

КОНТРОЛЬНЫЙ

ЭКЗЕМПЛЯР

СССР

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕНЛИВЫЕ УСТРОЙСТВА

Метод расчета

РД 26-01-90-85

Издание официальное

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПРИКАЗОМ СОЮЗХИММАШ
от 15.II.85 № 129

ИСПОЛНИТЕЛИ: В.М.Барабаш, В.И.Бегачев, Л.Н.Брагинский,
Э.А.Васильцов, О.Е.Вишневецкая, Г.В.Горбачева,
Г.Г.Егорова, Е.Г.Козлова, Л.Л.Лалакина,
С.С.Максимова, В.Л.Садовский, В.Г.Ушаков,
А.В.Черников, В.В.Ярошенко

СОГЛАСОВАН Украинским научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом химического машиностроения (УкрНИИхиммаш)

П.П.Прядкин

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ
УСТРОЙСТВА

РД 26-01-90-85

Взамен РТМ 26-01-90-76

Метод расчета

Приказом по Всесоюзному промышленному объединению
№ 129 от 15.II.85 срок введения установлен

с 01.01.86

Настоящий руководящий документ устанавливает метод
расчета процессов перемешивания:

в вертикальных цилиндрических аппаратах вместимостью
до 100 м^3 по ГОСТ 20680-75 при наличии 1, 2, 3 и 4 мешалок
на валу, установленном по оси аппарата;

в вертикальных цилиндрических аппаратах вместимостью
до 1000 м^3 при наличии нескольких перемешивающих устройств,
установленных по окружности, центр которой совпадает с
осью аппарата^х.

Метод расчета распространяется на случаи проведения
химико-технологических процессов в жидких средах:

однородных и гетерогенных с динамической вязкостью не
более $100 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (1000 П);

^х В данном конструктивном варианте возможна также установка
центральной мешалки на валу, соосном с осью аппарата.

ньютоновских, которые по своему реологическому поведению могут быть отнесены к жидкостям псевдопластического типа с эквивалентной динамической вязкостью не более 500 Па.с (5000 П).

Объемная доля дисперсной фазы в перемешиваемой среде не должна превышать:

для системы твердое тело-жидкость - 0,3;

для систем жидкость-жидкость и газ-жидкость - 0,25.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Рекомендации по выбору мешалок и компоновке аппаратов

I.1.1. Аппараты с мешалками применяются для распределения смешиваемых компонентов и теплоты при перемешивании одно- или многофазных жидких сред, а также для интенсификации тепло- и массопереноса при проведении различных химико-технологических процессов^х. Перемешивание может осуществляться мешалками различных типов. Выбор конструкции и числа мешалок зависит от гидродинамического режима перемешивания (турбулентный или ламинарный), а также от технологического назначения аппарата и от соотношений его размеров. Конструкция мешалок и аппаратов, применяемых для перемешивания, должна соответствовать действующей нормативно-технической документации. Использование мешалок и аппаратов, не соответствующих этим документам, не рекомендуется и настоящий

х Методы выбора и расчета аппаратов с мешалками, приведенные в настоящем документе, основаны на результатах обобщения данных, опубликованных в научно-технической литературе (справочное приложение I)

метод расчета на них не распространяется.

В соответствии с ГОСТ 20680-75 допускается использование 1-, 2-, 3- и 4-рядных мешалок. При этом должны соблюдаться следующие условия:

вал перемешивающего устройства должен располагаться по оси аппарата;

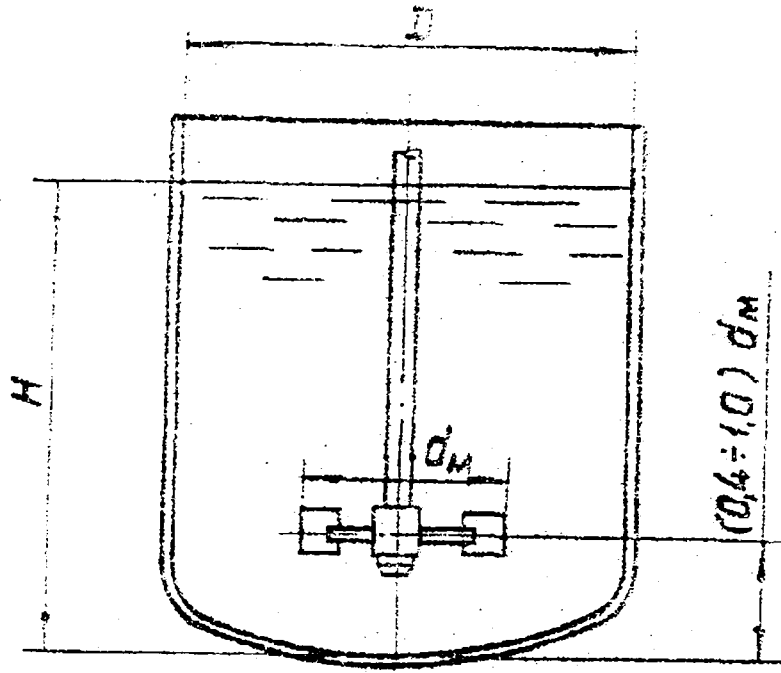
высота установки мешалки над днищем аппарата при значениях отношения диаметра аппарата к диаметру мешалки $\Gamma_D \geq 1,5$ (черт.1) должна быть в пределах $(0,4+1)d_m$ (d_m - диаметр мешалки, $\Gamma_D = D / d_m$), но не выше середины высоты заполнения аппарата при рабочем режиме, а при значениях $\Gamma_D < 1,5$ (черт.2) - в пределах $(0,5+5,0)d_m$ ($\Gamma_D - 1$), но не выше $0,25 D$ (D - внутренний диаметр аппарата);

при установке на валу нескольких мешалок их конструкция и размеры должны быть одинаковыми; расстояние между соседними мешалками должно быть не менее диаметра мешалки. Установка многорядных мешалок рекомендуется только в тех случаях, когда высота жидкости в аппарате превышает диаметр аппарата более чем в 1,3 раза или требуемые условия перемешивания не могут быть обеспечены при использовании одной мешалки.

Конструкции и размеры мешалок должны соответствовать ОСТ 26-01-1245-83.

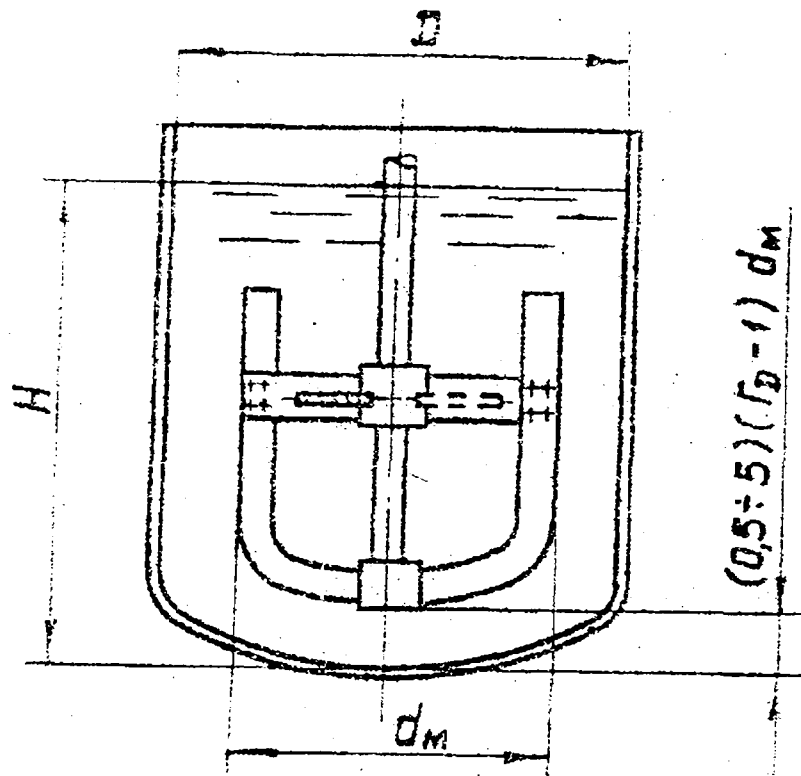
Конструкция и основные геометрические соотношения аппаратов с эмалированными мешалками приведены на черт.3. Основные размеры этих мешалок должны соответствовать ОСТ 26-01-104-78.

Аппарат при $\Gamma_D \geq 1,6$



Черт. 1

Аппарат при $\Gamma_D < 1,5$



Черт. 2

1.1.2. В аппаратах с мешалками могут быть смонтированы: дополнительные устройства, назначением которых является организация потока в аппарате;

внутренние устройства технологического назначения.

В качестве устройств для организации потока могут использоваться:

в эмалированных аппаратах - отражателями (черт.3);

в аппаратах без неметаллических антикоррозионных покрытий - отражательные перегородки (черт.4);

в аппаратах со шнековыми мешалками - направляющие трубы.

Целью установки отражательных перегородок и отражателей является:

исключение образования воронки;

увеличение интенсивности перемешивания;

исключение радиальной сепарации взвешенных частиц, капель или пузырьков газа.

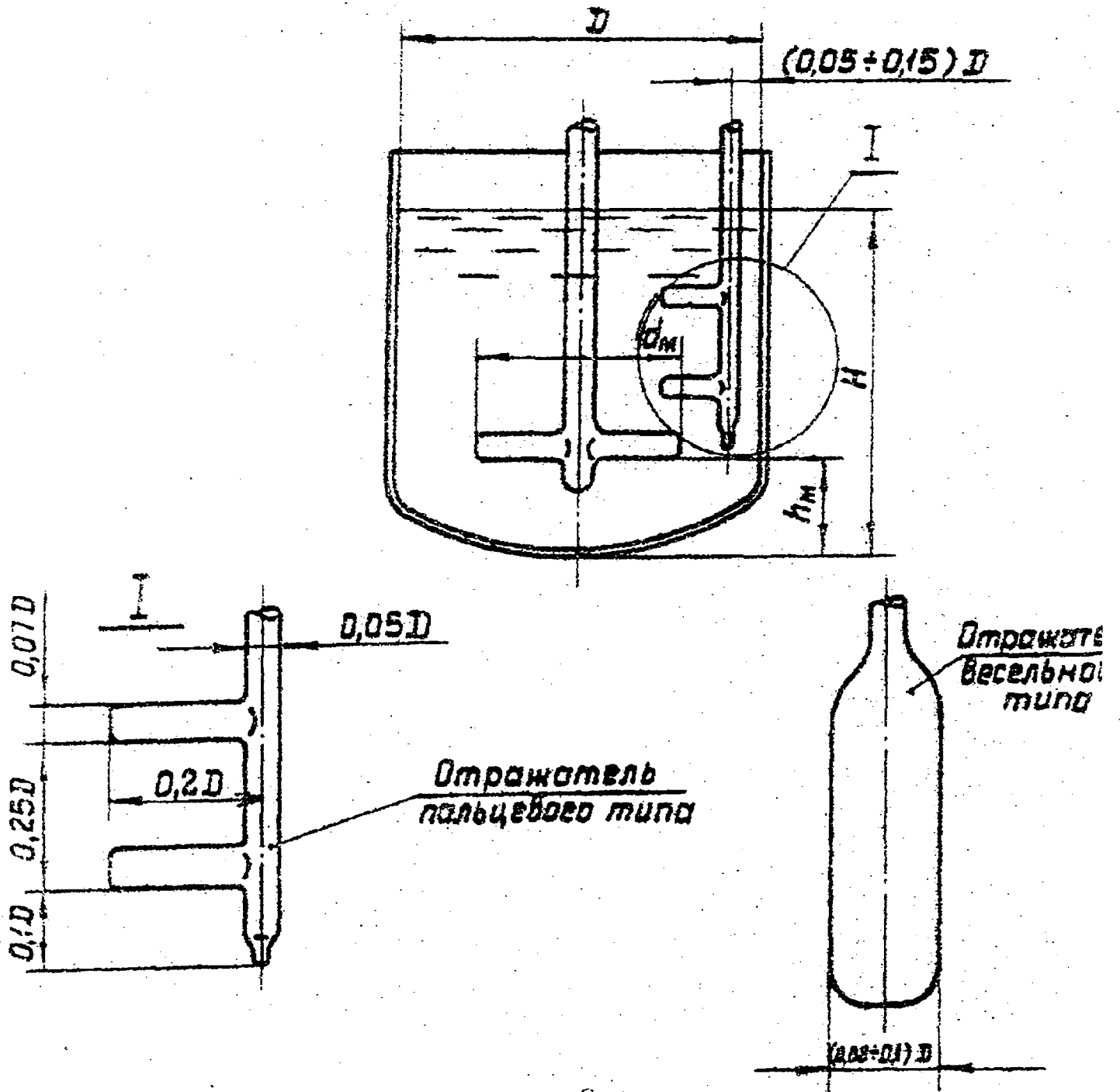
Целью установки направляющей трубы в аппаратах со шнековыми мешалками является увеличение циркуляционного расхода или увеличение поверхности теплообмена.

Рекомендуемые характеристики направляющих труб приведены в разд.3.

Во всех случаях необходимость установки дополнительных устройств должна быть подтверждена расчетом.

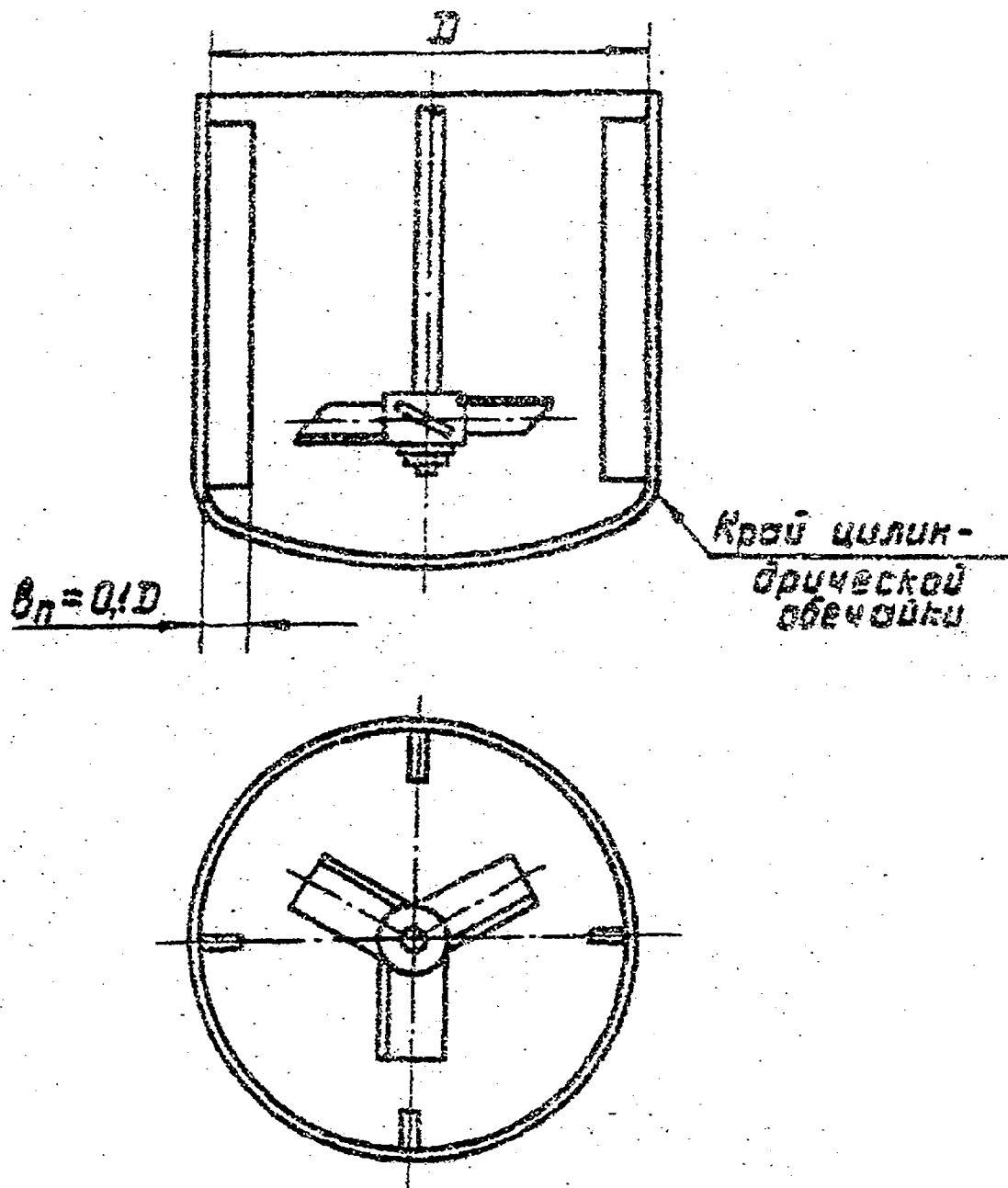
Отражательные перегородки выполняются в виде плоских пластин шириной $0,1 D$ (D - диаметр аппарата); число и установка перегородок должны соответствовать черт.4.

Аппарат эмалированный с отражателем



Черт. 3

Схема установки отражательных перегородок



Черт.4

При перемешивании пенообразующих сред (кроме систем жидкость-газ) для уменьшения пенообразования верхняя кромка отражательных перегородок должна быть расположена ниже уровня заполнения аппарата на глубину, равную ширине перегородки.

Соотношения основных конструктивных размеров эмалированных отражателей приведены на черт. 3.

Для уменьшения вредного воздействия неуравновешенных нагрузок, действующих на вал мешалки, число отражателей должно быть не менее двух; размещение отражателей в аппарате должно быть симметричным относительно оси аппарата.

1.2. Общая характеристика метода расчета

1.2.1. Рекомендуемый метод расчета основан на том, что при установившемся режиме течения жидкости должны выполняться условия равновесия всех приложенных к системе сил и моментов. При вращательном движении жидкости относительно оси аппарата условие равновесия моментов выражается в форме равенства крутящего момента, приложенного к жидкости при движении лопастей мешалки, и момента сопротивления на стенках, днище аппарата и установленных в сосуде внутренних устройствах. Такой подход обеспечивает возможность использования единых расчетных зависимостей для аппаратов с мешалками разных типов. В качестве исходных данных для расчета используются конструктивные характеристики аппарата с мешалкой, физические свойства перемешиваемой среды и параметры техно-

литического процесса, осуществляемого в аппарате. Под тер-
мом "параметры технологического процесса" понимаются ве-
личины, характеризующие поле концентраций и температуры,
интенсивность тепло- и массообмена, необходимые для обеспе-
чения требуемых условий протекания данного технологического
процесса.

1.2.2. Рекомендуемые методы расчета для турбулентного
режима, соответствующего значениям числа Рейнольдса выше
1000, приведены в разд. 2, а для ламинарного режима, соответ-
ствующего значениям числа Рейнольдса ниже 80 или 300 (в за-
висимости от типа мешалки) -- в разд. 3.

Указания относительно метода расчета аппаратов с мешал-
ками для переходной области, соответствующей значениям чис-
ла Рейнольдса от 80 (или 300) до 1000, приведены в разделе 4.

1.2.3. Настоящий руководящий технический материал пре-
усматривает ручное выполнение расчетов в табличной форме
и может служить основой для разработки алгоритмов расчета
на электронной вычислительной машине. При необходимости по-
следовательность выполнения расчетов может быть изменена.

Примеры выполнения расчета применительно к ряду типо-
вых случаев, а также рекомендации по определению некоторых
физических свойств, приведены в приложениях.

1.2.4. Конечной целью расчета является выбор конструк-
тивного варианта аппарата, отвечающего требованиям данного
технологического процесса.

1.2.5. Погрешность рекомендуемых методов расчета,
кроме специально оговоренных случаев, составляет $\pm 10-15\%$.

1.3. Порядок выбора конструктивных вариантов

1.3.1. Содержанием расчета является проверка применимости предварительно выбранного варианта аппарата с мешалкой для проведения заданного технологического процесса.

1.3.2. При предварительном выборе конструктивных вариантов следует руководствоваться следующими рекомендациями:

вместимость аппарата выбирать исходя из результатов технологических расчетов;

при выборе типа мешалки руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. I;

предпочтительно использовать аппараты, предусмотренные каталогами, в связи с этим проверка применимости аппаратов по каталогам является первым этапом расчета. При этом оптимальным является вариант с приводом минимальной мощности;

в случаях, когда в каталогах отсутствуют аппараты с требуемыми параметрами (например, на данное давление) или когда аппараты по каталогам не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к перемешиванию, предварительный выбор типа и размеров мешалки, а также частоты вращения вала осуществляется на основе табл. I и действующих стандартов;

при конструировании аппаратов на основе действующих стандартов предпочтительным является выбор вариантов без дополнительных внутренних устройств.

1.3.3. Номинальная мощность применяемого привода должна выбираться с учетом пусковых перегрузок, которые составляют:

Рекомендуемые типы мешалок в зависимости от технологического назначения аппарата

Назначение аппарата	Гидродинамический режим	Рекомендуемый тип мешалки	Внутренние устройства (кроме мешалки)
Смешение взаиморастворимых жидкостей, в том числе при наличии химической реакции	Турбулентный	Трехлопастная, шестилопастная, лопастная, клетьевая, турбинная, лопастная, трехлопастная с наклонными лопастями, эмалированные мешалки всех типов	Отсутствуют
	Ламинарный	Ленточная, шнековая, рамная, ленточная со скребками ^х , якорная эмалированная	Отсутствуют
		Шнековая	Циркуляционная труба
Перемешивание суспензий, ^{хх} растворение, реакции в системе жидкость-твердая фаза	Турбулентный	Лопастная, шестилопастная, турбинная, клетьевая, эмалированные мешалки всех типов	Отсутствуют

х Рекомендуется только при наличии интенсивного теплообмена.

хх Применение аппаратов без отражательных перегородок для суспенцирования частиц, плотность которых меньше плотности среды, не рекомендуется.

Продолжение табл. I

Назначение аппарата	Гидродинамический режим	Рекомендуемый тип мешалки	Внутренние устройства (кроме мешалки)
Перемешивание суспензий, растворение, реакции в системе жидкость-твердая фаза	Турбулентный	Турбинная, трехлопастная с наклонными лопастями, эмалированная лопастная и трехлопастная	Отражательные перегородки, отражатели
	Ламинарный	Ленточная, шнековая, ленточная со скребками ^{XX} , якорная эмалированная	Отсутствуют
		Шнековая	Циркуляционная труба
Перемешивание несмешивающихся жидкостей, массообмен в системе жидкость-жидкость, в том числе при наличии химической реакции	Турбулентный	Турбинная, шестилопастная, клетьевая, трехлопастная Эмалированная лопастная и трехлопастная	Отражательные перегородки Отражатели
	Ламинарный	Шнековая, ленточная, рамная, якорная, эмалированная	Отсутствуют
		Шнековая	Циркуляционная труба

*) Применение аппаратов без отражательных перегородок для суспендирования частиц, плотность которых меньше плотности среды, не рекомендуется.
 **) Рекомендуется только при наличии интенсивного теплообмена.

Назначение аппарата	Гидродинамический режим	Рекомендуемый тип мешалки	Внутренние устройства (кроме мешалки)
Перемешивание и массообмен в системах газ-жидкость, в том числе при наличии химической реакции	Турбулентный	Турбинная (в т.ч. многорядная)	Отражательные перегородки
		Эмалированная лопастная и трехлопастная	Отражатели
	Ламинарный	Шнековая, ленточная, рамная, якорная эмалированная	Отсутствуют
		Шнековая ^x	Циркуляционная труба

x Рекомендуется только при наличии интенсивного теплообмена

20 % - для аппаратов с отражательными перегородками, а также для аппаратов, работающих при числах Рейнольдса не более 500;

100 % - для аппаратов без внутренних устройств при числах Рейнольдса более 500 и при $\Gamma_D < 1,5$;

50 % - при $\Gamma_D > 1,5$; для аппаратов без внутренних устройств при числах Рейнольдса более 500;

30 % - для аппаратов с дополнительными внутренними устройствами при числах Рейнольдса более 500.

При прочностных расчетах максимальное значение мощности должно приниматься в 1,5 раза выше номинальной мощности привода.

2. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ

2.1. Общие сведения

2.1.1. Методы расчета перемешивания при турбулентном режиме распространяются на область значений числа Рейнольдса ($Re_{\text{ц}}$) от 10^3 до 10^6 . В случаях, если $Re_{\text{ц}} > 10^6$, в расчетные уравнения следует подставлять значение $Re_{\text{ц}} = 10^6$ (хотя это и приводит к некоторому увеличению запаса мощности).

