_u/d_{50})} \frac{1}{\lg \sigma_{\eta} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\lg^2(d_u/d_{50})}{\lg^2 \sigma_{\eta}}} \cdot d[\lg(d_u/d_{50})], \quad (1)$$

где $\lg(d_u/d_{50})$ - логарифм отношения текущего размера частиц d_u к диаметру частиц d_{50} , осаждаемых в аппарате при данном режиме его работы на 50 %; $\lg \sigma_{\eta}$ - стандартное отклонение в функции распределения фракционных коэффициентов очистки.

Если распределение подлежащих улавливанию частиц пыли на входе в аппарат является нормально-логарифмическим, то зависимость полного коэффициента очистки можно найти по формуле

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dx = \Phi(x), \quad (2)$$

где $x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_u}}$; d_m – медианный диаметр улавливаемой

пыли; $\lg \sigma_u$ - стандартное отклонение в функции распределения размеров частиц улавливаемой пыли.

Значения нормальной функции распределения $\Phi(x)$ в зависимости от величины x приведены в приложение 1.

Необходимо иметь в виду, что расчет эффективности по формуле (2) возможен только для пылеуловителей, работающих в тех режимах, при которых были найдены значения d_{50} и $\lg \sigma_{\eta}$. Если условия работы отличаются от экспериментальных, то необходимо скорректировать величину d_{50} .

2. Энергетический метод расчета эффективности мокрых пылеуловителей.

Практика показывает, что эффективность мокрых механических пылеуловителей определяется, главным образом затратами энергии на осуществление процесса очистки. Энергия контакта между газом и жидкостью в мокрых пылеуловителях K_c , в общем случае может включать три составляющие: энергию газового потока, характеризующую степень турбулизации газового потока в аппарате; энергию жидкостного потока, характеризующую степень диспергирования жидкости, и механическую энергию вращающихся

элементов конструкции аппарата. Контактная энергия обычно меньше общего расхода энергии в мокрых пылеуловителях, так как не включает в себя потери на трение в аппарате, в отводящих и подводящих патрубках и т.д. В связи с этим точное определение энергии соприкосновения в целом ряде мокрых пылеуловителей представляет определенные трудности.

Величину энергии газового потока обычно принимают равной гидравлическому сопротивлению аппарата ΔP (Па), хотя в действительности, если учитывать потери на трение в «сухом» аппарате, она должна быть несколько меньше. Величина K_q (кДж/1000 м³ газов) обычно рассчитывается по приближенной формуле, которая в общем случае имеет вид

$$K_q = \Delta P + p_{жс} \cdot (Q_{жс} / Q_g) + (N_m / Q_g), \quad (3)$$

где $p_{жс}$ – давление распыливаемой жидкости, Па; Q_g и $Q_{жс}$ – объемный расход соответственно газов, жидкости, м³/с; N_m – мощность вращающегося механизма, расходуемая на контактирование газов с жидкостью, Вт.

Влияние каждого слагаемого зависит от типа аппарата.

Зависимость между степенью очистки и затратами энергии выражается формулой

$$\eta = 1 - e^{-B \cdot K_q^\chi}, \quad (4)$$

где B и χ – константы, определяемые дисперсным составом пыли.

3. *Вероятностно-энергетический метод.* Фракционная эффективность мокрых пылеуловителей, подчиняется логарифмически нормальному закону распределения улавливаемых частиц по размеру. Тогда, при условии, что дисперсный состав пыли на входе в аппарат также подчиняется логарифмически нормальному закону распределения, эффективность очистки можно определить по формуле (2).

Параметр d_{50} рассчитывают по формуле

$$d_{50} = 5945 \cdot (\Delta P + m \cdot p_{жс})^{-0,645} \cdot \rho_c^{-0,5}, \quad (5)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление аппарата, Па;

m – удельный расход жидкости на 1 м³ газа, м³;

$p_{жс}$ – давление орошающей жидкости, Па;

ρ_c – плотность улавливаемых частиц, кг/м³.

Параметр $lg \sigma_\eta$ принимают равным 0,29 для скрубберов типов 1-5, 7-8 и равным 0,43 для скрубберов типа 6.

Задание.