Основой рекомендуемых методов расчета является учет влияния характеристик гидродинамики (скорость потока, удельная мощность) на интенсивность процессов турбулентного переноса при перемешивании. Применительно к аппаратам без отражательных перегородок, в которых осевая и радиальная состав-

ляющие скорости потока существенно меньше окружной, в качестве гидродинамической основы расчета используются характеристики профиля окружной скорости. Расчет аппаратов с стратифицированными перегородками основывается на использовании осредненного значения скорости потока.

2.2. Конструктивные характеристики аппаратов и мешалок

2.2.1. Конструктивные типы мешалок, соотношения геометрических размеров их элементов, а также пределы значений соотношения диаметров аппаратов и мешалок, на которые распространяются методы расчета, содержащиеся в настоящем разделе, приведены в табл.2. Конструкции мешалок представлены на черт.5...17.

При выполнении расчетов влияние конструктивных особенностей мешалок учитывается путем использования двух коэффициентов - коэффициента сопротивления мешалки ζ_m и коэффициента циркуляционного расхода K_2 . Значения этих коэффициентов при турбулентном режиме являются постоянными величинами и приведены в табл.2.

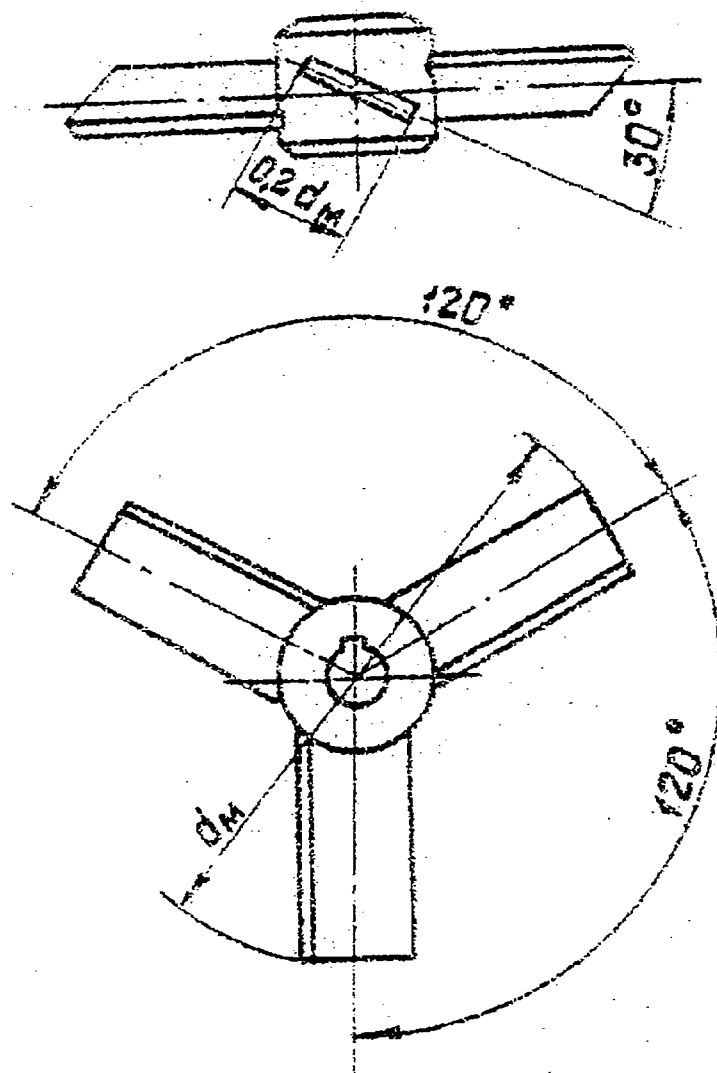
Для мешалок по ОСТ 26-01-1245-83 с шириной лопастей, отличной от указанной в табл.2, значение ζ_m определяется по формуле

$$\zeta_m = \zeta_n z_n \frac{2h_n}{d_m},$$

где z_n - число лопастей; h_n - высота лопасти мешалки

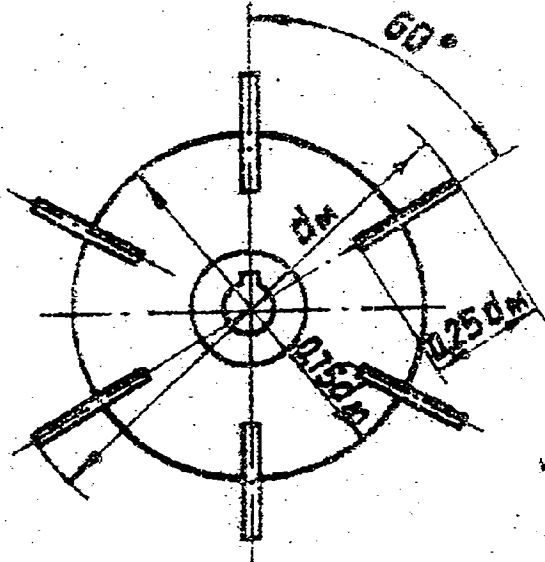
ζ_n - коэффициент сопротивления лопасти мешалки;

Трехлопастная мешалка типа 01



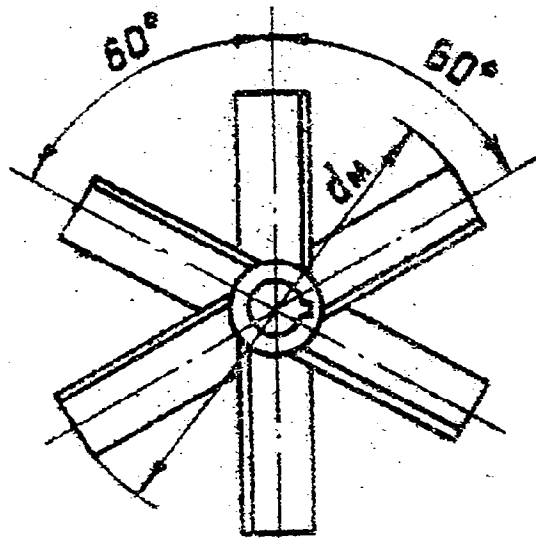
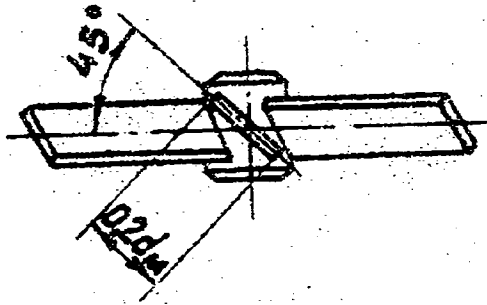
Черт. 5

Турбинная открытая мешалка типа 03



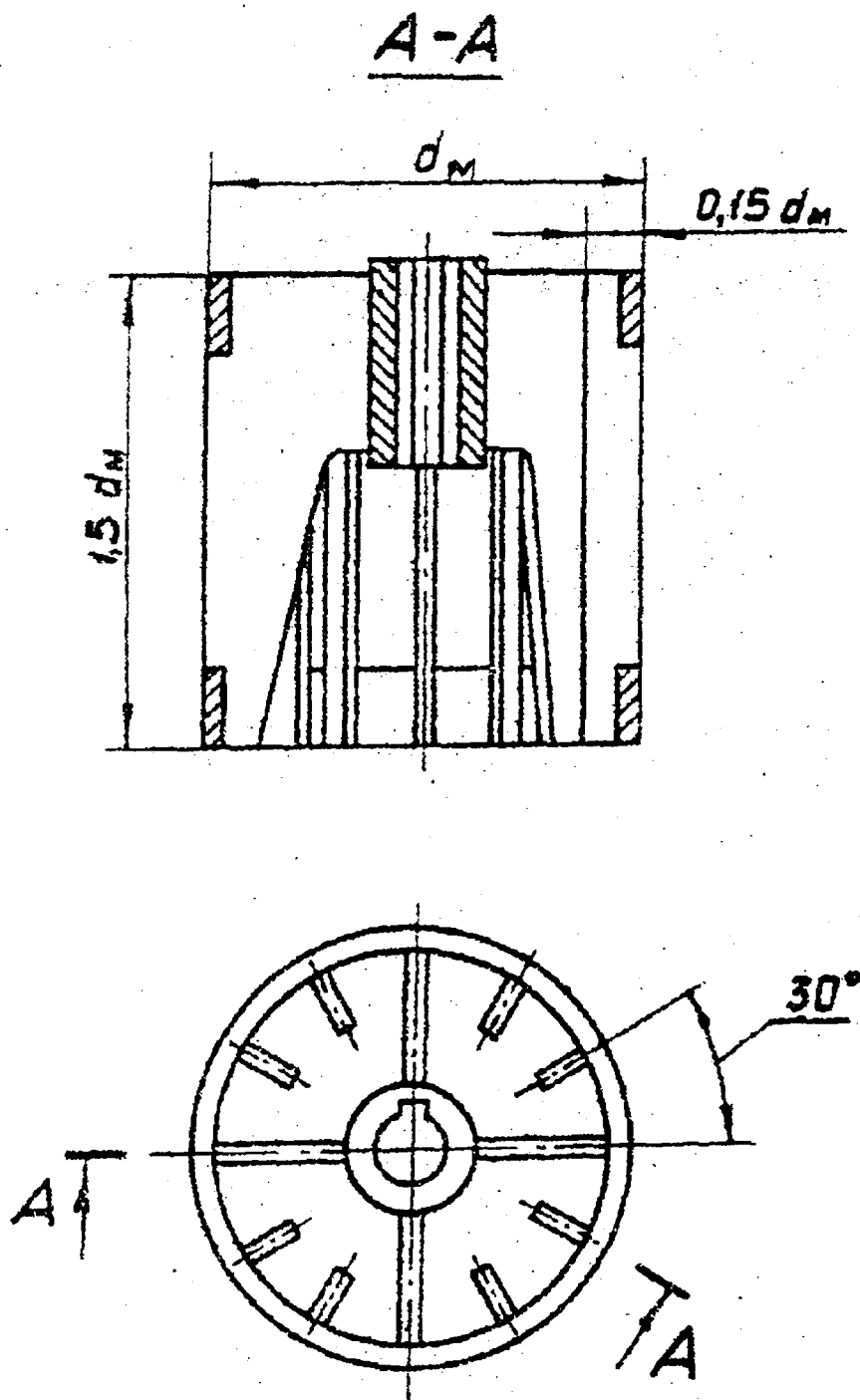
Черт.6

Шестилопастная мешалка типа 05



Черт.7

Клетчатая мешалка типа 06



Черт. 8

ПОДСОТНАН МОНАМАТ ТИПА 07

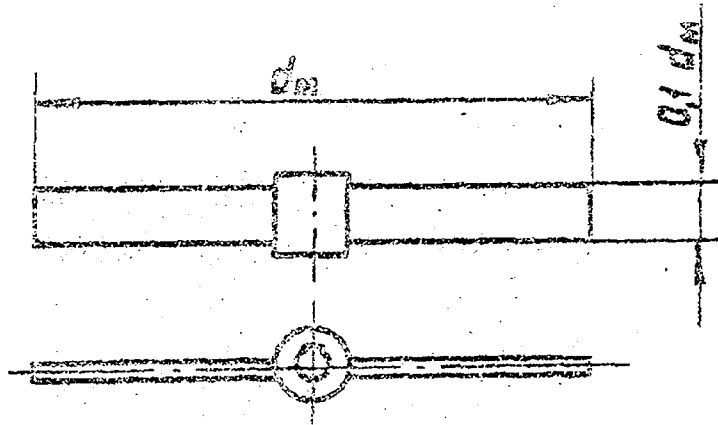


Рис. 9

РАСЧЕТ МОНАМАТ ТИПА 10

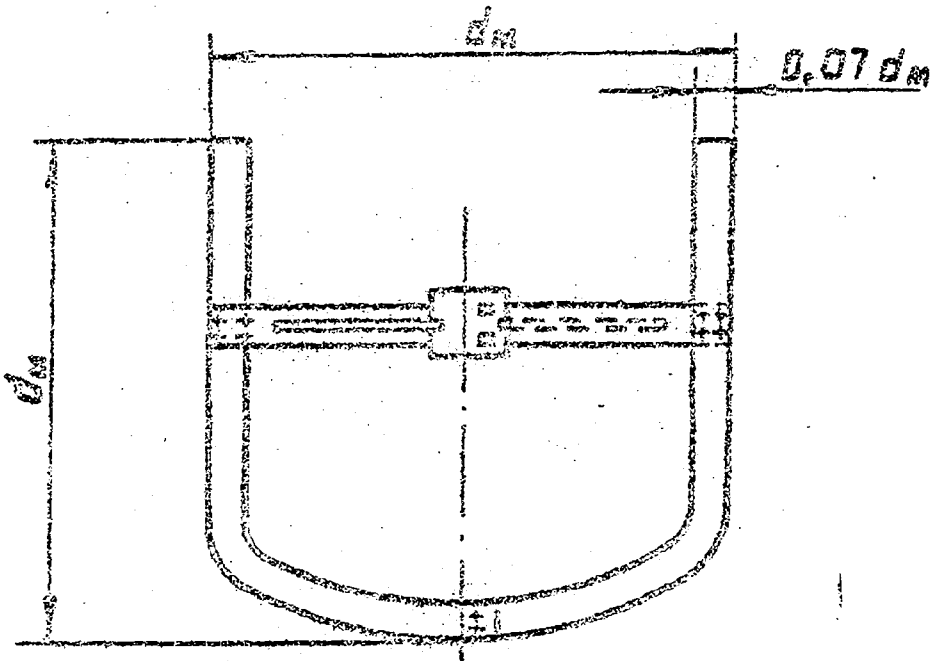
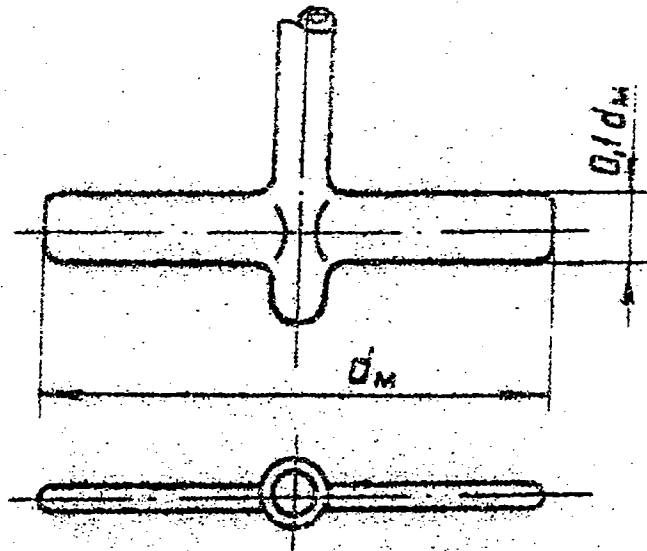


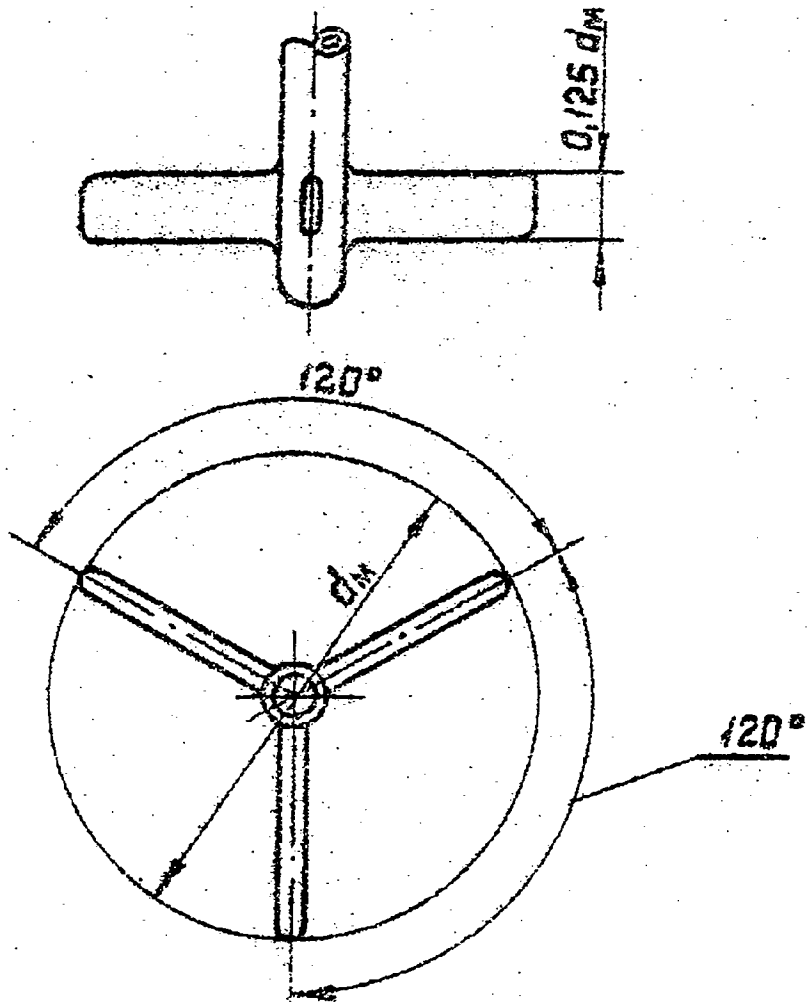
Рис. 10

Лопастная эмалевая мешалка



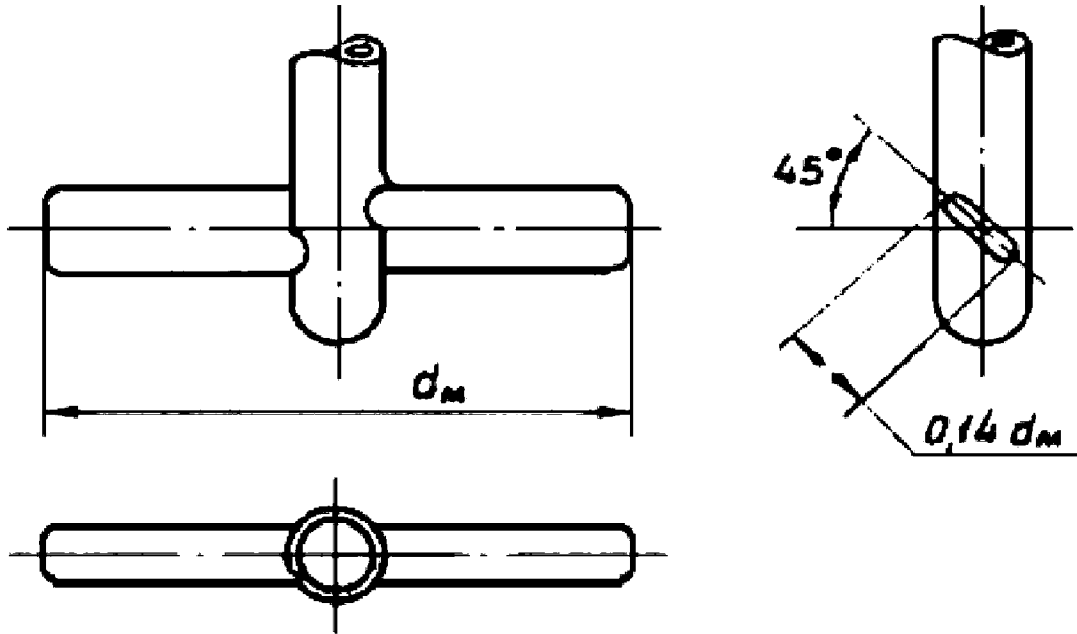
Черт. II

Трехлопастная эмалевая мешалка



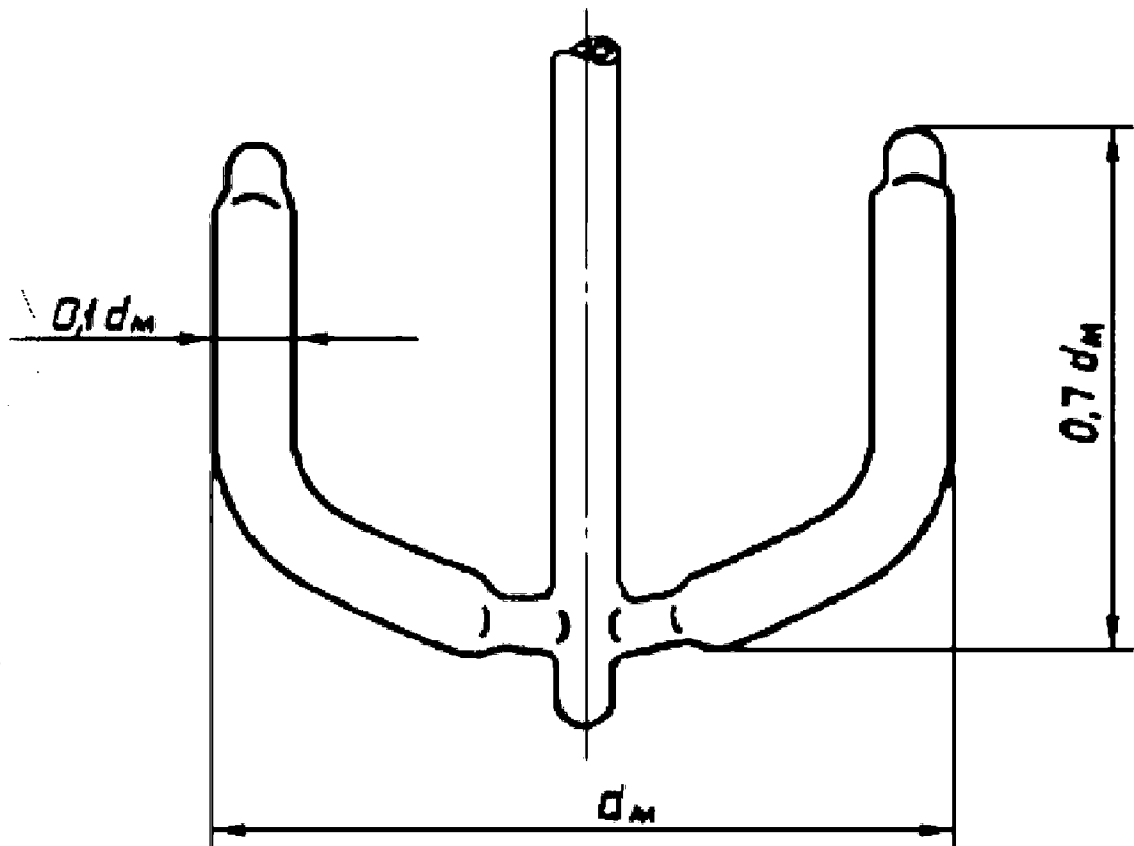
Черт. 12

Испытная сварочная деталь с параллельными швами



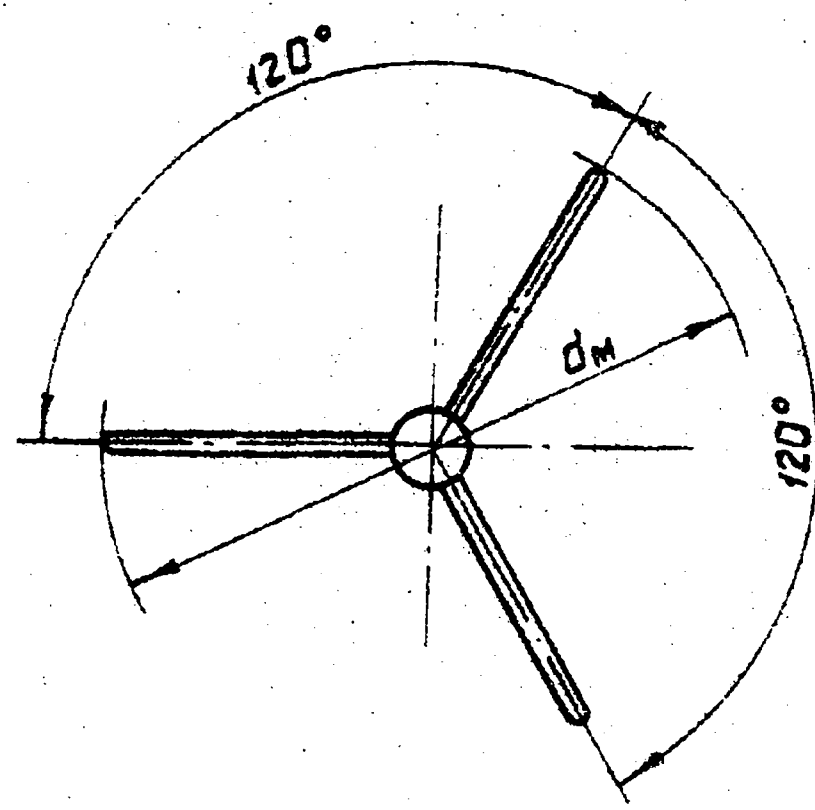
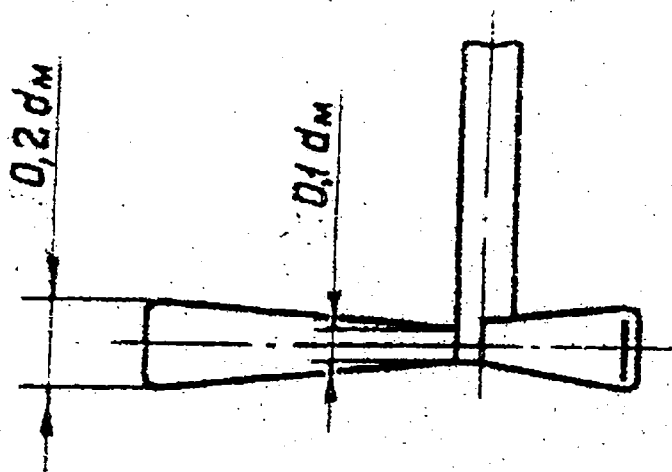
Черт. 13

Испытная сварочная деталь



Черт. 14

Трехлопастная гуммированная мешалка



Черт. 15

Вращающаяся машина

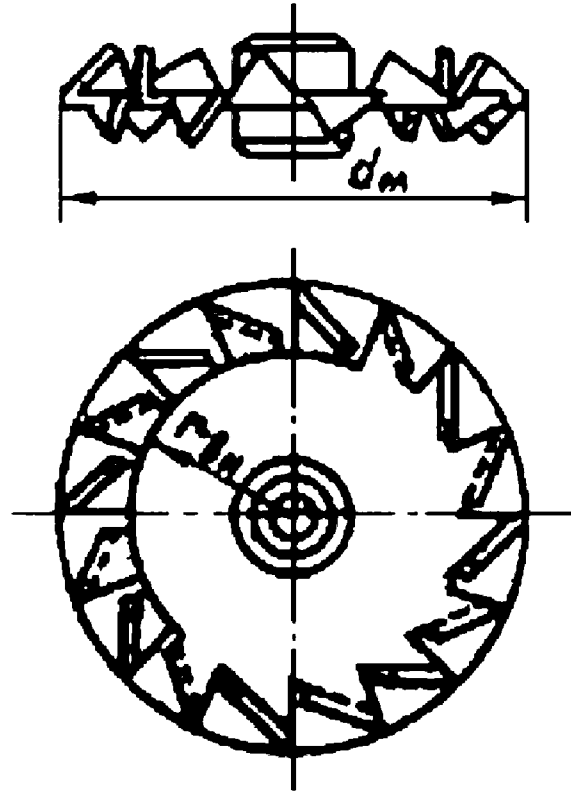


Рис. 16

Средняя машина

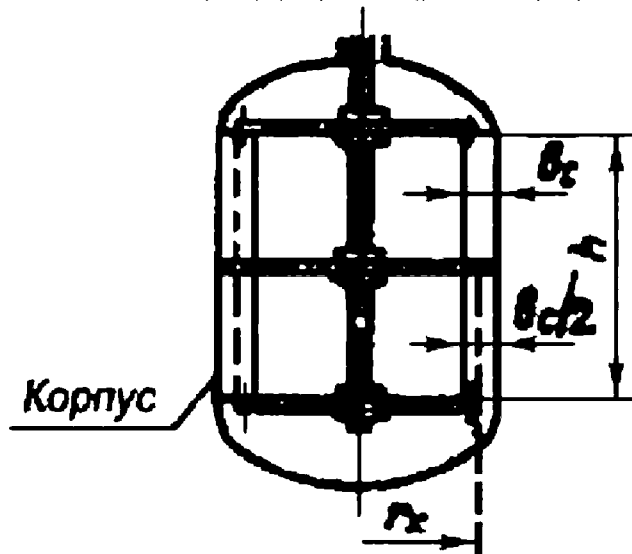


Рис. 17

$\zeta_n = 2.2$ - для 2-лопастных мешалок; $\zeta_n = 3.5$ - для открытых турбинных мешалок.

Таблица 2

Основные характеристики мешалок

Тип мешалки	Индекс мешалки по ГОСТ 20680-75	Номер чертежа	Коэффициент		Отношение диаметров аппарата и мешалки $\Gamma_D = D/d_n$	Отношение высоты лопасти*) мешалки к ее радиусу
			сопротивления ζ_n	расхода K_2		
Трехлопастная	01	5	0,56	0,0028	3+6	0,2
Турбинная открытая	03	6	8,4	0,0013		0,4
Шестилопастная	05	7	3,0		2+4	0,28
Клетчатая	06	8	23,5		3+6	3,0
Лопастная	07	9	0,88		1,5+2,5	0,2
Рамная	10	10	1,28	0,033	1,1+1,3	2,0
Лопастная эмалированная	-	II	0,88	0,0013	1,2	0,2

*) В обоснованных случаях допускается увеличение или уменьшение высоты лопасти мешалки по сравнению с указанной в табл.2 не более чем на 25 % (ОСТ 26-01-1245-83)

Продолжение табл.

Тип мешалки	Индекс мешалки по ГОСТ 20680-75	Номер чертежа	Коэффициент		Отношение диаметров аппарата и мешалки $T_D = D/d$	Отношение высоты лопасти мешалки к ее радиусу
			со-про-тив-ле-ния ζ_m	расхода K_2		
Трехлопастная эмалированная	-	12	2,3	0,0013		0,25
Лопастная с наклонными лопастями эмалированная	-	13	1,0	0,0028	1,5; 3,0	0,2
Якорная эмалированная	-	14	1,28	0,0013	1,15; 1,5; 2,0	1,4
Трехлопастная гуммированная	-	15	2,8		2,0; 2,8; 3,0	Переменное ^х
Фрезерная	-	16	1,5	0,002	3; 6	-
Скребокная	-	17	-	-	1	-
ПроPELLерная	-	-	0,55	0,0028	3; 6	-

х Отношение высоты лопасти трехлопастной гуммированной мешалки к ее диаметру переменное: у ступицы - 0,1;
у края лопасти - 0,2 (см. черт. 15)

2.3. Гидродинамический расчет аппаратов

2.3.1. Настоящий раздел содержит методы расчета характеристик поля скоростей, глубины воронки и мощности при турбулентном режиме перемешивания.

Перечень исходных данных, используемых при расчетах, приведен в табл. 8.

2.3.2. Аппараты без внутренних устройств

2.3.2.1. Расчет параметров профиля окружной скорости

Распределение окружной скорости по радиусу аппарата v зависит от отношения диаметров аппарата и мешалки Γ_D и соответствует уравнениям:

для $\Gamma_D \geq 1,5$:

$$v = 2\pi n r \left[\psi_1 \left(\frac{2r}{d_m} \right)^3 + \psi_2 \left(\frac{2r}{d_m} \right)^2 + 1 \right] - \text{при } 0 \leq r \leq \frac{d_m}{2};$$

$$v = \pi n d_m^2 (\psi_1 + \psi_2 + 1) / (2r) - \text{при } \frac{d_m}{2} \leq r \leq \frac{D}{2},$$

для $\Gamma_D \leq 1,33$:

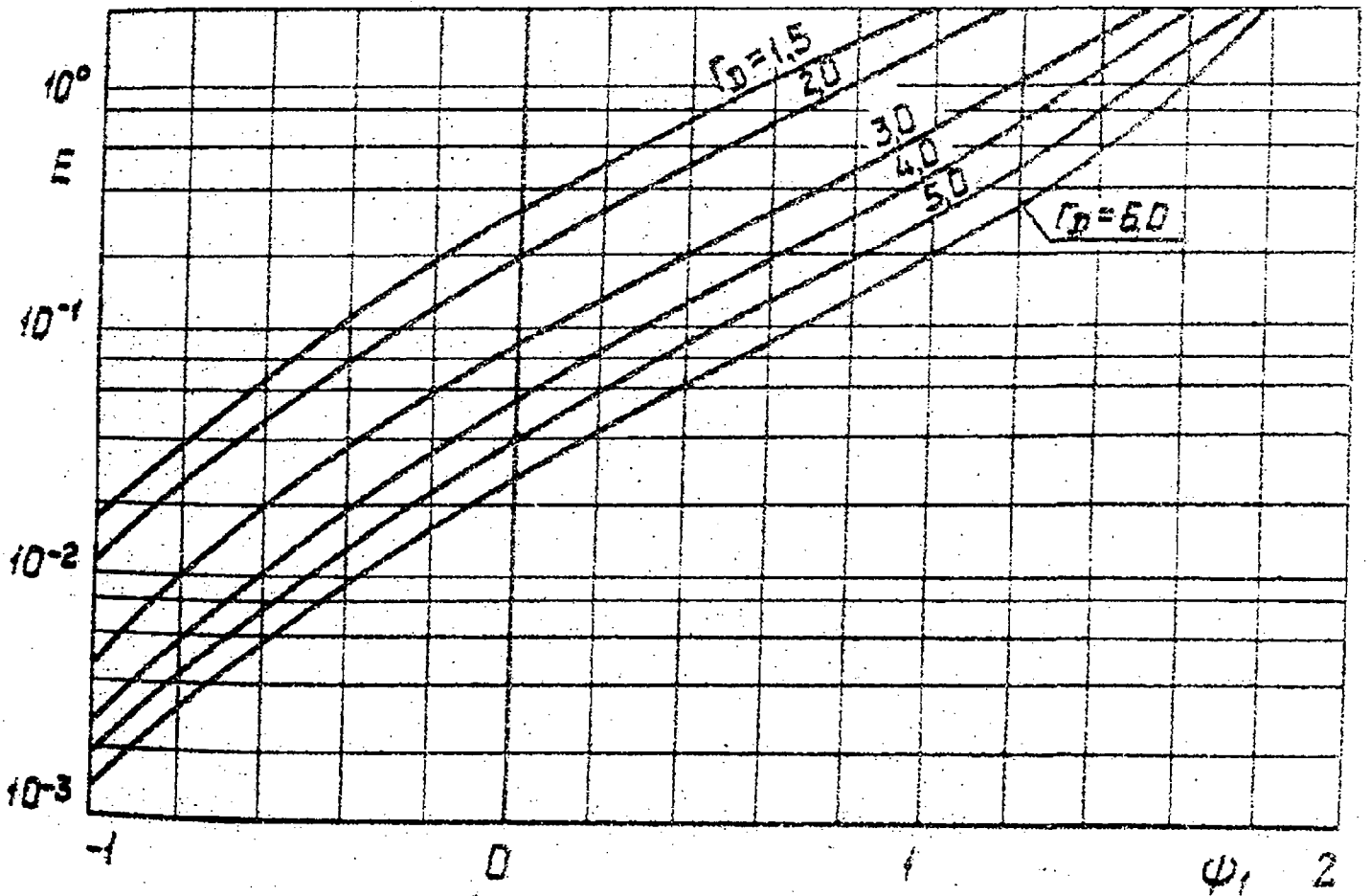
$$v = 2\pi n r \left[\psi_1 \left(\frac{2r}{d_m} \right)^3 + \psi_2 \left(\frac{2r}{d_m} \right)^2 + 1 \right] - \text{при } 0 \leq r \leq \frac{d_m}{2};$$

$$v = \pi n d_m (\psi_1 + \psi_2 + 1) \left(\frac{D - 2r}{D - d_m} \right)^{1/7} - \text{при } \frac{d_m}{2} \leq r \leq \frac{D}{2},$$

где r - текущее значение радиуса, м.

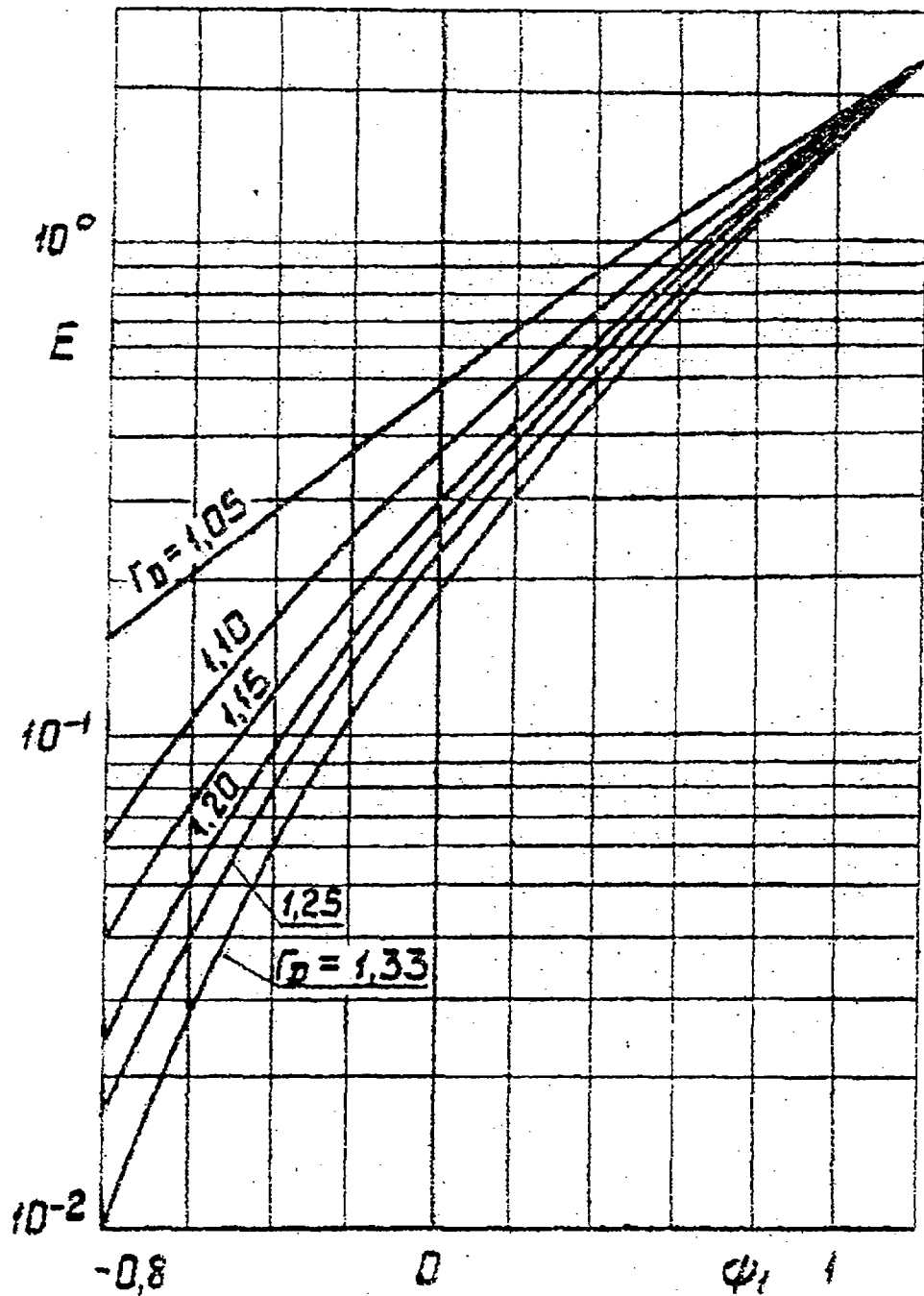
Параметры ψ_1 , ψ_2 и ψ_3 следует принимать по черт. 18... 24.

Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(E)$
 для мешалок типа:
 01; 03; 04; 05; 07; эмалированных лопастных,
 фрезерных и пропеллерных при $\Gamma_D \geq 1,5$



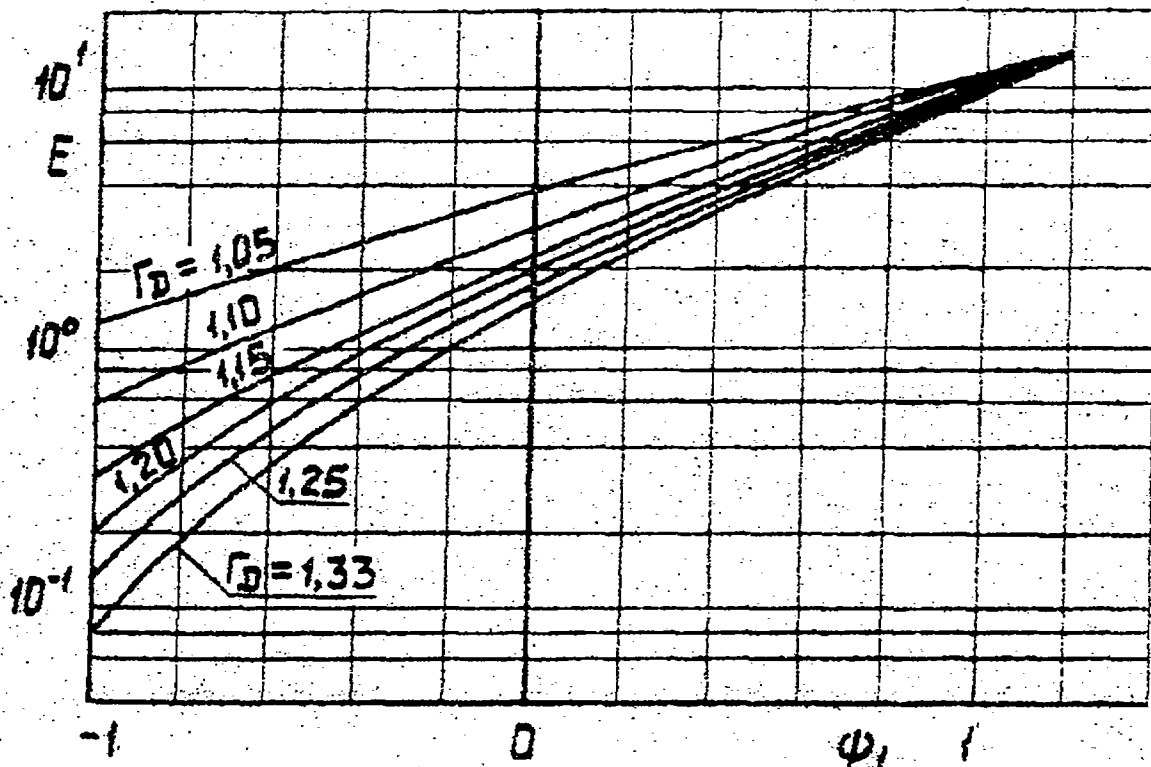
Черт. 18

Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(E)$
для мешалок типа: 01; 03; 04; 05; 07, эмали-
рованных лопастных, фрезерных и пропеллерных
при $\Gamma_D \leq 1,33$



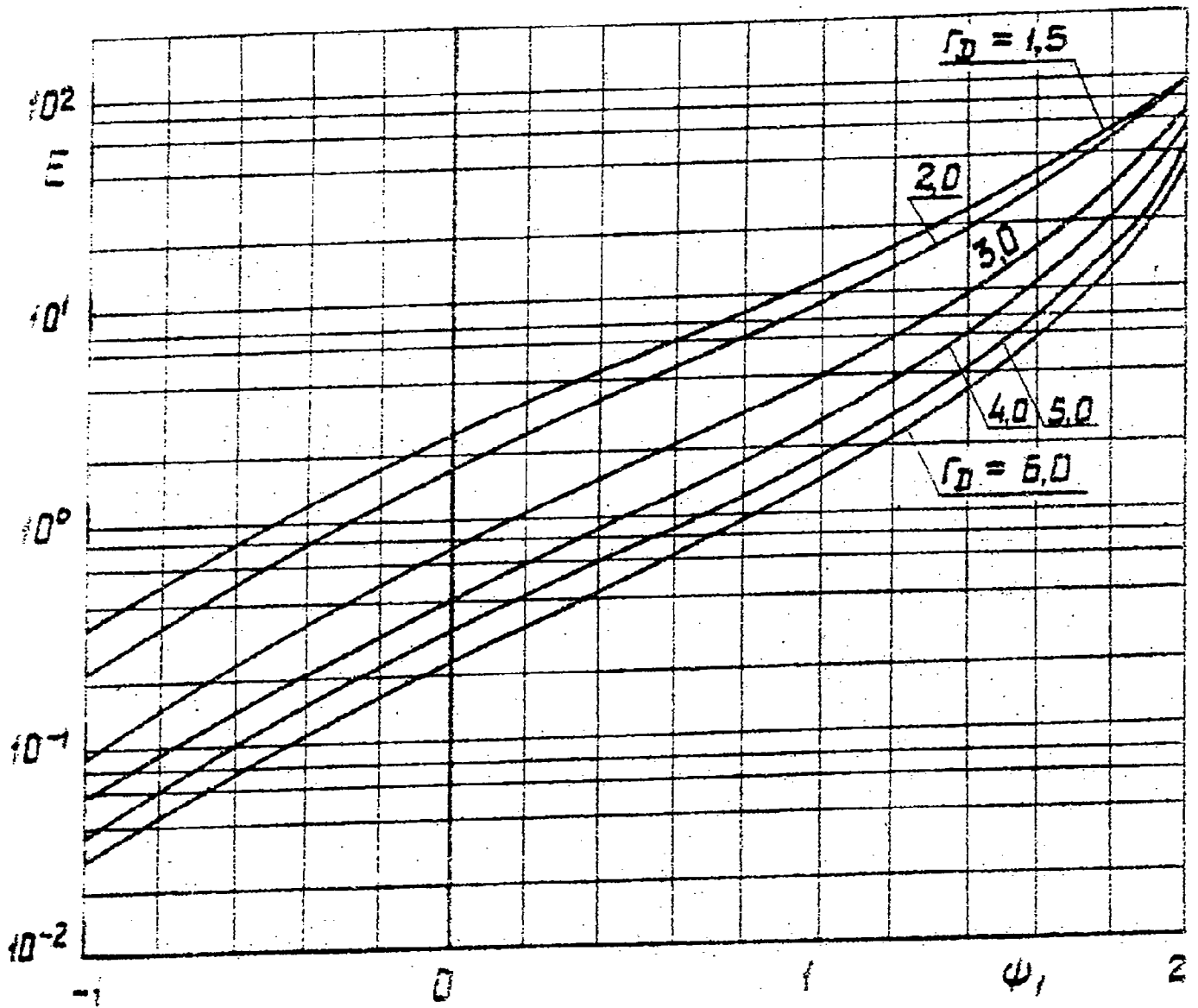
Черт. 19

Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(E)$
 для мешалок типа: 10 и эмалированных якорных
 при $\Gamma_D \leq 1,33$