Рассчитать эффективность очистки газового потока от пыли в полом форсуночном скруббере и построить график зависимости эффективности очистки от удельного расхода жидкости $\eta=f(m)$

Исходные данные: Стандартное отклонение в функции распределения размеров частиц улавливаемой пыли $lg \sigma_\tau=0,25$; плотность улавливаемых частиц $\rho_\tau=1200 \text{ кг/м}^3$

Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление орошающей жидкости $p_{ж,}$ МПа	0,3	0,35	0,4	0,3	0,35	0,4	0,3	0,4	0,35	0,3
Медианный диаметр улавливаемой пыли, мкм	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Указания к расчёту:

Расчет полового форсуночного скруббера производится в следующей последовательности.

1. Принимаем гидравлическое сопротивление аппарата $\Delta P=250 \text{ Па}$ [3].

2. Учитывая давление распыливаемой жидкости, по формулам (2) и (5) определяем эффективность пылеулавливания при удельном расходе жидкости $m = 0,001 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

3. Определяем эффективность при значениях удельного расхода жидкости от 0,002 до 0,008 $\text{м}^3/\text{м}^3$ (с шагом 0,001 $\text{м}^3/\text{м}^3$) и строим график зависимости эффективности очистки от удельного расхода жидкости $\eta=f(m)$.

Контрольные вопросы:

1. Преимущества и недостатки мокрых пылеуловителей.
2. Классификация мокрых пылеуловителей.
3. Принцип работы полых форсуночных скрубберов.
4. Расчет эффективности методом с использованием интеграла вероятности $\Phi(x)$.
5. Расчет эффективности энергетическим методом.
6. Расчет эффективности вероятностно-энергетическим методом.

Список используемой литературы:

1. ГОСТ Р 51562-2000 «Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Фильтры рукавные. Пылеуловители мокрые. Требования безопасности. Методы испытаний»: Москва, 2001.
2. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии: изд. 2-ое, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1984.
3. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справ. изд. М.: Металлургия, 1986.
4. Очистка технологических газов в цветной металлургии. Бородин И.Г., Вальдберг А.Ю., Мустафин Г.Ф., Рябчиков С.Я., Цой А.Д. М.: Металлургия, 1992.
5. Юшин В.В. и др. Техника и технология защиты воздушной среды (учебное пособие) М.: Высшая школа, 2008.

Приложение 1
Значения нормальной функции распределения

X	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,06	0,1446	0,00	0,5000	1,08	0,8599
-2,60	0,0047	-1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
-2,50	0,0062	-1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
-2,40	0,0082	-1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729
-2,30	0,0107	-0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
-2,20	0,0139	-0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
-2,10	0,0179	-0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
-2,00	0,0228	-0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
-1,98	0,0239	-0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
-1,96	0,0250	-0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
-1,94	0,0262	-0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
-1,92	0,0274	-0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
-1,90	0,0288	-0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
-1,88	0,0301	-0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
-1,86	0,0314	-0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
-1,84	0,0329	-0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
-1,82	0,0344	-0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
-1,80	0,0359	-0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
-1,78	0,0375	-0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
-1,76	0,0392	-0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279
-1,74	0,0409	-0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,72	0,0427	-0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
-1,70	0,0446	-0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
-1,68	0,0465	-0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
-1,66	0,0485	-0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
-1,64	0,0505	-0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
-1,62	0,0526	-0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
-1,60	0,0548	-0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
-1,58	0,0571	-0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
-1,56	0,0594	-0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
-1,54	0,0618	-0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
-1,52	0,0643	-0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
-1,50	0,0668	-0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
-1,48	0,0694	-0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
-1,46	0,0721	-0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
-1,44	0,0749	-0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
-1,42	0,0778	-0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
-1,40	0,0808	-0,32	0,3745	0,74	0,7703	1,82	0,9656
-1,38	0,0838	-0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
-1,36	0,0869	-0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
-1,34	0,0901	-0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,32	0,0934	-0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713
-1,30	0,0968	-0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
-1,28	0,1003	-0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
-1,26	0,1038	-0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
-1,24	0,1075	-0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
-1,22	0,1112	-0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
-1,20	0,1151	-0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
-1,18	0,1190	-0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
-1,16	0,1230	-0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
-1,14	0,1271	-0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
-1,12	0,1314	-0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
-1,10	0,1357	-0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953