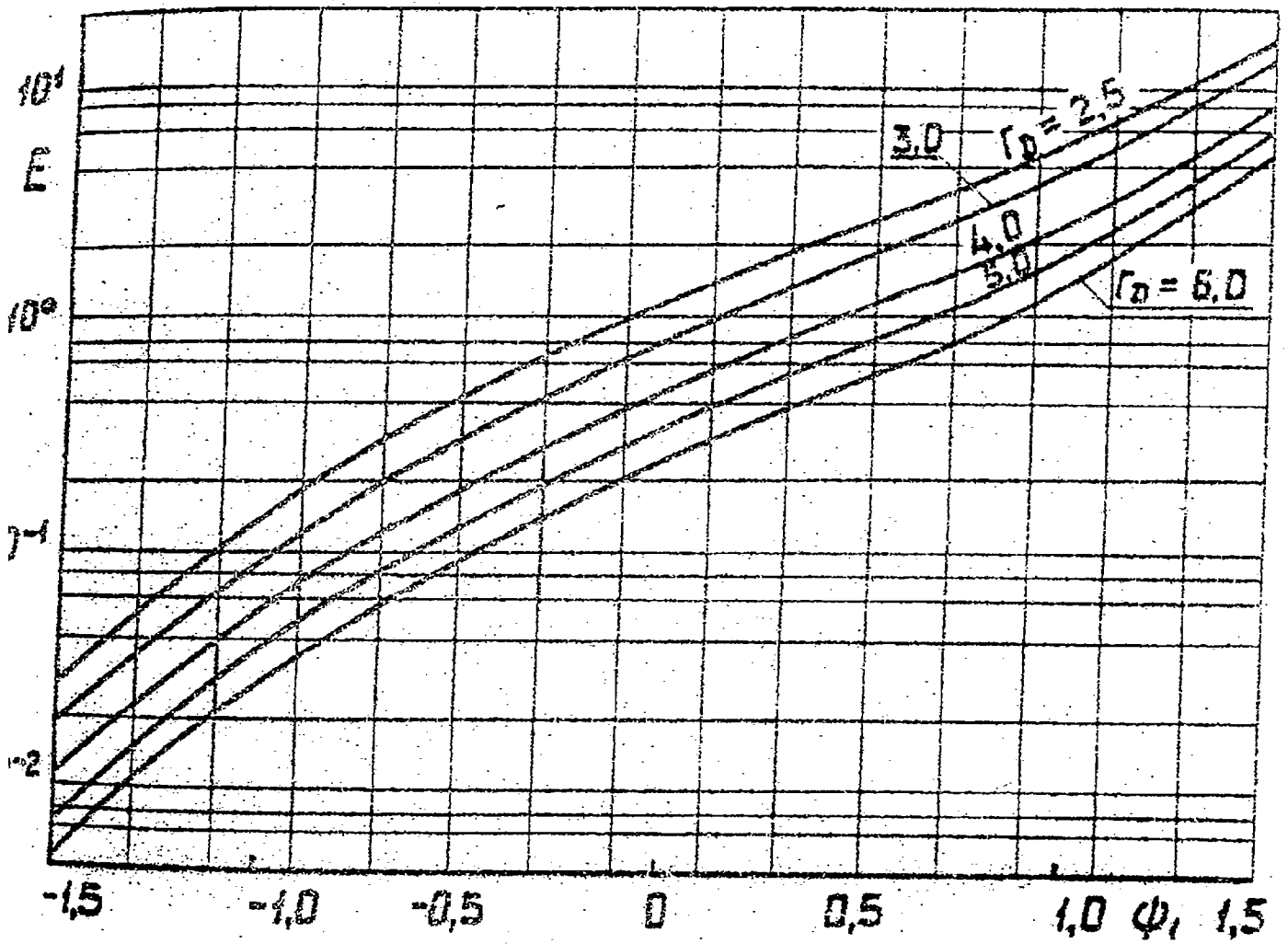
Черт. 20

Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(E)$
для мешалок типа: IO и эмалированных якорных
при $\Gamma_D \geq 1,5$



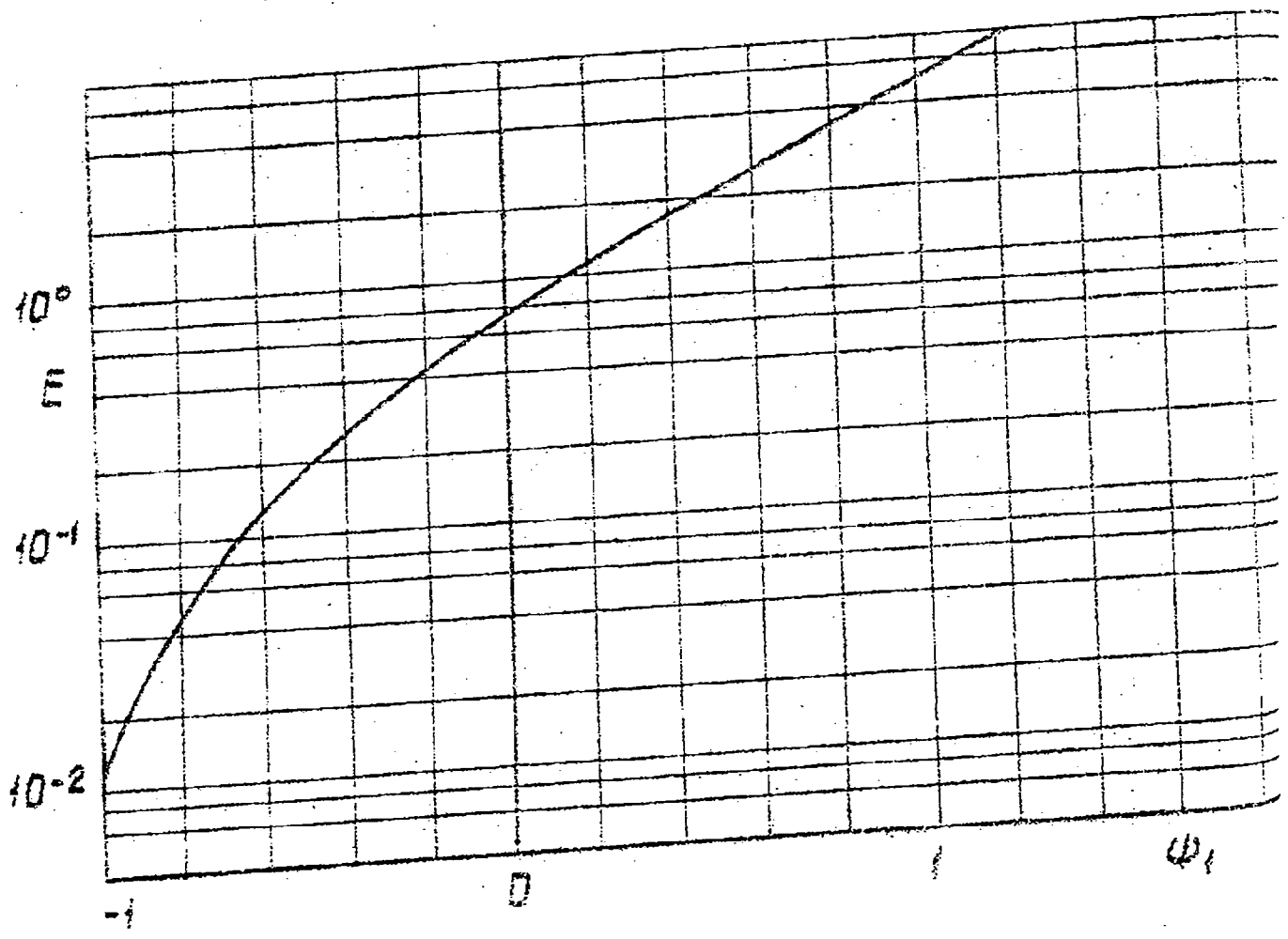
Черт. 21

Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(E)$
 для клетчатых мешалок



Черт. 22

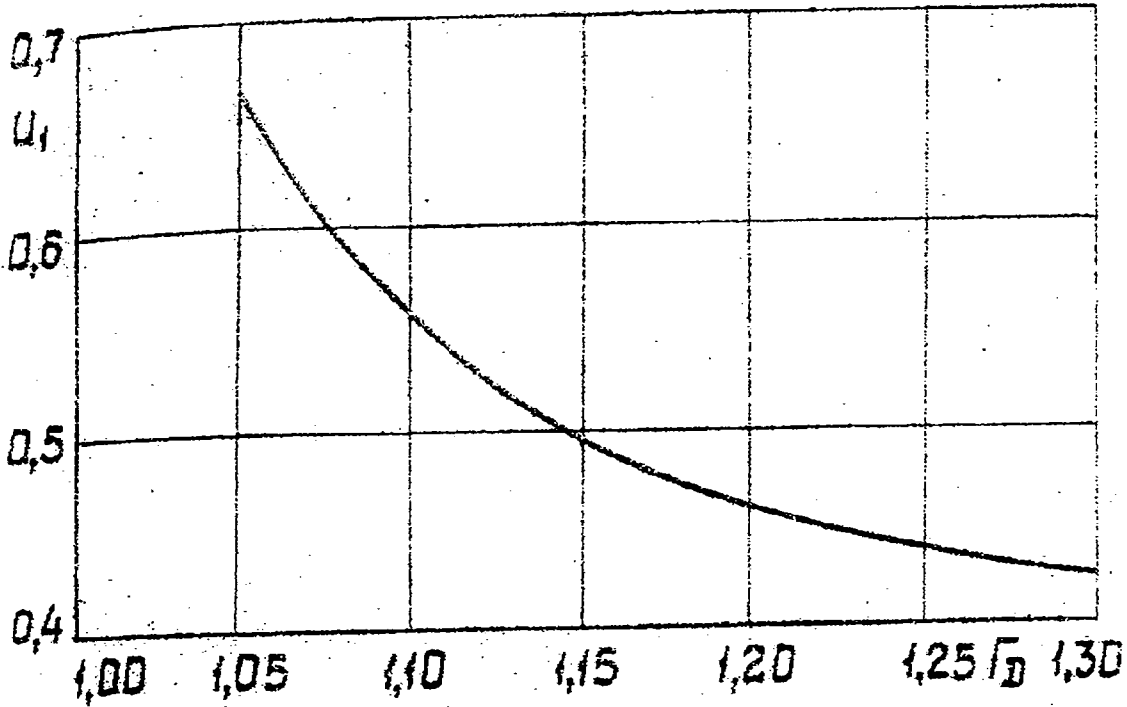
Параметр распределения скорости $\psi_1 = f(\epsilon)$
для скрепковых мешалок при $\left[\frac{D}{D} \right] = 1$



Черт. 23

Параметры u_1 и u_2 для $\Gamma_D \leq 1,33$

а) $u_1 = f(\Gamma_D)$



б) $u_2 = f(\Gamma_D)$

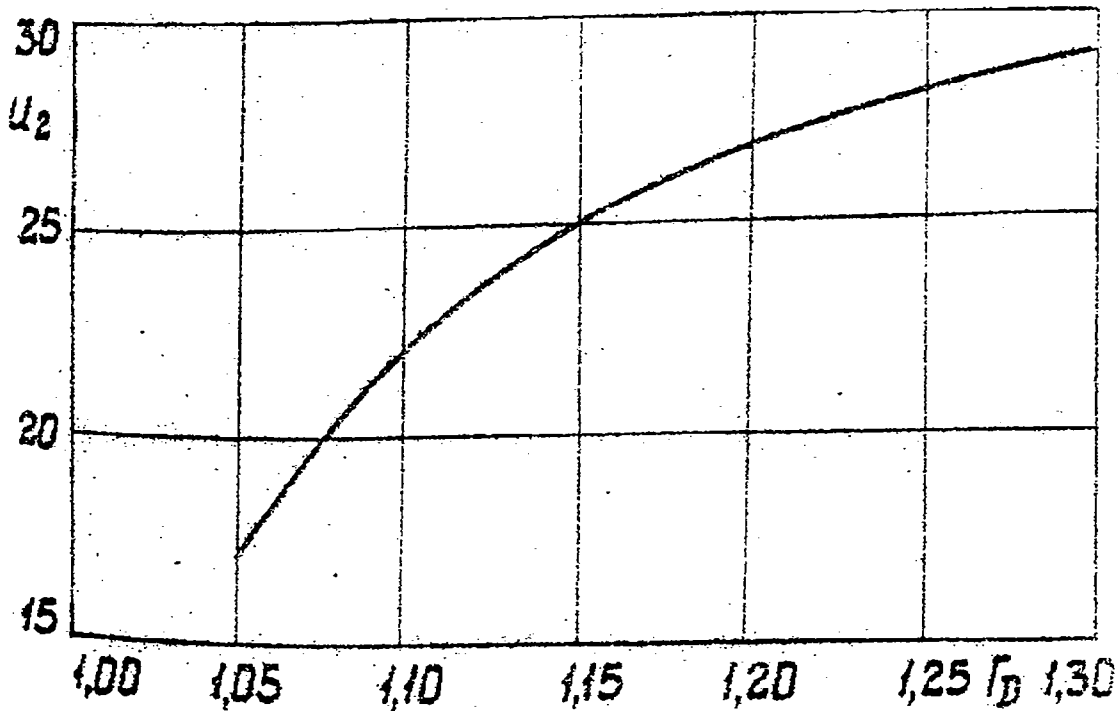


Таблица 3

Исходные данные для гидродинамического расчета

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Характеристика аппарата и мешалки		
1. Диаметр аппарата, м	D	
2. Высота заполнения аппарата, м	H	
3. Число мешалок на валу	n_m	
4. Тип и индекс мешалки	-	
5. Коэффициент сопротивления мешалки	ζ_m (см. разд. 2.2 РД 26-01-90-85)	
6. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	
7. Диаметр мешалки, м	d_m	
Физические характеристики среды		
8. Ускорение свободного падения, m/c^2	g	9,81
9. Плотность, kg/m^3	ρ	
10. Динамическая вязкость среды, $Pa \cdot c$	μ	

Рекомендуемый метод расчета параметров ψ_1 и ψ_2 основан на учете гидравлического сопротивления мешалки и корпуса аппарата и изложен в табл. 4.

Таблица 4

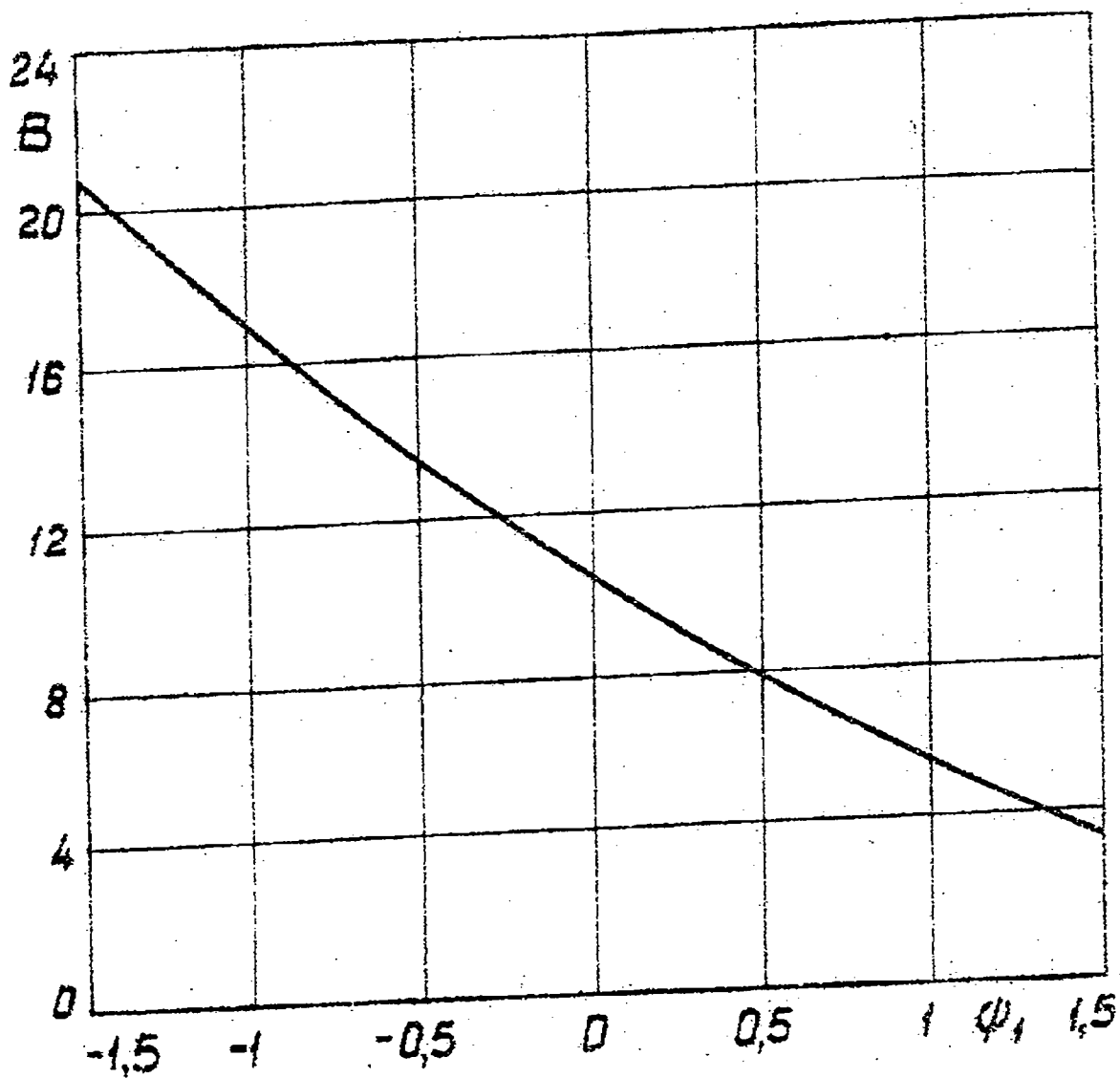
Расчет параметров профиля окружной скорости

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Число Рейнольдса	$Re_{\omega} = \frac{\rho \cdot \omega \cdot d_m^2}{\mu}$	
2. Отношение диаметра аппарата к диаметру мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	
3. Параметр высоты заполнения для аппаратов: с свободной поверхностью жидкости	$\gamma = 8 \frac{H}{D} + 1$	
целиком заполненных	$\gamma = 8 \frac{H}{D} + 2$	
4. Параметр гидравлического сопротивления E	$E = \frac{\gamma}{\zeta_m \xi_m Re_{\omega}^{0,25}}$	
5. Параметр распределения скорости ψ_1	(по п.2.3.2.1 РД 26-01-90-85)	
6. Параметр распределения скорости ψ_2 :		
при $\Gamma_D \geq 1,5$	$\psi_2 = -0,5 - 1,25 \psi_1$	
при $\Gamma_D \leq 1,33$	$\psi_2 = -\psi_1 - \psi_1 \psi_1$	
	где ψ_1 и ψ_2 - по п.2.3.2.1 РД 26-01-90-85	

2.3.2.2. Расчет глубины воронки производится на основе вычисленного ранее (табл.4) значения параметра^x ψ_1 и параметра глубины воронки B, определяемого по черт.25. Реко-

^x При наличии в аппарате внутренних устройств расчет параметра ψ_1 производится по п.2.3.3.3 РД 26-01-90-85.

Параметр глубины воронки $B = f(\psi_1)$



Черт. 25

рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл.5.

Под глубиной воронки понимается расстояние от свободного уровня жидкости (при отсутствии перемешивания) до нижней точки воронки, возникающей при работе мешалки. Глубина воронки не должна превышать расстояние от свободного уровня жидкости до ступицы мешалки.

Таблица 5

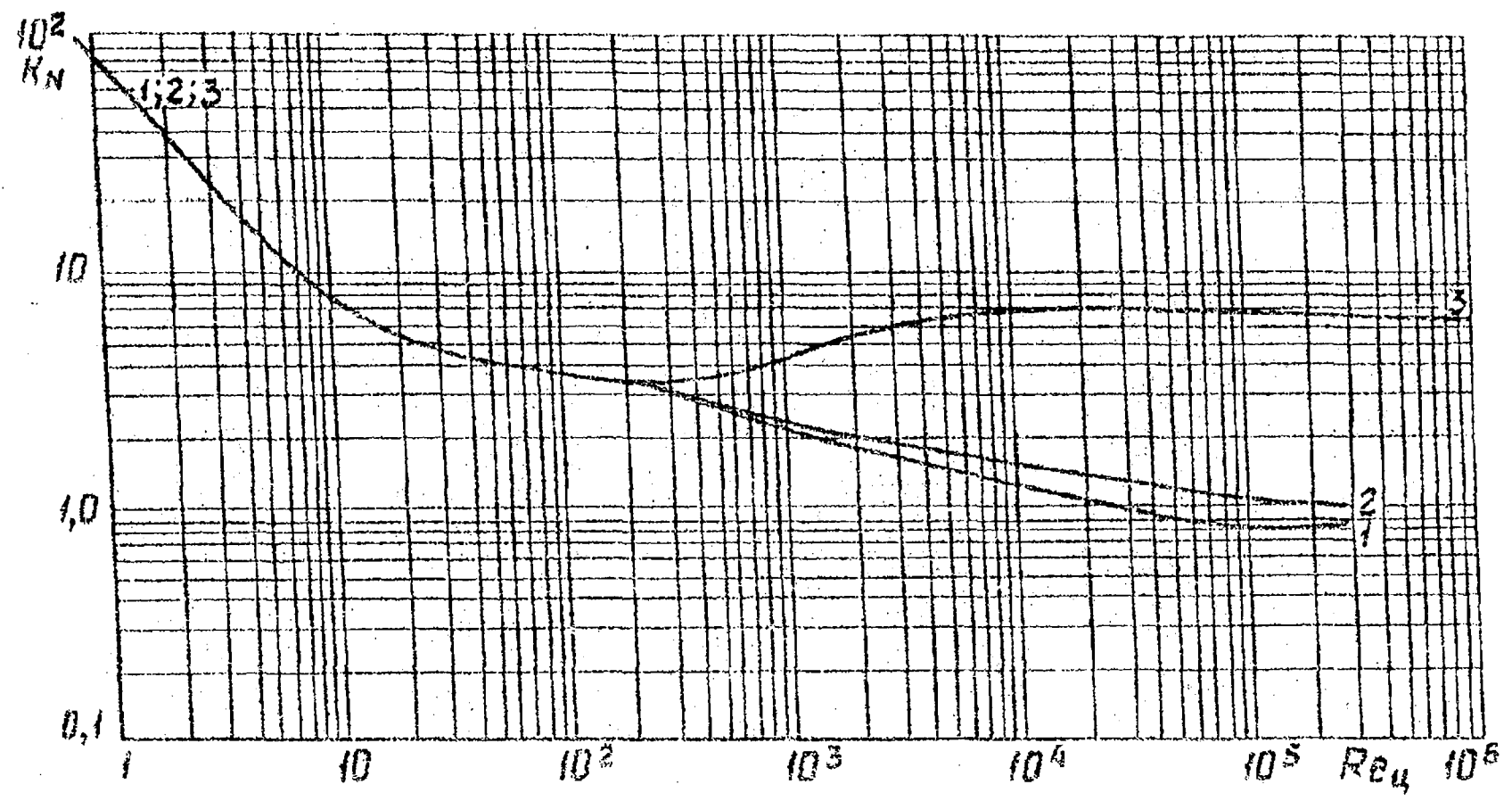
Расчет глубины воронки

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Параметр глубины воронки	$B = f(\psi)$ (по п.2.3.2.2 РД 26-01-90-85)	
2. Глубина воронки, м	$h_B = B \frac{n^2 d_r^2}{2g}$	

2.3.2.3. Расчет мощности, потребляемой на перемешивание, применительно к наиболее часто встречающимся случаям может производиться с помощью графиков, приведенных на черт.26...34. Мощность, потребляемая в условиях, для которых графики не приводятся, определяется исходя из значений параметров профиля окружной скорости, вычисленных ранее (табл.4).

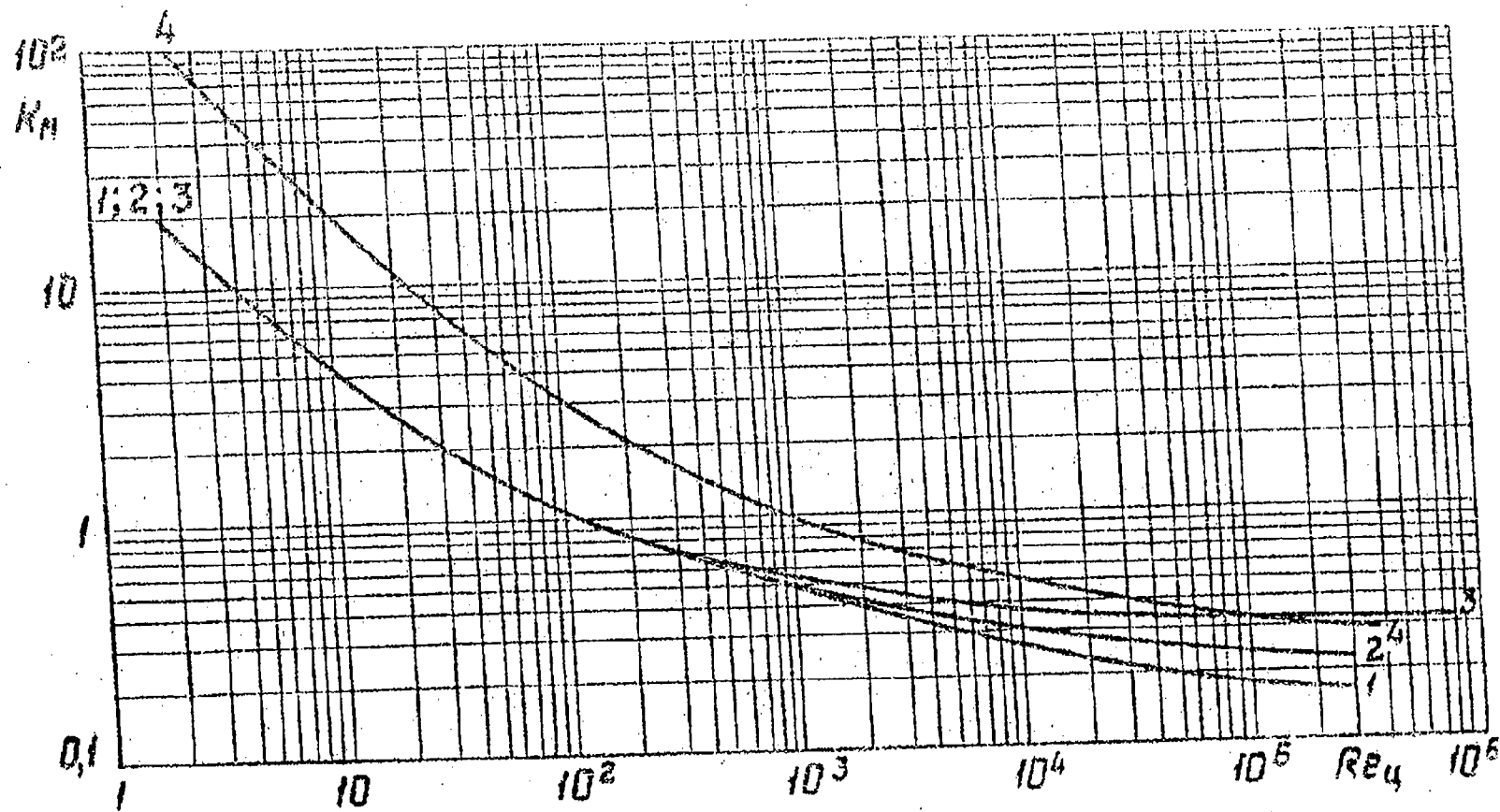
Рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл.6.

Число $K_N = f(Re_{\omega})$ для аппаратов с турбинными мешалками при $\zeta_{\text{т}} = 8,4$



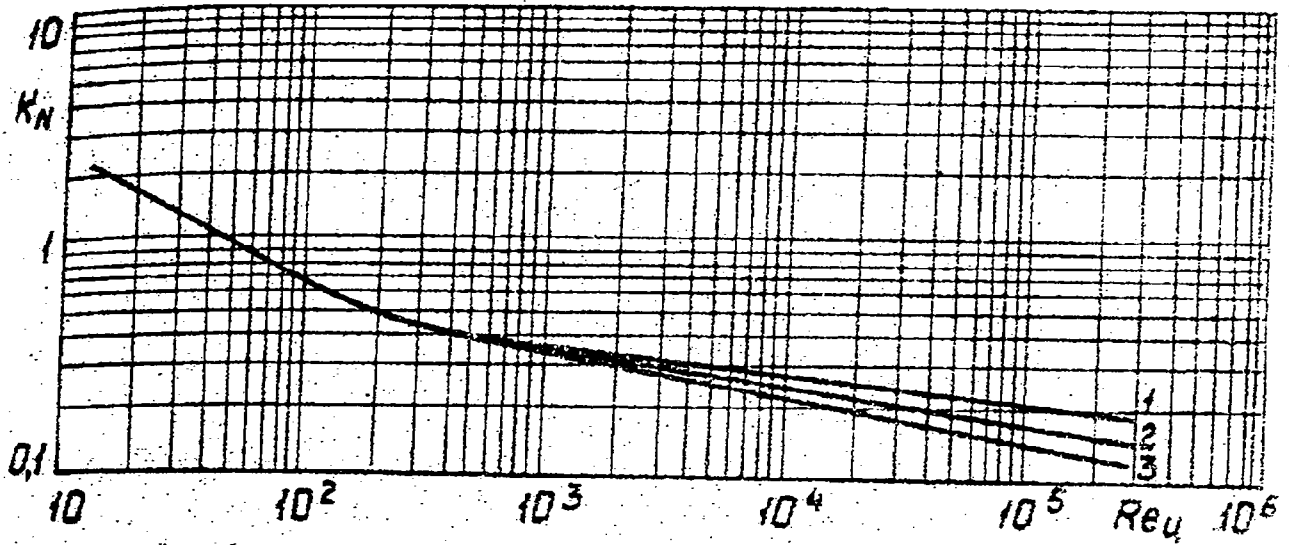
- 1 - в аппарате без перегородок, $\Gamma_D = 3$;
- 2 - в аппарате без перегородок, $\Gamma_D = 4$;
- 3 - в аппарате с перегородками, $\Gamma_D = 3 \div 4$

Число $K_N = f(Re_u)$ для аппаратов с трехлопастными при $\xi_{11} = 0,56$
и рамными мешалками при $\xi_M = 1,28$



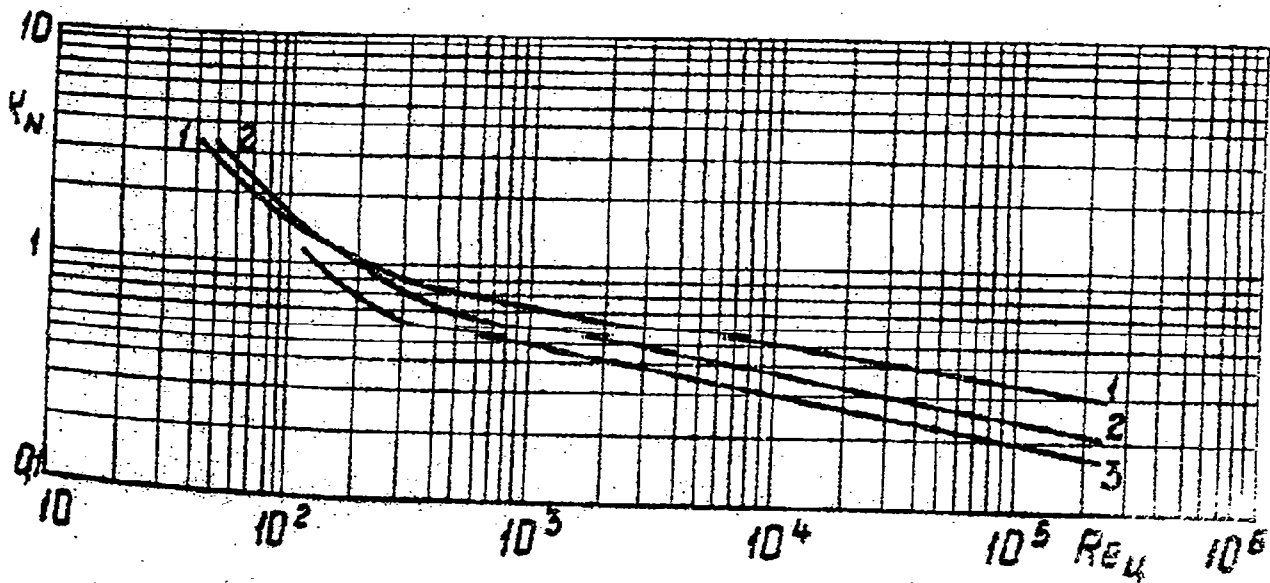
- | | | | |
|---|---|--|-------------------|
| 1 | - | трехлопастные мешалки в аппарате без перегородок | $\Gamma_D = 3;$ |
| 2 | - | " " " " | $\Gamma_D = 4;$ |
| 3 | - | " " " " | $\Gamma_D = 3,4$ |
| 4 | - | рамная мешалка | $\Gamma_D = 1,15$ |

Число $K_N = f(Re_{\omega})$ для эмалированных аппаратов с двухлопастными мешалками при $\sum_M = 0,88$



Черт. 29

Число $K_N = f(Re_{\omega})$ для эмалированных аппаратов с трехлопастными мешалками при $\sum_M = 2,3$



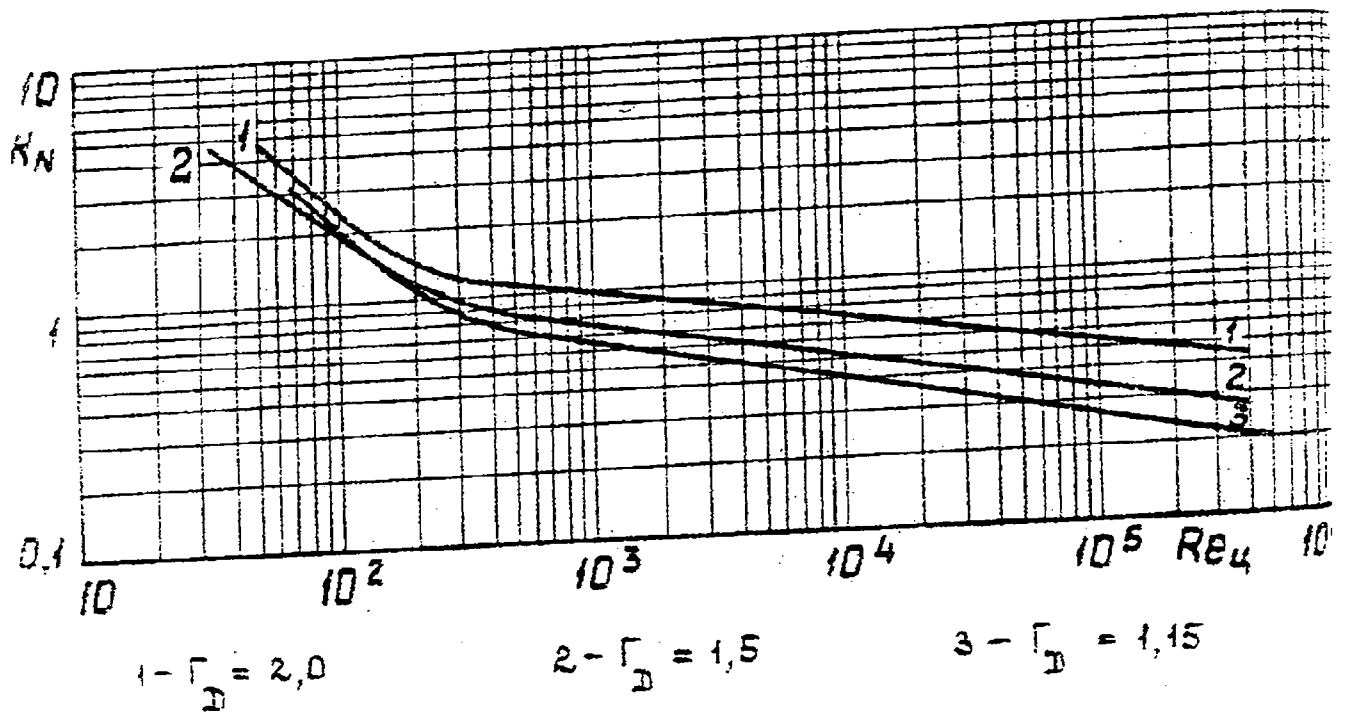
1 - $\Gamma_D = 2,0$

2 - $\Gamma_D = 1,5$

3 - $\Gamma_D = 1,2$

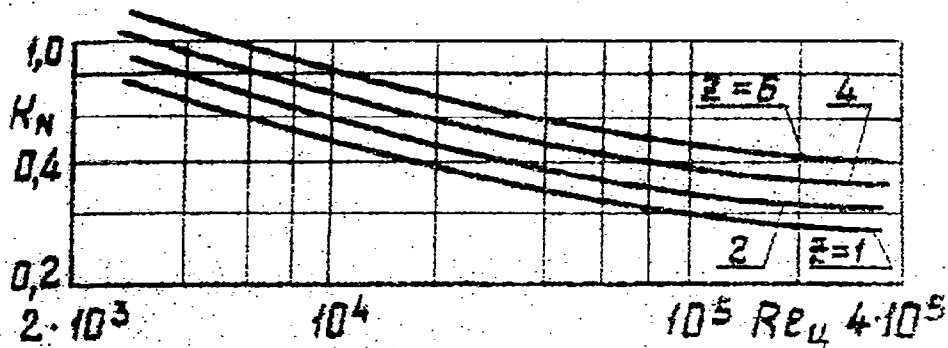
Черт. 30

Число $K_N = f(Re_{\text{ц}})$ для эмалированных аппаратов
с якорными и рамными мешалками при $\lambda_M = 1,28$



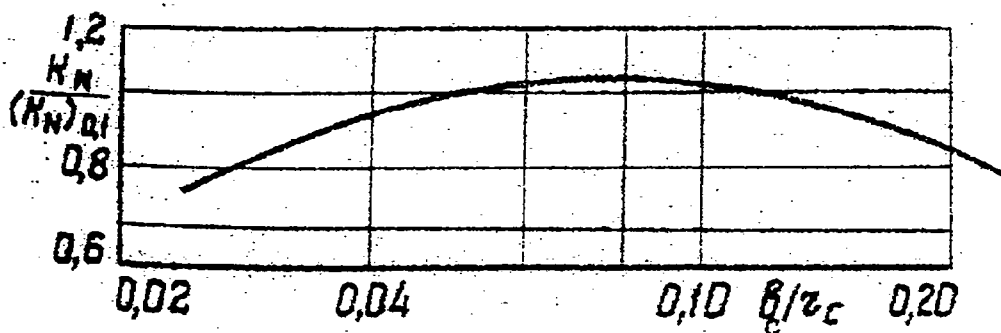
Черт. 31

Число $K_N = f(Re_{ц})$ для скребковых мешалок
с разным числом скребков



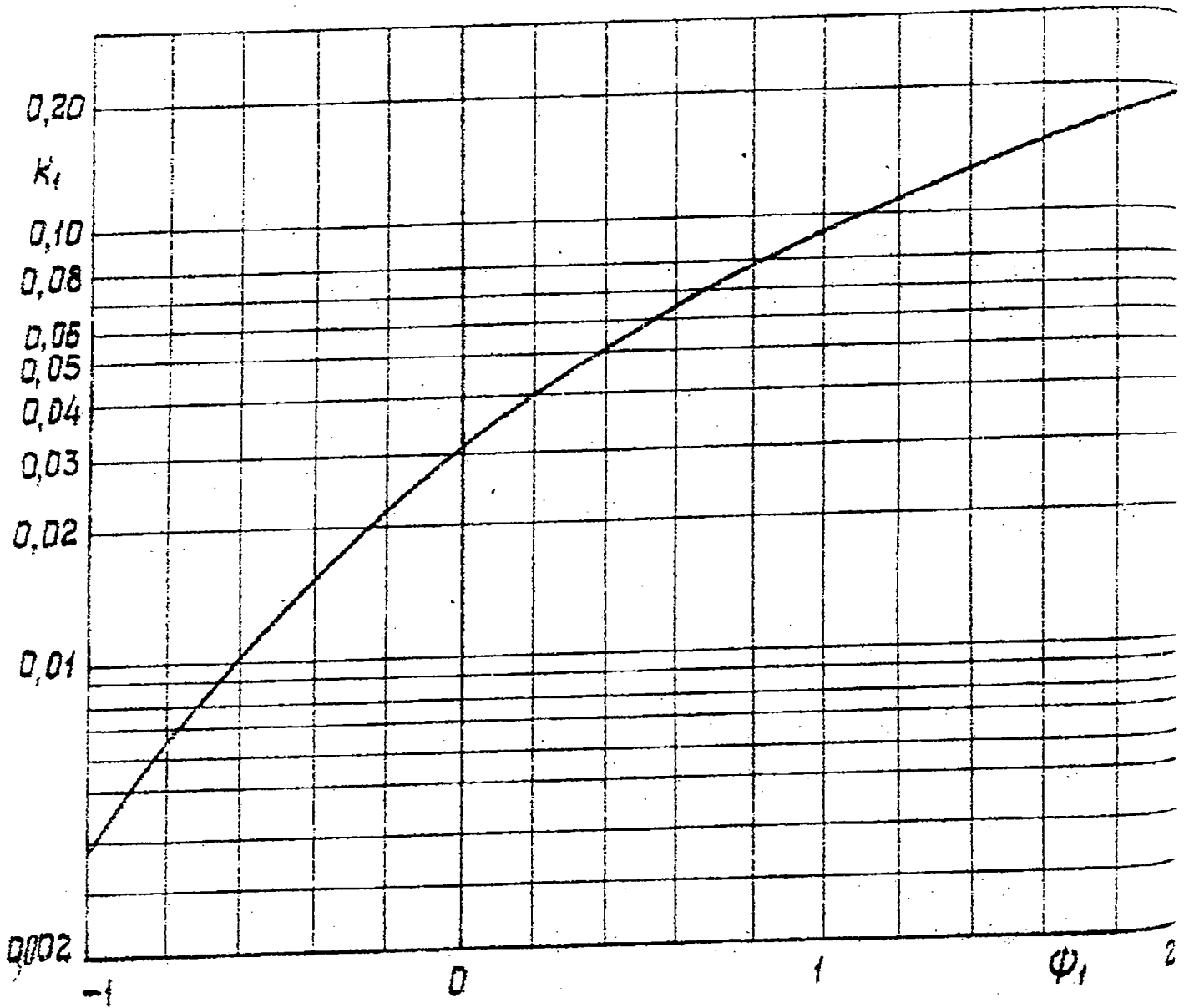
Черт. 32

Коэффициент мощности при различной ширине
скребков: $(K_N)_{0,1}$ - значение K_N при
 $b/z_c = 0,1$



Черт. 33

Коэффициент $K_1 = f(\psi_1)$ для аппаратов без
отражательных перегородок



Черт. 34

Таблица 6

Расчет мощности, потребляемой на перемешивание

Именованние величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Коэффициент K_I для мешалок типа: 01; 03; 04; 05; 07	$K_I = f(\psi_1)$	
эмалированных лопастных, фрезерных и пропеллерных	(по п.2.3.2.3 РД 26-01-90-85)	
06; 10 и эмалированных якорных	$K_I = (\psi_1 + \psi_2)^2$	
Коэффициент мощности	$K_N = f(Re_m)$ (по п.2.3.2.3 РД 26-01-90-85), в остальных случаях $K_N = 3,87 \cdot z_m \cdot \zeta_m \cdot K_I$	
Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho \pi^3 d_m^5$	

2.3.3. Аппарат с внутренними устройствами

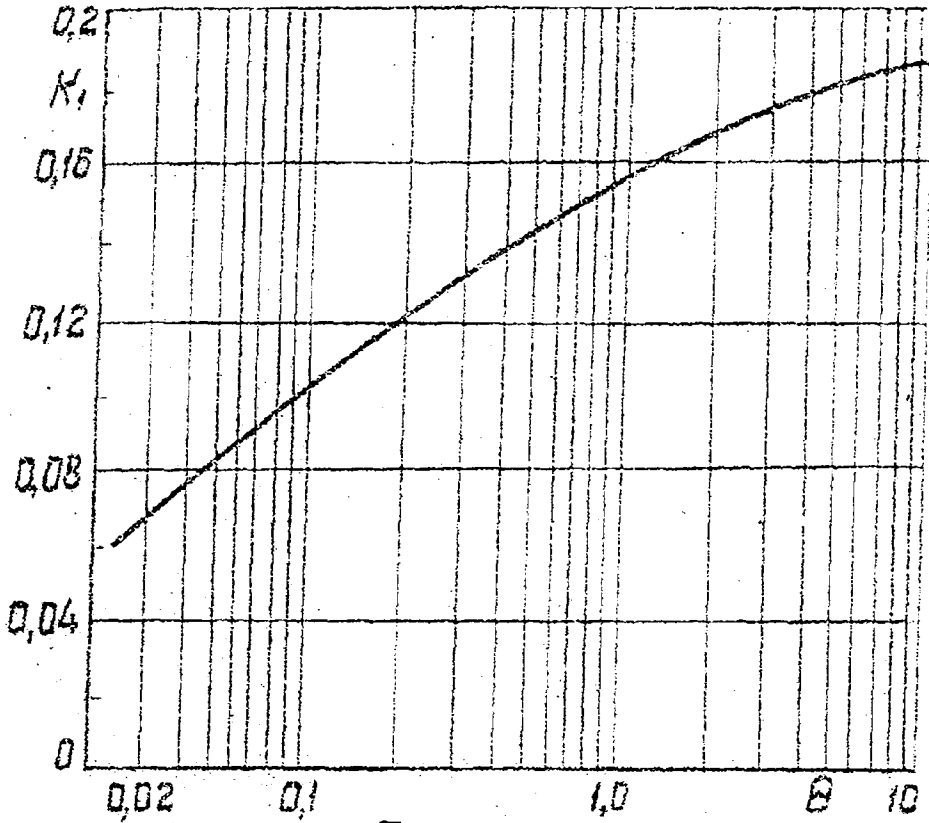
2.3.3.1. Среднюю скорость потока и мощность в аппаратах с отражательными перегородками рекомендуется рассчитывать в соответствии с табл.9. Метод распространяется на аппараты с числом перегородок не менее трех при ширине перегородок $b_n = (0,08 + 0,125) D$. Перегородки устанавливаются вплотную к стенке аппарата или на расстоянии от нее не более $0,2 b_n$.

Применительно к некоторым наиболее распространенным случаям расчет мощности может производиться с помощью экспериментальных графиков (черт.26...28). В случаях, для которых графики отсутствуют, следует пользоваться методом расчета, приведенным в табл.9 и на черт.35 и 36.

Наличие дополнительных внутренних устройств в аппаратах с отражательными перегородками может не учитываться. ~~ИИ~~

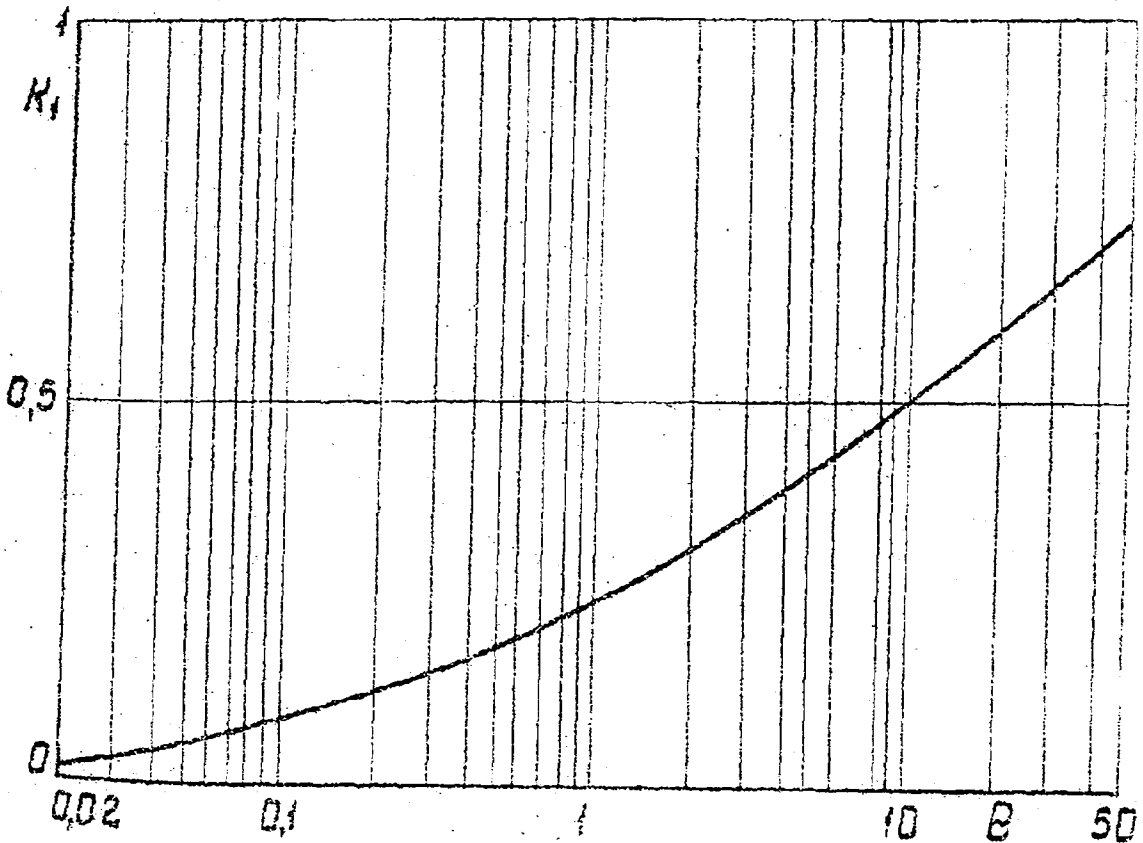
При расчете средней скорости потока и мощности в аппаратах с отражательными перегородками или другими внутренними устройствами в качестве исходных данных используются величины, приведенные в табл.3, а также характеристики внутренних устройств (табл.7) и черт.37 и 38.

Коэффициент $K_1 = f(\theta)$ для аппаратов с отражательными перегородками и мешалками типа: 01; 03; 04; 05; 07; фрезерной, пропеллерной



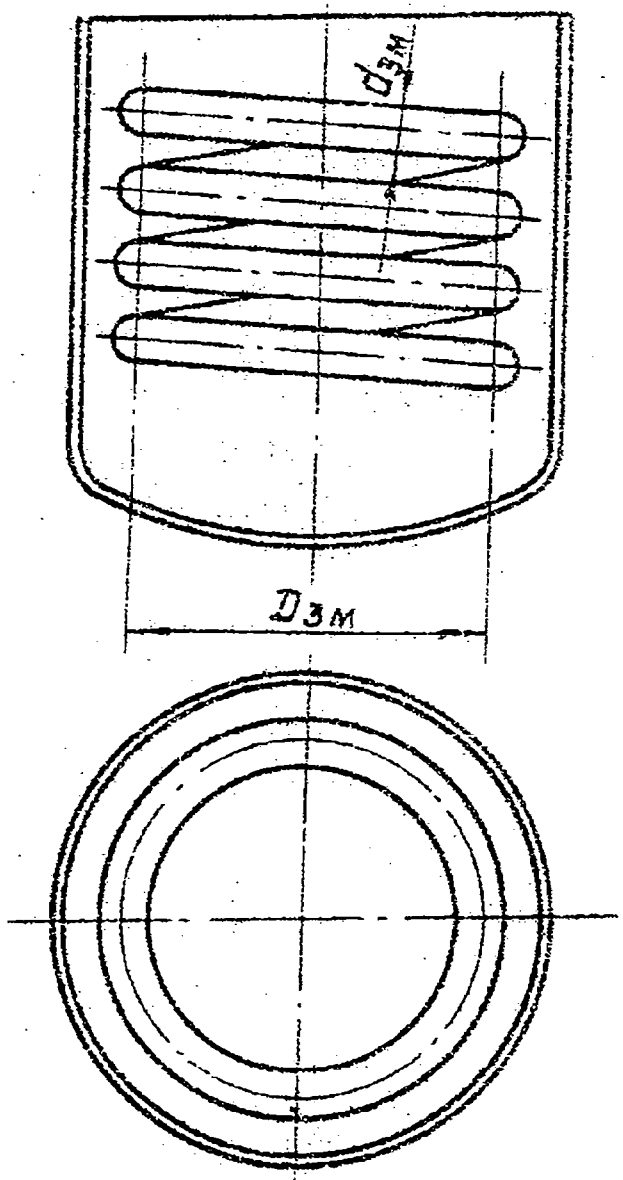
Черт. 35

Коэффициент $K_1 = f(\theta)$ для аппаратов с отражательными перегородками и клетьевыми или рамными мешалками



Черт. 36

Эмблема



Черт. 37

Змеевик секционный

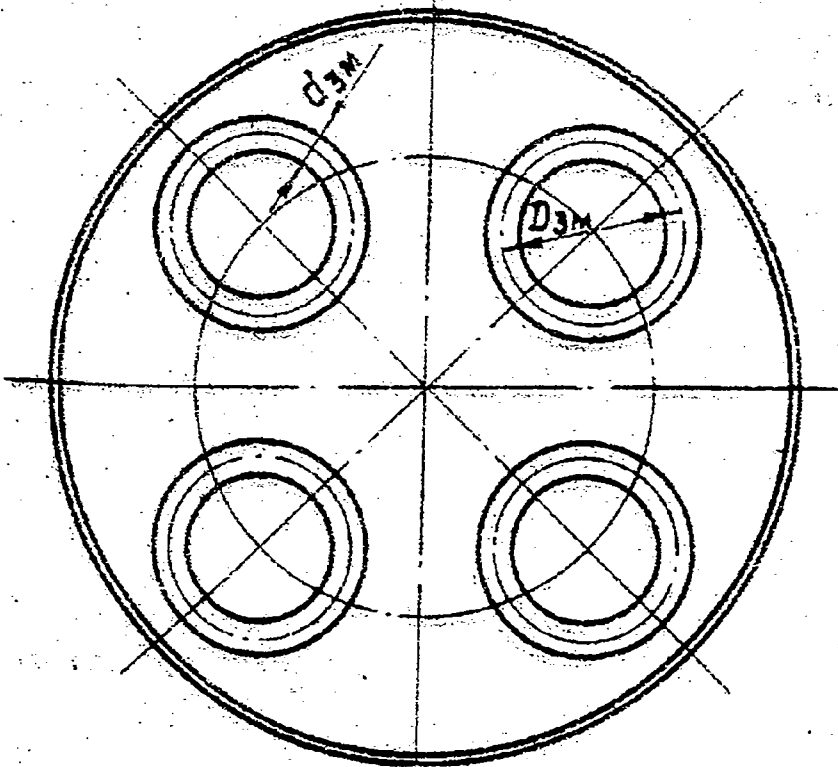
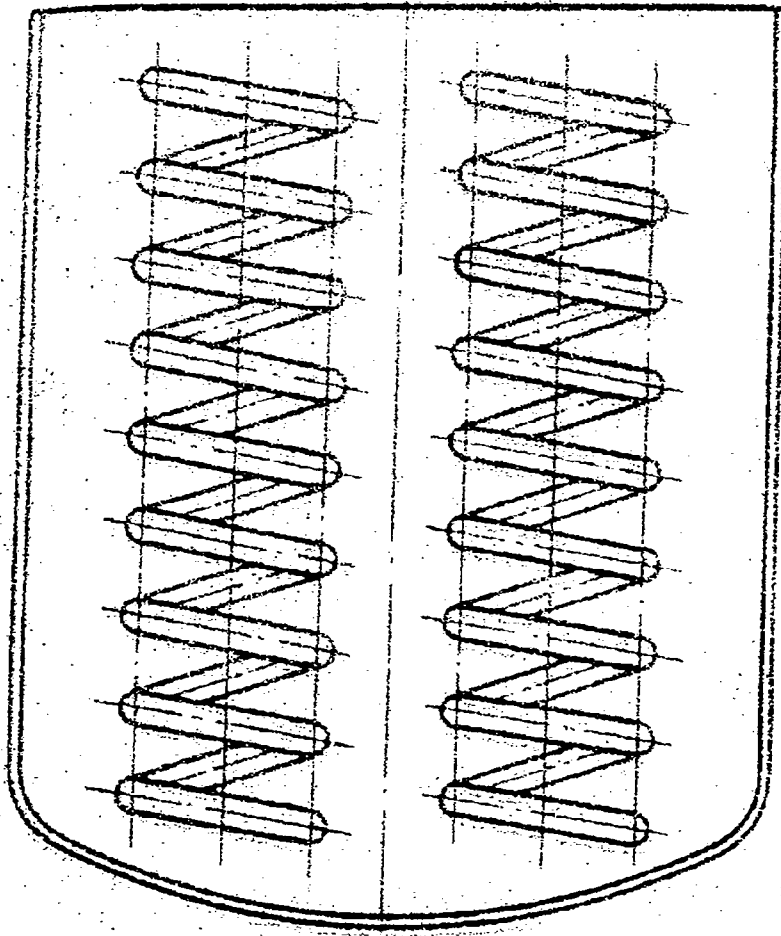


Таблица 7

Дополнительные исходные данные для гидродинамического
расчета аппарата с внутренними устройствами

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Характеристика отражательных перегородок		
1. Число перегородок	Z_n	
2. Высота погруженной части перегородок, м	h_n	
3. Ширина перегородок, м	b_n	
Характеристики дополнительных внутренних устройств		
4. Коэффициент гидравлического сопротивления при поперечном обтекании i -го внутреннего устройства ^к	ξ_i	
5. Радиус установки i -го устройства, м	r_i	
6. Число внутренних устройств	$Z_{вн}$	

к) В случае использования в аппарате секционированных змеевиков (черт.36) расчет мощности должен производиться как для аппаратов с отражательными перегородками

Продолжение табл. 7

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
7. Для труб: число труб наружный диаметр тру- бы, м высота погруженной части трубы, м	Z_r d_r h_r	
8. Для концентрических змеевиков ² (по п.2.3.3.1 ИД 26-01- -90-85): число витков наружный диаметр тру- бы, м	$Z_{зм}$ $d_{зм}$	
9. Для пластинчатых и прочих элементов: число пластин высота, м длина, м угол установки, ... °	$Z_{пл}$ $h_{пл}$ $S_{пл}$ $\alpha_{пл}$	

В случае использования в аппарате секционированных зме-
 евиков (черт.36) расчет мощности должен производиться
 как для аппаратов с отражательными перегородками

Коэффициент гидравлического сопротивления

Стр. 52 РД 26-01-90-85

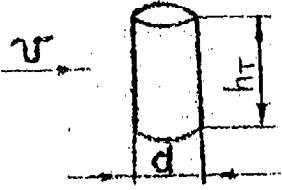
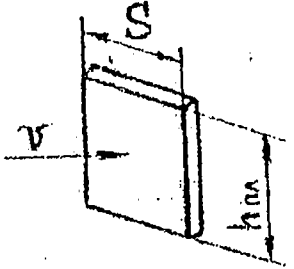
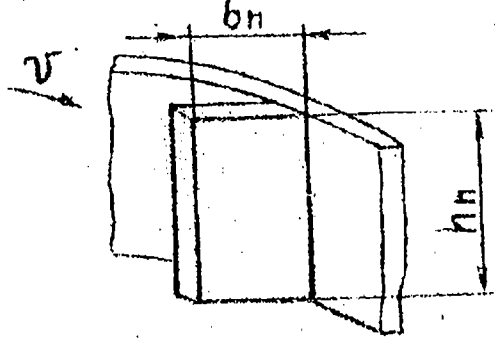
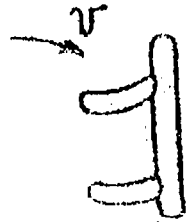
Тип внутреннего устройства	Схема	Соотношение размеров	Коэффициент сопротивления ξ
Одиночный цилиндр, труба		$h_T/d = 1$	0,63
		2	0,68
		5	0,74
		10	0,82
		40	0,98
		∞	1,2
Одиночная пластина		$h_n/s = 1$	1,1
		2	1,15
		4	1,19
		10	1,29
		18	1,4
		∞	2
Пластина у стенки, отражательные перегородки		$\frac{h_n}{b_n} = 5 + 10$	2
Отражатель		-	1,5

Таблица 9

Расчет средней скорости потока и мощности в аппаратах с отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	
2. Число Рейнольдса	$Re_n = \frac{\rho d_m^2 \omega}{\mu}$	
3. Параметр высоты заполнения для аппаратов: со свободной поверхностью жидкости целиком заполненных	$\gamma = 4 \frac{H}{D} + 1$ $\gamma = 4 \frac{H}{D} + 2$	
4. Осредненное значение скорости потока, м/с	$V_{ср} = 4,35 \rho d_m \left(\frac{\Sigma_m \cdot \zeta_m}{\Gamma_D^2 \gamma} \right)^{1/3}$ <p>где ζ_m - по п.2.2.1 РД 26-01-90-85</p>	
5. Параметр сопротивления перегородок	$\Theta = \frac{2 \Gamma_D \cdot \Sigma_m \cdot h_n \cdot \rho \omega}{\zeta_m D \Sigma_m} \cdot \frac{D}{D-2b_n}$	
6. Коэффициент мощности K_n	$K_n = f(\Theta)$ <p>(по п.2.3.3.1 РД 26-01-90-85)</p>	
7. Коэффициент мощности K_N	$K_N = f(Re_n)$ <p>(по п.2.3.2.3 РД 26-01-90-85)</p>	

Продолжение табл. 9

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
3. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	в остальных случаях $K_N = 4 \zeta_M \sum K_i$ $N = K_N \rho \pi^3 d_M^5$	

2.3.3.2. Расчет мощности в аппаратах с отражателями и дополнительными устройствами

Метод расчета распространяется на аппараты без отражательных перегородок при наличии в них эмалированных отражателей (черт. 3) или дополнительных внутренних устройств технологического назначения (трубы, гильзы, змеевики и т.п.). Основной величиной, характеризующей внутренние устройства при расчете, является величина $F_{\text{вн}}$ — суммарная площадь проекции этих устройств на меридиональную плоскость. Метод расчета величины $F_{\text{вн}}$ применительно к некоторым наиболее распространенным конструктивным вариантам приведен в табл. 10, метод расчета мощности — в табл. 11 и 12.

При расчете $F_{\text{вн}}$ в аппаратах со змеевиками должно учитываться также наличие конструктивных элементов крепления змеевиков.

Таблица 10

Расчет площади проекции дополнительных внутренних устройств

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Площадь проекции внутренних устройств, м ² : для трубы для пластинчатого элемента	$f_i = d_T h_T$ $f_i = S_{пл} h_{пл} \cos \alpha_{пл}$	
2. Суммарная площадь проекции внутренних устройств на меридиональную плоскость, м ² для труб и пластинчатых элементов для концентрических змеевиков и кольцевых барботеров (по п.2.3.3.1 ИД 26-01-90-85)	$F_{BH} = \sum \zeta_i f_i$ $F_{BH} = \sum \zeta_i f_i = \sum \zeta_i \pi d_{BH}^2$	

2.3.3.3. Расчет мощности в аппаратах с дополнительными внутренними устройствами проводится на основе выражений (поз.2 и 3) табл.6. Определение коэффициента K_1 при установке в аппарате внутренних устройств производится в результате графического или численного решения уравнения

$$\sum_n \zeta_n K_1 = \frac{\pi}{2.2} \cdot \frac{\lambda_T}{Re^2} \left(\Gamma_D^{2.75} \cdot \bar{U}_{ep}^{4.75} + \Gamma_D^3 \sum_{i_{BH}} \zeta_i f_i \right) \frac{\bar{U}^2(r_i) \pi}{D^5}$$

Величины κ , $\bar{U}(r_1)$, $\bar{U}_{ср}$, входящие в это уравнение, являются функциями одного параметра. В аппаратах с внутренними устройствами, обладающими незначительным гидравлическим сопротивлением, таким параметром служит Γ_D . При наличии внутренних устройств с большим гидравлическим сопротивлением роль параметра распределения скорости выполняет $\bar{U}_{ср}$. Выражения для определения κ , $\bar{U}_{ср}$ и $\bar{U}(r_1)$ для наиболее распространенных конструкций аппаратов с мешалками приведены в табл. 12. Величины $Re_{ш}$, λ , Γ_D определяются по табл. 4.

При использовании внутренних устройств с большим сопротивлением ($\sum_{\text{зан}} \zeta_i f_i > 0,2 Re_{ш}$) параметр $\bar{U}_{ср}$ рассчитывается по уравнению

$$\bar{U}_{ср} = \frac{0,33 - \sqrt{0,11 - 0,25(0,5 - K_{вн})}}{0,5 - K_{вн}}$$

где $K_{вн} = \frac{\bar{R}^3}{\sum_m \zeta_m} \sum_{\text{зан}} \zeta_i \frac{f_i r_i}{R^3}$

Таблица II

Расчет коэффициента сопротивления корпуса аппарата

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Радиус аппарата, м	$R = D/2$	
2. Коэффициент сопротивления корпуса аппарата:		
при $\Gamma_D > 2$	$\lambda_T = 0,095$	
при $1,05 \leq \Gamma_D \leq 2$	$\lambda_T = \Gamma_D / (20,35 \Gamma_D - 19,4)$	

Выражения для определения K_1 , \bar{U}_{cp} и $\bar{U}(\tau_i)$ при расчете
МОЩНОСТИ

Конструктивные характеристики мешалок и аппарата	K_1	\bar{U}_{cp}	$\bar{U}(\tau_i)$
Мешалки с горизонтальными лопастями при $\Gamma_D \geq 1,5$; $\tau_i \geq \tau_0$; $\sum_{\tau_{0H}} \zeta_i f_i \leq 0,2 R_H$	$0,1 \psi_1 + 0,222 \psi_1 \psi_2 + 0,125 \psi_2^2$	$\frac{1 + 0,4 \psi_1 + 0,5 \psi_2 + 2 (1 + \psi_1 + \psi_2) \Gamma_D \Gamma_D}{2 \Gamma_D}$	$\frac{1 + \psi_1 + \psi_2}{\tau_i}$
Мешалки с горизонтальными лопастями при $\Gamma_D \leq 1,33$; $\tau_i > \tau_0$; $\sum_{\tau_{0H}} \zeta_i f_i \leq 0,2 R_H$	$0,1 \psi_1^2 + 0,222 \psi_1 \psi_2 + 0,125 \psi_2^2$	$\frac{1 + 0,4 \psi_1 + 0,5 \psi_2 + 1,75 (1 + \psi_1 + \psi_2)}{2 \Gamma_D} \times \frac{(\Gamma_D - 1)}{2 \Gamma_D}$	$\frac{1 + \psi_1 + \psi_2}{2 \tau_i}$
Мешалки с горизонтальными лопастями при $\tau_i \geq 0,5 \tau_0$; $\sum_{\tau_{0H}} \zeta_i f_i > 0,2 R_H$	$0,25 - 0,67 \bar{U}_{cp} + 0,5 \bar{U}_{cp}^2$	Уравнение по п.2.3.3.2 РД 26-01-90-85	\bar{U}_{cp}
Мешалки с вертикальными лопастями при $\Gamma_D \geq 1,5$; $\tau_i > \tau_0$; $\sum_{\tau_{0H}} \zeta_i f_i \leq 0,2 R_H$	$(\psi_1 + \psi_2)^2$	$\frac{1 + 0,4 \psi_1 + 0,5 \psi_2 + 2 (1 + \psi_1 + \psi_2) \Gamma_D \Gamma_D}{2 \Gamma_D}$	$\frac{1 + \psi_1 + \psi_2}{\tau_i}$

РД 26-01-90-85 079,57

Продолжение табл. 12

Конструктивные характеристики мешалок и аппарата	K_1	\bar{v}_{cp}	$\bar{v}(z_i)$
Мешалки с вертикальными лопастями при $\Gamma_D < 1,33$; $z_i > z_0$; $\sum_{z_{0H}} \zeta_i f_i \leq 0,2 RH$	$(\psi_1 + \psi_2)^2$	$\frac{1 + 0,4 \psi_1 + 0,5 \psi_2 + 1,75 (1 + \psi_1 + \psi_2)}{2 \Gamma_D} \times \frac{(\Gamma_D - 1)}{2 \Gamma_D}$	$\frac{1 + \psi_1 + \psi_2}{2}$
Мешалки с вертикальными лопастями при $z_i \geq 0,5 z_0$; $\sum_{z_{0H}} \zeta_i f_i > 0,2 RH$	$(1 - \bar{v}_{cp})^2$	Уравнение по п. 2.3.3.2 РД 26-01-90-85	\bar{v}_{cp}

2.4. Тепловой расчет аппарата

2.4.1. Целью теплового расчета является определение возможности обеспечения заданного теплового потока через теплообменные поверхности аппарата и правильность выбора условий перемешивания и характеристик теплообменного устройства.

Настоящий руководящий документ предусматривает расчет теплообмена при использовании теплообменных устройств следующих типов:

рубашки неразъемные цилиндрические (черт.39);

рубашки из полутруб (черт.40);

встроенные змеевики (черт.37, 38).

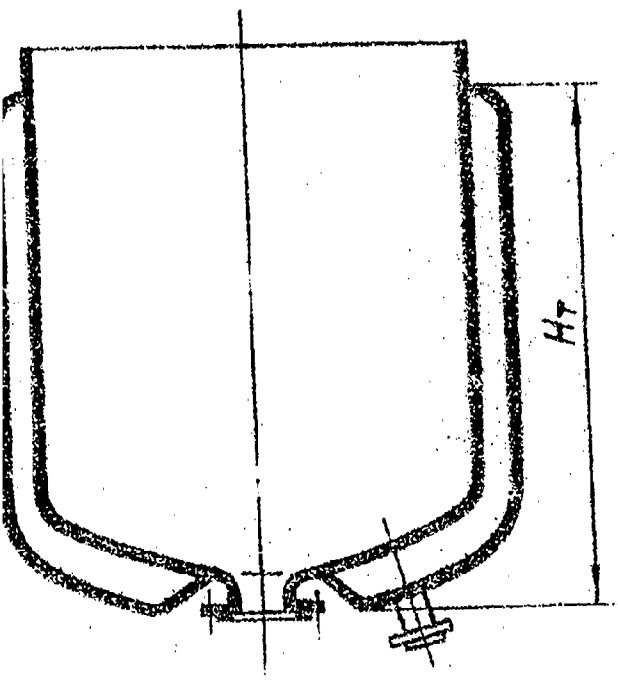
Перечень исходных данных, необходимых для выполнения расчета, приведен в табл.13.

2.4.2. Расчет теплоотдачи от перемешиваемой среды

2.4.2.1. Интенсивность теплоотдачи от перемешиваемой среды определяется гидродинамическими характеристиками потока, которые связаны с мощностью, потребляемой на перемешивание. В связи с этим в качестве исходной величины, отражающей влияние условий течения среды на интенсивность теплообмена, используется мощность, потребляемая на перемешивание.

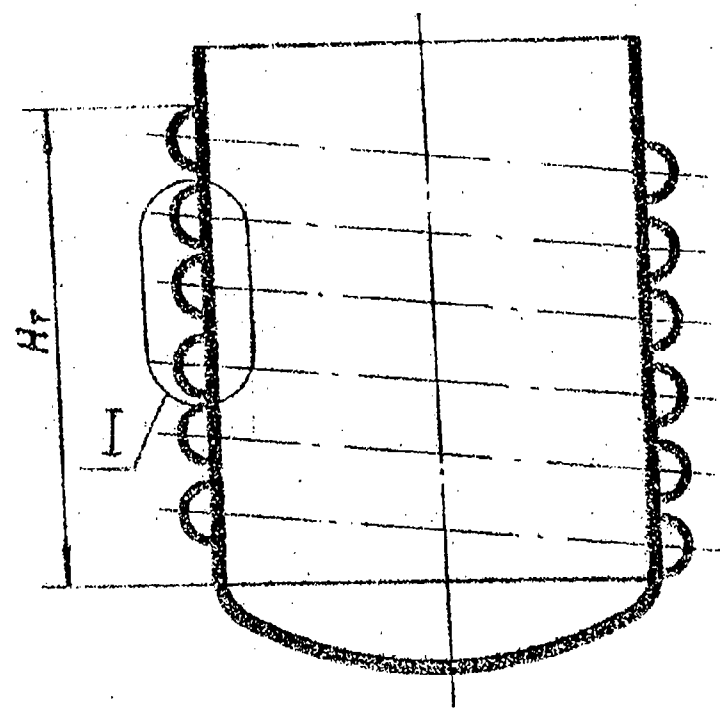
Расчет сводится к определению коэффициента теплоотдачи перемешиваемой среды в зависимости от потребляемой мощности для любого типа мешалок и аппаратов. Рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл.14. В случае использования в качестве теплообменного устройства змеевика, при наличии в аппарате отражательных перегородок, расчет коэффициента теплоотдачи проводится с привлечением графиков на стр.41 и 42.

Рубашка цилиндрическая

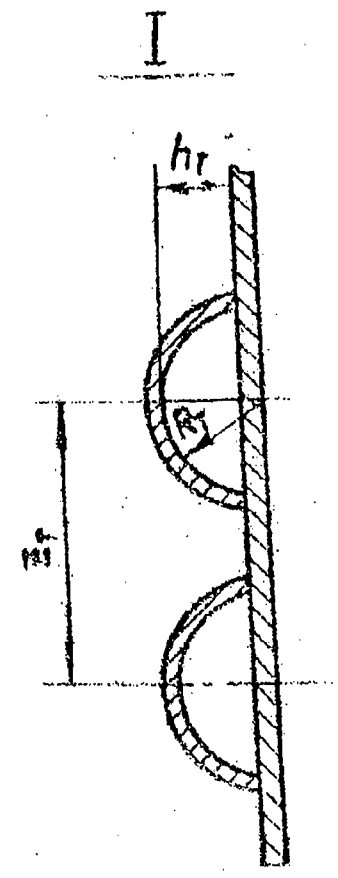


Черт. 39

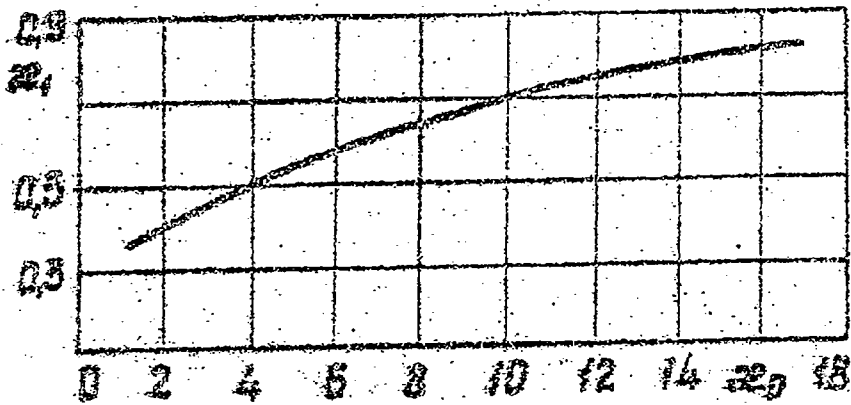
Рубашка из полутрубо



Черт. 40

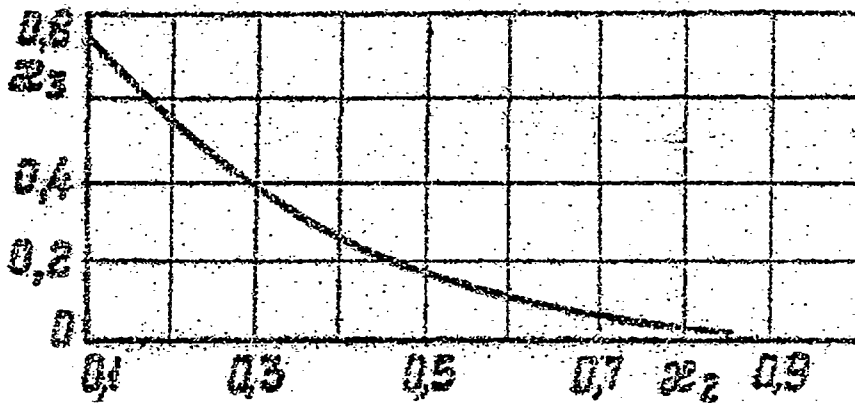


Параметр $\alpha_1 = f(\alpha_0)$



Черт. 41

Параметр $\alpha_3 = f(\alpha_2)$



Черт. 42

Исходные данные для теплового расчета

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Характеристики аппарата и мешалки		
1. Диаметр аппарата, м	D	
2. Высота заполнения аппарата, м	H	
3. Толщина стенки аппарата, м	δ	
4. Теплопроводность материала стенки, Вт/(м.К)	λ_r	
5. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	N (см. табл. 6: 9 РД 26-01-90-85)	
Характеристики цилиндрической рубашки		
6. Высота рубашки, м	H_r	
7. Площадь поверхности теплообмена, м ²	F_r	
Характеристики рубашки из полутрубы		
8. Радиус полутрубы, м	R_r	
9. Высота сегмента полутрубы, м	h_r	
10. Число витков полутрубы	Z_r	
11. Шаг навивки полутрубы, м	π_r	
12. Площадь поверхности теплообмена, (включая промежутки между полутрубами), м ²	F_r	
Характеристик встроенного змеевика		
13. Диаметр трубы змеевика, м	$d_{зм}$	
14. Число витков змеевика	$Z_{зм}$	
15. Диаметр навивки змеевика, м	$D_{зм}$	
16. Площадь поверхности теплообмена змеевика, м ²	$F_{зм}$	

Продолжение табл. 13

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
17. Толщина стенки змеевика, м	s_{3m}	
18. Теплопроводность материала трубки змеевика, Вт/(м.К)	λ_{3m}	
19. Шаг навивки змеевика ^x , м	s_x	
Параметры и теплофизические свойства перемешиваемой среды		
20. Тепловой поток, Вт	Φ	
21. Плотность среды, кг/м ³	ρ_0	
22. Динамическая вязкость среды, Па.с	μ_0	
23. Теплопроводность среды, Вт/(м.К)	λ	
24. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	c	
25. Температура среды, °С	t	
Параметры и теплофизические свойства жидкого теплоносителя		
26. Объемный расход теплоносителя, м ³ /с	V_t	
27. Температура теплоносителя на входе, °С	t_{t1}	
28. Плотность теплоносителя, кг/м ³	ρ_t	
29. Динамическая вязкость теплоносителя, Па.с	μ_t	
30. Теплопроводность теплоносителя, Вт/(м.К)	λ_t	
31. Удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг.К)	c_t	

^x Задается при расчете теплоотдачи от змеевика, установленного в аппарате с отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
32. Коэффициент объемного расширения теплоносителя (определяется только для цилиндрических руоашек, для воды не определяется), β	β	
Параметры и теплофизические свойства конденсирующегося пара, используемого в качестве теплоносителя		
33. Температура конденсации, $^{\circ}\text{C}$	t_t	
34. Плотность конденсата, $\text{кг}/\text{м}^3$	ρ_t	
35. Плотность насыщенного пара, $\text{кг}/\text{м}^3$	ρ_t^*	
36. Динамическая вязкость конденсата, Па.с	μ_t	
37. Динамическая вязкость пара, Па.с	μ_t^*	
38. Теплопроводность конденсата, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$	λ_t	
39. Удельная теплота парообразования теплоносителя при t_t , Дж/кг	r_t	
40. Коэффициент поверхностного натяжения конденсата (для цилиндрической руоашки не определяется), Н/м	σ_t	
41. Удельная теплоемкость конденсата, Дж/(кг.К)	c_t	

Таблица 14

Расчет теплоотдачи от перемешиваемой среды

Именованние величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Объем жидкости в аппарате, м ³	$V = \frac{\pi D^2}{4} H$	
Удельная диссипация энергии в перемешиваемой среде, Вт/кг	$E_0 = \frac{N}{\rho V}$	
Кинематическая вязкость среды, м ² /с	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	
Число Прандтля	$Pr = \frac{c_p \rho \nu}{\lambda}$	
Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды	$\alpha = \frac{0,267 (E_0 \nu)^{0,25} c_p \rho}{Pr^{0,75}}$	

Аппарат с встроенным змеевиком и отражательными перегородками

Высота змеевика, м	$h_{zm} = (z_{zm} - 1) S_z + d_{zm}$
Параметр α_0	$\alpha_0 = \frac{h_{zm}}{z_{zm} \cdot d_{zm}}$
Параметр α_1	$\alpha_1 = f(\alpha_0)$ (по п.2.4.2 РД 26-01-90-85)
Параметр α_2	$\alpha_2 = \frac{8 D_{zm} \cdot d_{zm}}{D^2}$
Параметр α_3	$\alpha_3 = f(\alpha_2)$ (по п.2.4.2 РД 26-01-90-85)
Коэффициент гидравлического сопротивления змеевика	$\zeta_{zm} = \frac{1,15 \alpha_1 \alpha_2 z_{zm}}{(1 - \alpha_2 \alpha_3)^3}$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
12. Объем жидкости, заключенной в зоне трубок змеевика, м ³	$V_{сж} = \pi D_{зм} d_{зм} \left(1,5 h_{зм} - \frac{\pi}{4} \cdot z_{зм} d_{зм} \right)$	
13. Средняя скорость циркуляционного потока, м/с	$W = \frac{3 K_2 \pi d_{зм}^2}{\pi D^2} \sqrt{\frac{h}{4 + \xi_{зм}}}$	
14. Мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления змеевика, Вт	$N_{сж} = \rho_{ж} \cdot g \cdot W^2 \cdot \frac{\pi D^2}{16}$	
15. Удельная диссипация энергии в жидкости, заключенной в зоне трубок змеевика, Вт/кг	$\epsilon_{сж} = \frac{N_{сж}}{\rho V_{сж}}$	
16. Кинематическая вязкость среды, м ² /с	$\nu = \frac{\eta}{\rho}$	
17. Число Прандтля	$Pr = \frac{c_p \rho \nu}{\lambda}$	
18. Коэффициент теплоотдачи от змеевика, Вт/(м ² ·К)	$\alpha = \frac{0,257 (\epsilon_{сж} \nu)^{0,25} c_p \rho}{Pr^{0,75}}$	

* Коэффициент расхода K_2 рассчитывается по табл. 25 РД 26-01-90-85

2.4.3. Особой особенностью методов расчета теплоотдачи от теплоносителя в трубах или змеевиках является необходимость учета направления теплового потока. В случаях, когда теплоноситель используется для нагрева перемешиваемой среды, значение теплового потока Φ подставляется в

расчетные формулы со знаком "+". В случаях, когда теплоноситель используется для охлаждения перемешиваемой среды, значение теплового потока подставляется в расчетные формулы со знаком "-".

2.4.3.1. Расчет теплоотдачи от теплоносителя в цилиндрической рубашке предполагает использование значений вспомогательного параметра L (если теплоноситель - вода), а также зависимость C_p и ν от произведения чисел Грасшофа и Прандтля $Gr \cdot Pr$. Значения этих величин приведены в табл. I5 и I6.

Рекомендуемые методы и форма выполнения расчета теплоотдачи от теплоносителя в цилиндрической рубашке приведены в табл. I7 и I8.

Таблица I5

Значение параметра L , если теплоноситель - вода

Температура воды, °C	Параметр L
0	$2,64 \cdot 10^9$
10	$8,00 \cdot 10^9$
20	$1,55 \cdot 10^{10}$
30	$2,70 \cdot 10^{10}$
40	$3,90 \cdot 10^{10}$
60	$6,80 \cdot 10^{10}$
80	$1,02 \cdot 10^{11}$
100	$1,47 \cdot 10^{11}$
150	$2,93 \cdot 10^{11}$
200	$4,93 \cdot 10^{11}$
350	$7,10 \cdot 10^{12}$

Таблица 16

Зависимость величин C_E и f от параметра $G_2 \cdot R_2$

Обозначение величины	Значение величины при параметре $G_2 \cdot R_2$			
	менее 10^{-3}	$10^{-3} + 5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^7$	более $2 \cdot 10^7$
C_E	0,450	1,180	0,540	0,135
f	0	0,125	0,250	0,330

Таблица 17

Расчет теплоотдачи от жидкости в цилиндрической рубашке

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Температура теплоносителя на выходе из рубашки, $^{\circ}C$	$t_{T2} = t_{T1} - \frac{\Phi}{\rho_T C_T V_T}$, где C_T, ρ_T — определяются при t_{T1}	
2. Средняя расчетная температура теплоносителя в рубашке, $^{\circ}C$	$t'_{T\text{ ср}} = \frac{t_{T1} + t_{T2}}{2}$	
3. Температура стенки аппарата (первое приближение), $^{\circ}C$	$t'_{ст} = \frac{t + t'_{T\text{ ср}}}{2}$	
4. Параметр L для воды	L (по табл. 15 РД 26-01-90-85)	

Продолжение табл. 17

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
для других жидкостей	$L = \frac{2 \beta_T \rho_T^2 C_T}{\mu_T \lambda_T}$	
	<p>где β_T, λ_T — при $t_{T,1}$, μ_T — при средней температуре теплоносителя (см. поз. 2 табл. 17 РД 26-01-90-85)</p>	
5. Параметр $G_2 P_2$	$G_2 P_2 = H_T^2 (t'_{ст} - t_{тер}) L$	
6. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (первое приближение), Вт/(м ² /К)	$\alpha_T = C_5 \frac{\lambda_T}{H_T} (G_2 P_2)^f$ <p>где C_5 и f (по табл. 16 РД 26-01-90-85)</p>	
7. Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м ² ·К)	$K = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_T}$	
8. Средняя разность температур перемешиваемой среды и теплоносителя (первое приближение), °С	$\Delta t_{ср} = t'_{тер} - t$	
9. Расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi = K F \Delta t_{ср}$ <p>(с тем же знаком, что и Φ)</p>	
10. Порядок продолжения расчета	<p>После определения первого приближения расчетного теплового потока расчет повторяется с поз. I, при этом в формулу поз. I подставляется значение Φ. После определения второго и последующих приближений расчетного теплового потока расчет продолжается с поз. II</p>	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
И1. Параметр E	$E = \frac{\Phi - \Phi''}{\Phi'}$	
И2. Условие продолжения расчета	Если $E > 0,1$, то расчет продолжается с поз. I, при этом в формулу поз. I подставляется второе или, если это потребуется, последующее приближения расчетного теплового потока. Если $E < 0,1$, то расчет заканчивается	

Таблица 18

Расчет теплоотдачи от конденсирующегося пара в цилиндрической рубашке

Наименование	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Средняя разность температур перемещиваемой среды, °C	$\Delta t_{\text{ср}} = t_1 - t_2$	
2. Температура стенки аппарата, °C		
первое приближение	$t_{\text{ст}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
второе и последующие приближения	$t_{\text{ст}} = t_1 - \frac{\Phi}{F \alpha_T}$	
3. Коэффициент R	$R = z_T / [C_T (t_T - t_{\text{ст}})]$	

Продолжение табл. 18

Наименование	Обозначения и расчетная формула	Числовое значение
Условие продолжения расчета	<p>Если $Pr > 5$, то расчет продолжается с поз. 5 (случай невозмущенного ламинарного стекания пленки при отсутствии градиента температуры по толщине)</p> <p>Если $Pr < 5$, то расчет продолжается с поз. 7 (случай неизотермической пленки и наличие волнообразования)</p>	
Коэффициент A_r	$A_r = \left[\lambda_{T,ст} Pr (p - p_{ст}) q / \mu_{T,ст} \right]^{0,25}$	
Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{T,ст} = 0,94 A_r \sqrt{\frac{\lambda_{T,ст}}{\mu_{T,ст} (t_{T,ст} - t_{ст})}}$	
Расчет продолжить с поз. 23		
Динамическая вязкость конденсата при температуре стенки, Па·с	$\mu_{T,ст}$	
Теплопроводность конденсата при температуре стенки, Вт/(м·К)	$\lambda_{T,ст}$	
Удельная теплоемкость конденсата при температуре стенки, Дж/(кг·К)	$c_{T,ст}$	
Коэффициент ϵ_T	$\epsilon_T = \left[\left(\frac{\lambda_{T,ст}}{\lambda_T} \right)^3 \left(\frac{\mu_T}{\mu_{T,ст}} \right) \right]^{0,125}$	
Коэффициент $\epsilon_{п}$	$\epsilon_{п} = \left[1 + 0,4 (t_{T,ст} - t_{ст}) \frac{c_T}{z_T} \right]^{0,5}$	

Наименование	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
12. Массовый расход конденсата в расчете на 1 м смоченного периметра, кг/(м.с)	$G_n = \Phi / (\pi z_r D)$	
13. Число Рейнольдса для пленки конденсата	$Re_n = G_n / \mu_T$	
14. Условие продолжения расчета	Если $Re_n < 1$, то расчет продолжается с поз.15. Если $1 < Re_n \leq 250$, то расчет продолжается с поз.16. Если $Re_n > 250$, то расчет продолжается с поз.18	
15. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² .К) Расчет продолжить с поз.25	$\alpha_T = 0,943 \left[\frac{\lambda_T \rho_T (\rho_T - \rho_i) g z_r}{\mu_T (t_T - t_{ср}) H_T} \right]^{0,25} \times \epsilon_T \epsilon_n$	
16. Коэффициент	$\epsilon_n = Re_n^{0,01}$	
17. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² .К) Расчет продолжить с поз.28	$\alpha_T = 0,943 \left[\frac{\lambda_T \rho_T (\rho_T - \rho_i) g z_r}{\mu_T (t_T - t_{ср}) H_T} \right]^{0,25} \times \epsilon_T \epsilon_n \epsilon_o$	
18. Кинематическая вязкость конденсата, м ² /с	$\nu_T = \frac{\mu_T}{\rho_T}$	
19. Число Прандтля конденсата	$Pr_{ср} = \frac{\mu_T c_p}{\lambda_T}$	

Продолжение табл. 18

Наименование	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
• Число Прандтля конденсата при температуре стенки	$Pr_{t,ст} = \frac{\gamma_{т,ст} \cdot c_{т,ст}}{\lambda_{т,ст}}$	
• Отношение числа Прандтля конденсата к числу Прандтля конденсата при температуре стенки	$M = \frac{Pr_t}{Pr_{t,ст}}$	
• Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_t = \frac{Re_n \left[9 \left(1 - \frac{Pr_t}{Pr_{t,ст}} \right) \right]^{1/3} \lambda_t}{\sqrt{210} \left[2300 + 41 Pr_t^{-0.5} (Re_n^{0.75} - 89) M^{0.25} \right]}$	
• Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м ² ·К)	$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_t}}$	
• Расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi' = K' F \Delta t_{ср}$ <p>(с тем же знаком, что и Φ)</p>	
• Порядок продолжения расчета	<p>После определения первого приближения расчетного теплового потока расчет повторяется с поз. 2. При этом в формулу поз. 2 подставляется значение Φ</p> <p>После определения второго и последующих приближений расчетного теплового потока расчет продолжается с поз. 2б</p>	
• Параметр E	$E = \left \frac{\Phi' - \Phi''}{\Phi'} \right $	
• Условие продолжения расчета	<p>Если $E > 0,1$, то расчет продолжается с поз. 2, при этом в формулу подставляется второе или, если потребуется, последующие приближения расчетного</p>	

продолжение табл. 18

Наименование	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
	теплового потока. Если $E < 0,1$, то расчет заканчивается.	

2.4.3.2. При расчете теплообмена в аппарате с рубашкой из полутрубо площадь поверхности теплообмена принимается равной общей поверхности стенок аппарата, занятой рубашкой, включая промежутки между витками полутрубы. Учет влияния промежутков производится путем введения в расчет эквивалентной толщины стенки $S_{экв}$. В расчете принимается также эквивалентный диаметр канала полутрубы $d_{экв}$.

Рекомендуемые метод и форма расчета $S_{экв}$ и $d_{экв}$ приведены в табл. 19.

Рекомендуемые форма и метод расчета теплоотдачи от теплоносителя в рубашке из полутрубо или встроенном змеевике приведены в табл. 20 и 21.

Таблица 19

Расчет эквивалентного диаметра канала полутрубы и эквивалентной толщины стенки аппарата для рубашки из полутрубо

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
I. Отношение A_1	$A_1 = \frac{t_1}{R_1}$	

Продолжение табл. 19

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
2. Длина дуги полутрубы, м	$l_1 = R_T \sqrt{8A_1 - 1,33 A_1^2}$	
3. Длина хорды сегмента полутрубы, м	$l_2 = 2R_T \sqrt{2A_1 - A_1^2}$	
4. Площадь поперечного сечения канала полутрубы, м ²	$S_T = 0,5 R_T [l_1 - l_2 (1 - A_1)]$	
5. Периметр канала полутрубы, м	$\Pi = l_1 + l_2$	
6. Эквивалентный диаметр канала полутрубы, м	$d_{\text{экв}} = \frac{4S_T}{\Pi}$	
7. Половина расстояния между краями соседних полутруб, м	$b_T = \frac{Z_T - l_2}{2}$	
8. Величина T	$T = \frac{b_T + \sqrt{b_T^2 + S^2}}{S}$	
9. Эквивалентная толщина стенки аппарата, м	$S_{\text{экв}} = \frac{0,5 l_2 + b_T}{\frac{l_2}{2S} + l_{\Pi} T}$	

Расчет теплоотдачи от жидкости в рубашке из полутрусы
или встроенном змеевике

Наименование величины	Обозначение или расчетная формула		Числовое значение
	для рубашки из полутрусы	для змеевика	
1. Коэффициент	$\epsilon_T = 1 + 3,6 \frac{d_{\text{экв}}}{D}$ <p>$d_{\text{экв}}$ - (см. поз. 6 табл. 19 РД 26-01-90-85)</p>	$\epsilon_T = 1 + 3,6 \frac{d_{3\text{м}}}{D_{3\text{м}}}$	
2. Скорость течения теплоносителя, м/с	$W_T = \frac{V_T}{S_T}$ <p>S_T - (см. поз. 4 табл. 19 РД 26-01-90-85)</p>	$W_T = \frac{4 V_T}{\pi d_{\text{экв}}^2}$	
3. Температура теплоносителя на выходе из рубашки (змеевика), °С, в случае расчета:	<p>в первом приближении</p> <p>во втором и последующих приближениях</p>	$t_{T2} = t_{T1} - \frac{\Phi}{\rho_T c_T V_T}$ <p>где ρ_T, c_T - физические свойства теплоносителя при температуре на входе</p> <p>ρ_T, c_T - физические свойства теплоносителя при средней температуре теплоносителя</p>	
4. Средняя расчетная температура теплоносителя в рубашке (змеевике) (первое приближение), °С	$t_{T, \text{cp}} = \frac{t_{T1} + t_{T2}}{2}$		
5. Температура стенки аппарата, °С, в случае расчета:			

Продолжение табл. 20

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула		Числовое значение
	для рубашки из полутруб	для змеевика	
1. В первом приближении	$t'_{ст} = \frac{t + t_{т.ср}}{2}$		
2. Во втором и последующих приближениях	$t''_{ст} = t_{т.ср} - \frac{\Phi}{F \alpha'}$		
3. Число Рейнольдса	$Re = \frac{\rho_T w_T d_{экв}}{\mu_T}$	$Re = \frac{\rho_T w_T d_{зм}}{\mu_T}$	
	$d_{экв}$ — (см. поз. 6) табл. 19 РД 26-01-90-85), ρ_T, μ_T — физические свойства при температуре теплоносителя		
4. Число Прандтля	$Pr_2 = \frac{c_T \mu_T}{\lambda_T}$		
	где c_T, λ_T — физические свойства при средней температуре теплоносителя		
5. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_T = 0,023 \frac{\lambda_T}{d_{экв}} Re^{0,8} \times Pr_2^{0,33} \left(\frac{\mu_T}{\mu_{т.ст}} \right)^{0,14} \epsilon_T$	$\alpha_T = 0,023 \frac{\lambda_T}{d_{зм}} Re^{0,8} \times Pr_2^{0,33} \left(\frac{\mu_T}{\mu_{т.ст}} \right)^{0,14} \epsilon_T$	
	где $\mu_{т.ст}$ — динамическая вязкость теплоносителя при температуре $t'_{ст}$		
6. Разность температур (первое приближение), °С			

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула		Числовое значение
	для рубашки из полутруб	для змеевика	
на входе теплоносителя в рубашку	$\Delta t_1 = t - t_{T1} $		
на выходе теплоносителя из рубашки	$\Delta t_2 = t - t_{T2} $		
10. Параметр Δ_1 , °C	$\Delta_1 = \Delta t_1 - \Delta t_2$		
11. Средняя разность температур перемещаемой среды и теплоносителя (первое приближение), °C:			
при $\Delta_1 > 0$ и $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \geq 1,7$	$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$		
при $\Delta_1 < 0$ и $\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \geq 1,7$	$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$		
при $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \leq 1,7$ или $\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \leq 1,7$	$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}$		
12. Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м²·К)	$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{экв}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_T}}$		
13. Расчетный тепловой поток, Вт	$\Phi' = K' F \Delta t_{cp}$ (с тем же знаком, что и Φ)		
14. Порядок продолжения расчета	После определения первого приближения расчетного теплового потока расчет повторяется с поз. 3. При этом в формулу поз. 3 подставляется значение Φ' .		

Продолжение табл. 20

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула		Числовое значение
	для рубашки из полутруб	для змеевика	
15. Параметр E	<p>После определения второго Φ'' и последующих приближений расчетного теплового потока расчет продолжается с поз. 15.</p> $E = \left \frac{\Phi' - \Phi''}{\Phi'} \right $		
16. Условие продолжения расчета	<p>Если $E > 0,1$, то расчет продолжается с поз. 3, при этом в формулу подставляется второе или, если потребуется, последующие приближения расчетного теплового потока. Если $E \leq 0,1$, то расчет заканчивается.</p>		

Таблица 21

Расчет теплоотдачи от конденсирующегося пара
в рубашке из полутруб или встроенном змеевике

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Массовый расход конденсата, кг/с	$G_k = \frac{\Phi}{z_T}$	
2. Число Рейнольдса для пленки конденсата	$Re_n = \frac{4 G_k}{\pi d_{экв} \mu'_T}$	
3. Условие продолжения расчета	<p>Если $Re_n < 3,5 \cdot 10^4$, то расчет продолжается с поз. 4.</p>	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
	Если $Re_n \geq 3,5 \cdot 10^4$, то расчет продолжается с поз. 6	
4. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_T = 0,555 \left\{ \frac{\lambda_T^3 \rho_T (\rho_T - \rho_{CT}) g}{\mu_T (t_T - t_{CT}) d_{ЭКВ}} \right\} \times$ $\times [z_T + 0,68 c_T (t_T - t_{CT})]^{0,25}$ <p>где $d_{ЭКВ} = d_{ЗМ}$ в случае змеевика.</p>	
5. Условие продолжения расчета	Расчет продолжить с поз. 10	
6. Массовая скорость конденсата, кг/(м ² ·с)	$W_K = 4 G_K / (\pi d_{ЭКВ}^2)$	
7. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_T = 0,026 (\lambda_T / d_{ЭКВ}) \rho_T^{0,33} \times$ $\times \left\{ \left[\left(\frac{\rho_T}{\rho_{CT}} \right)^{0,5} + 1 \right] \frac{W_K d_{ЭКВ}}{\mu_T} \right\}^{0,68}$ <p>где $d_{ЭКВ} = d_{ЗМ}$ в случае змеевика.</p>	
8. Средняя разность температур перемешиваемой среды и теплоносителя, °С	$\Delta t_{cp} = t_T - t$	
9. Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м ² ·К)	$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_T}}$	

Продолжение табл. 21

Именование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<p>1. Расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт</p> <p>Порядок продолжения расчета</p>	$\Phi' = K' F \Delta t$ <p>(с тем же знаком, что и Φ)</p> <p>После определения первого приближения расчетного теплового потока расчет повторяется с поз. 1. При этом в формулу поз. 1 подставляется значение Φ. После определения второго и последующих приближений расчетного теплового потока расчет продолжается с поз. 14</p>	
2. Параметр E	$E = \left \frac{\Phi' - \Phi''}{\Phi'} \right $	
3. Условие продолжения расчета	<p>Если $E > 0,1$, то расчет продолжается с поз. 1, при этом в формулу подставляется второе или, если потребуется, последующие приближения расчетного теплового потока.</p> <p>Если $E \leq 0,1$, то расчет заканчивается.</p>	

2.4.3.3. Расчет предельного теплового потока длястроенных змеевиков и рубашек из полутруб, при использовании в качестве теплоносителя конденсирующихся паров, должен проводиться с учетом того, что заданный тепловой поток (поз. 20, табл. 13 РД 20-01-90-85) не должен превышать предельного значения $\Phi_{\text{пред.}}$, при котором начинается заполнение теплообменного устройства конденсатом. Метод и форма расчета $\Phi_{\text{пред.}}$ приведены в табл. 22.

Расчет предельного теплового потока

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	
	для рубашки	для змеевика
1. Угол наклона канала теплообменного устройства, рад.	$\beta = \frac{\varepsilon_T}{\pi D}$	$\beta = \frac{S_T}{\pi D_{зм}}$
2. Предельный тепловой поток, Вт:		
для водяного пара	$\Phi_{пред} = 1,9 \cdot 10^{10} R_T^{2,67} \sqrt{\beta}$	$\Phi_{пред} = 5,8 \cdot 10^9 d_{зм}^{2,67} \sqrt{\beta}$
для паров других жидкостей	$\Phi_{пред} = 8 \cdot 10^3 \cdot z_T R_T^{2,67} \sqrt{\beta}$	$\Phi_{пред} = 2,6 \cdot 10^3 \cdot z_T \cdot d_{зм}^{2,67} \sqrt{\beta}$

2.4.4. Основное сопротивление цилиндрических рубашек сосредоточено на входных и выходных участках; сопротивлением канала цилиндрической рубашки можно пренебречь. При расчете гидравлического сопротивления рубашек из полутруб или змеевиков необходимо учитывать потери напора на преодоление касательного трения в их каналах.

Рекомендуемые форма и метод расчета гидравлического сопротивления приведены в табл. 23.

Таблица 23

Расчет гидравлического сопротивления рубашек и
встроенного змеевика (теплоноситель — жидкость)

Именованные величины	Обозначение и расчетная формула		Числовое значение
	для рубашек	для змеевика	
Гидравлическое сопротивление на входе, Па	$P_{вх} = 0,75 \rho_T W_T^2$		
Гидравлическое сопротивление на выходе, Па	$P_{вых} = 0,5 \rho_T W_T^2$		
Общая длина канала полутрубы рубашки, змеевика, м	$l_T = \pi z (D + 2s)$	$l_T = \pi z D_{зм}$	
Число Рейнольдса	$Re_T = \frac{\rho_T W_T d_{экр}}{\mu_T}$	$Re_T = \frac{\rho_T W_T d_{зм}}{\mu_T}$	
Коэффициент гидравлического сопротивления канала	$\xi_T = \frac{0,316}{Re_T^{0,25}}$		
Гидравлическое сопротивление канала, Па	$P_T = \xi_T \frac{\rho_T W_T^2}{2} \frac{l_T}{d_{экр}}$	$P_T = \xi_T \frac{\rho_T W_T^2}{2} \frac{l_T}{d_{зм}}$	
Общее гидравлическое сопротивление теплообменного устройства, Па	$P = P_T + P_{вх} + P_{вых}$ (для цилиндрических рубашек $P_T = 0$)		

2.5. Расчет характеристик турбулентного переноса

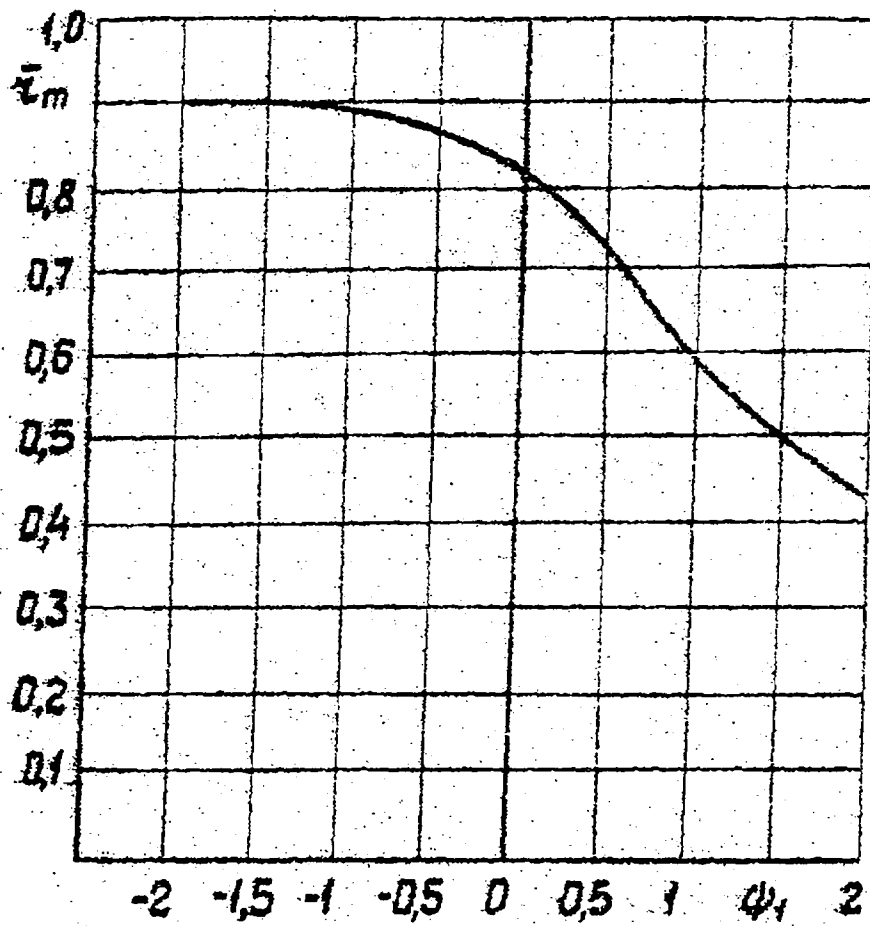
2.5.1. При турбулентном режиме течения среды в аппарате перемешивание осуществляется в результате турбулентной диффузии и циркуляции. Величинами, характеризующими интенсивность переноса веществ и теплоты, являются циркуляционный расход q и коэффициент турбулентного переноса D_T .

Рекомендуемый метод расчета характеристик переноса основан на использовании гидродинамических характеристик потока (ψ_1 , ψ_2 и v_{cp}), расчет которых рассмотрен в подразделе 2.3.

Перечень исходных данных, необходимых для расчета q и D_T , приведен в табл.24, метод и форма расчета — в табл.25 и на графиках (черт.43 и 44).

При расчете эмалированных аппаратов с отражательными значениями D_T рекомендуется рассчитывать по формуле, приведенной в табл.25 для аппаратов с отражательными перегородками. При этом значение v_{cp} следует принимать равным 2/3 от рассчитанного для рассматриваемого аппарата при установившемся в нем отражательных перегородок (табл.9)

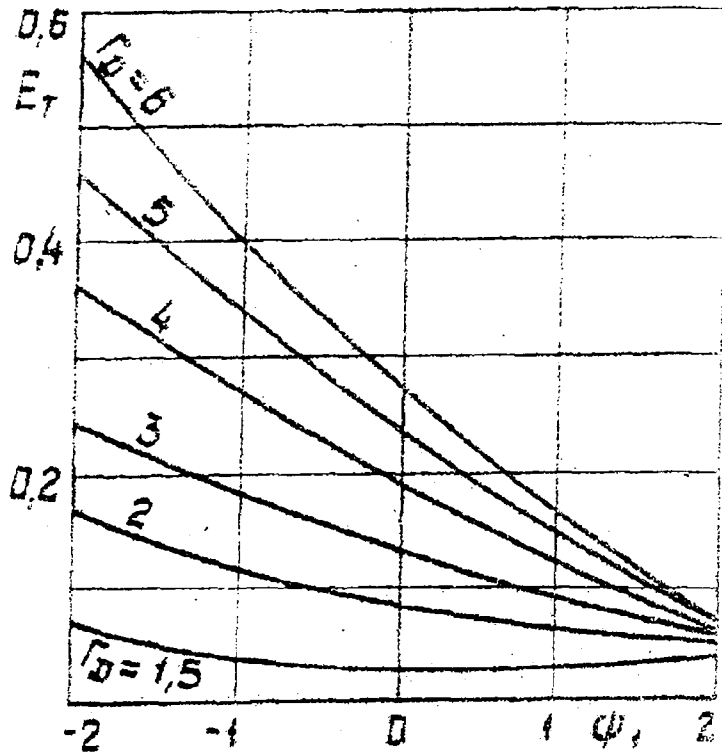
Относительный радиус границы зон $\bar{z}_m = f(\psi_1)$



Черт. 43

Параметр $E_T = f(\Gamma_D)$

$\Gamma_D \geq 1,5$



$\Gamma_D \leq 1,33$

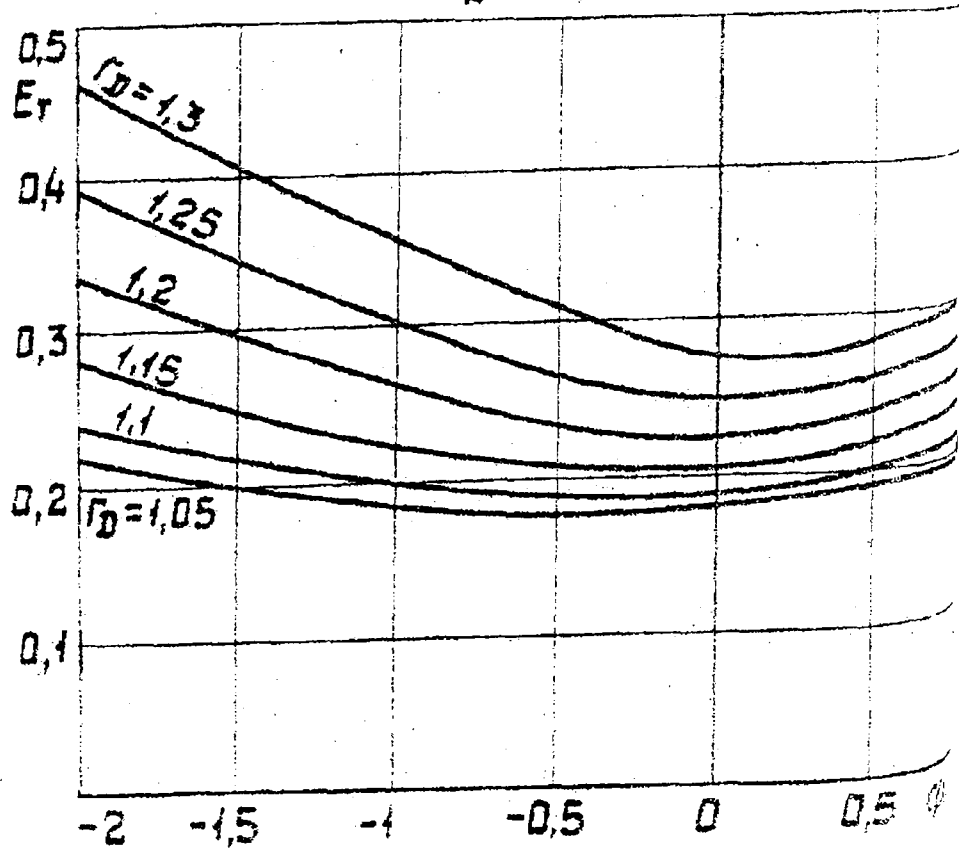


Таблица 24

Исходные данные для расчета характеристик
крупномасштабного переноса

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Для аппаратов без внутренних устройств		
1. Диаметр мешалки, м	d_m	
2. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	
3. Отношение Γ_D	Γ_D (см. поз. 2 табл. 4 РД 26-01-90-85)	
4. Параметры профиля окружной скорости	ψ_1, ψ_2 (см. поз. 3; 6 табл. 4 РД 26-01-90-85)	
5. Коэффициент расхода	k_2 (см. табл. 2 РД 26-01-90-85)	
Дополнительные данные для аппаратов с отражательными перегородками		
6. Диаметр аппарата, м	D	
7. Высота заполнения аппарата, м	H	
8. Средняя скорость потока, м/с	v_{cp} (см. поз. 4 табл. 9 РД 26-01-90-85)	
9. Коэффициент мощности	K_M (см. поз. 7 табл. 9 РД 26-01-90-85)	
10. Радиус внутренней кромки лопасти мешалки, м	$r_{вн}$	

Продолжение табл. 24

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
II. Высота лопасти мешалки, м	n_l	
I2. Угол наклона лопастей мешалки к горизонтальной плоскости, град	α	

Таблица 25

Расчет характеристик переноса

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Аппараты без внутренних устройств		
I. Параметр поля скоростей m	$m = 1 + \psi_1 + \psi_2$	
2. Циркуляционный расход перемешиваемой среды, м ³ /с: для мешалок типа IO и эмалированных якорных мешалок (при $\Gamma = I, 33$) для мешалок остальных типов	$q = k_2 n d_m^3$ $q = k_2 n d_m^3 e^{6,9m}$ где k_2 - коэффициент расхода (по табл. 2 РД 26-01-90-85)	
3. Относительный радиус границы зон	$\bar{r}_m = f(\psi_1)$ (по подразд. 2.5 РД 26-01-90-85)	
4. Величина j	$j = 1,57 n d_m^2$	

Продолжение табл.25

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
6. Параметр E_T : при $\Gamma_D \geq 1,5$ при $\Gamma_D \leq 1,33$	$E_T = f(\psi_1)$ (по подразд.2.5 РД 26-01-90-85) $E_T = f(\psi_1)$ (по подразд.2.5 РД 26-01-90-85)	
7. Коэффициент турбулентного переноса, m^2/c	$D_T = j E_T$	
Аппараты с отражательными перегородками и отражателями		
8. Осредненный коэффициент турбулентного переноса, m^2/c	$D_T = 0,1 v_{cp} D$	
9. Относительная средняя скорость в аппарате	$\bar{v}_{cp} = \frac{v_{cp}}{\pi n d_M}$	
10. Относительный радиус внутренней кромки лопасти мешалки	$\bar{r}_{вн} = \frac{2r_{вн}}{d_M}$	
11. Параметр φ	$\varphi = 1 - \sin \alpha \left[1 - \frac{0,33 \bar{v}_{cp} - \bar{v}_{cp}^2 + \bar{v}_{cp}^3 (1 - \bar{r}_{вн})}{0,25 - 0,67 \bar{v}_{cp} + 0,5 \bar{v}_{cp}^2} \right] - \bar{v}_{cp} \frac{d_M}{D}$	
12. Коэффициент расхода	$K_2 = \sqrt[3]{\frac{\pi^2 K_N \varphi \Gamma_D^2}{388 \frac{H}{D} (1 - \frac{h_A}{H}) + 256}}$	
13. Циркуляционный расход перемешиваемой среды, m^3/c	$q_V = K_2 \pi d_M^3$	

2.6. Расчет характеристик поля концентраций растворенных веществ и температуры

2.6.1. Метод расчета распространяется на случаи перемешивания взаиморастворимых жидкостей с близкими плотностями или жидкостей с различной температурой в аппаратах с одной мешалкой на валу.

Целью расчета является определение времени достижения заданной степени ^ноднородности перемешиваемой среды (времени гомогенизации) в периодически действующих аппаратах, а также определение максимального перепада температуры или концентраций в проточных аппаратах без внутренних устройств.

Перечень исходных данных, необходимых для расчетов, приведен в табл.26.

2.6.2. Под степенью ^ноднородности среды в аппарате η через время τ после начала перемешивания (в периодически действующих аппаратах) понимается:

для жидкостей разного состава - отношение

$$\eta = \frac{c_{\tau}}{c_{\text{ср}}}$$

где c_{τ} - минимальное локальное значение массовой концентрации распределяемого вещества через время τ после начала перемешивания, кг/м³;

$c_{\text{ср}} = \frac{G}{V}$ - среднее значение массовой концентрации, кг/м³;

G - масса введенного компонента, кг;

V - объем жидкости в аппарате, м³;

для жидкостей с разной температурой — отношение

$$\eta = \frac{t_{\tau} - t_0}{t - t_0}$$

t_{τ} — минимальное (максимальное) локальное значение температуры через время τ после начала перемешивания, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 — начальная температура жидкости, $^{\circ}\text{C}$;

t — среднее значение температуры, $^{\circ}\text{C}$.

Область применения приводимого метода расчета соответствует значениям $0,7 \leq \eta < 1$.

Рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл. 27.

При выборе вариантов в ходе расчета следует иметь в виду, что время гомогенизации изменяется приблизительно обратно пропорционально частоте вращения мешалки и квадрату ее диаметра.

Таблица 26

Перечень исходных данных для расчета характеристик
поля концентраций и температуры

Именованная величина	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Диаметр аппарата, м	D	
Диаметр мешалки, м	d_m	
Высота заполнения аппарата, м	H	
Объем жидкости в аппарате, м ³	V	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
5. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	
6. Относительный радиус центральной зоны (для аппаратов без внутренних устройств)	\bar{r}_m (см. поз. 3 табл. 25 РД 26-01-90-85)	
7. Циркуляционный расход (для аппаратов без внутренних устройств), m^3/c	q (см. поз. 2 табл. 25 РД 26-01-90-85)	
8. Коэффициент турбулентного переноса, m^2/c для аппаратов без внутренних устройств	D_* (см. поз. 6 табл. 25 РД 26-01-90-85)	
для аппаратов с отражателями и отражательными перегородками	D_T (см. поз. 7 табл. 25 РД 26-01-90-85)	
9. Заданная степень ^{не} однородности	n (по п. 2.6.2 РД 26-01-90-85)	

Таблица 27

Расчет времени распределения растворенных веществ (времени гомогенизации)

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Аппараты без внутренних устройств		
Время достижения $\tau_0 = 0,87, \text{ с}$	$\tau_0 = \frac{2,04 \sqrt{z_m^2 (\Gamma_D^2 - \tau_m^2)}}{\Gamma_D^2 q}$	
Время достижения заданной степени однородности (время гомогенизации), с	$\tau_\tau = \tau_0 e^{2,25 (\tau - 0,87)}$ где $e = 2,72$ - основание натуральных логарифмов	
Аппараты с отражательными перегородками или с отражателями		
Число Фурье	$Fo = -0,8 \cdot \ln(1 - \tau)$	
Время достижения заданной степени неоднородности в аппарате, с	$\tau_\tau = Fo \frac{H^2 + D^2}{D_T}$	

2.6.3. Расчет максимального перепада температуры и концентраций

2.6.3.1. Метод расчета распространяется на случаи смешивания в аппаратах без внутренних устройств при непрерывном режиме их работы в условиях, когда имеет место теплообмен или отдельный ввод смешиваемых жидкостей. Рекомендуемая форма расчета приведена в табл. 28.

Расчет максимального перепада концентрации и температуры

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Дополнительные исходные данные		
1. Объемный расход перемещиваемой среды, м ³ /с	Q	
2. Площадь поверхности теплообмена, м ²	F	
3. Начальная температура перемещиваемой среды, °С	t ₀	
4. Плотность перемещиваемой среды, кг/м ³	ρ	
5. Удельная теплоемкость перемещиваемой среды, Дж/(кг·К)	c	
6. Средняя температура теплоносителя, °С	t _{т, ср} (см. подразд. 2.4 РД 26-01-90-85)	
7. Коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К)	K (см. подразд. 2.4 РД 26-01-90-85)	
Расчетные величины		
8. Суммарный объемный расход перемещиваемой среды, м ³ /с	$Q_c = Q + q$	
9. Относительный перепад температур	$\Delta \bar{t}_{max} = \frac{Q}{Q_c} \left[\frac{KF}{c \rho Q + KF} \right]$	

Продолжение табл. 28

Именованние величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
В. Максимальный перепад температуры, °С	$\Delta t_{max} = \Delta \bar{t}_{max} (t_{Tep} - t_o)$	
Г. Максимальный перепад массовых концентраций, кг/м ³	$\Delta C_{max} = \frac{C_{cp} Q}{q}$	

2.7. Расчет перемешивания в системе твердое тело — жидкость

2.7.1. Рекомендуемый метод расчета распространяется на аппараты периодического и непрерывного действия без внутренних устройств, с отражательными перегородками или откатными. Перечень исходных данных, необходимых для расчета, приведен в табл. 29.

2.7.2. Определение условий, обеспечивающих отсутствие осадка на днище аппарата, и расчет распределения объемной доли частиц по высоте аппарата.

2.7.2.1. Целью расчета аппаратов является проверка условий, обеспечивающих отсутствие осадка на днище аппарата и расчет распределения частиц по высоте рабочего объема для заданных характеристик аппарата, мешалки и свойств рабочих сред.

В качестве характеристик степени неоднородности распределения твердых частиц на высоте аппарата принимается величина

$$\Delta \bar{\psi} = \frac{|\psi_c - \psi_n|}{\psi_{cp}}$$

где ψ_c и ψ_n - объемная доля твердых частиц у дна и у поверхности соответственно; ψ_{cp} - средняя объемная доля твердой фазы в аппарате.

Рекомендуемый метод и форма расчета приведены в табл. 30 и на черт. 45...49.

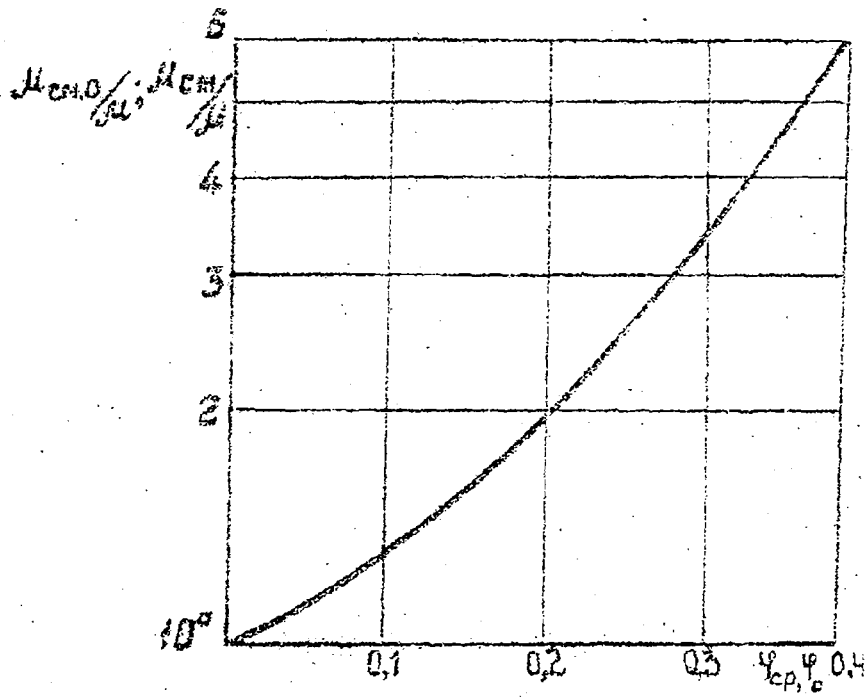
Следует отметить, что при перемешивании суспензий с высокой концентрацией твердых частиц, не рекомендуется осуществлять пуск аппарата при погруженной в осадок мешалке. В этом случае целесообразно либо поднять мешалку над уровнем осадка, либо подавать в аппарат твердую фазу при работающем перемешивающем устройстве.

Таблица 29

Перечень исходных данных для расчета перемешивания
в системе твердое тело - жидкость

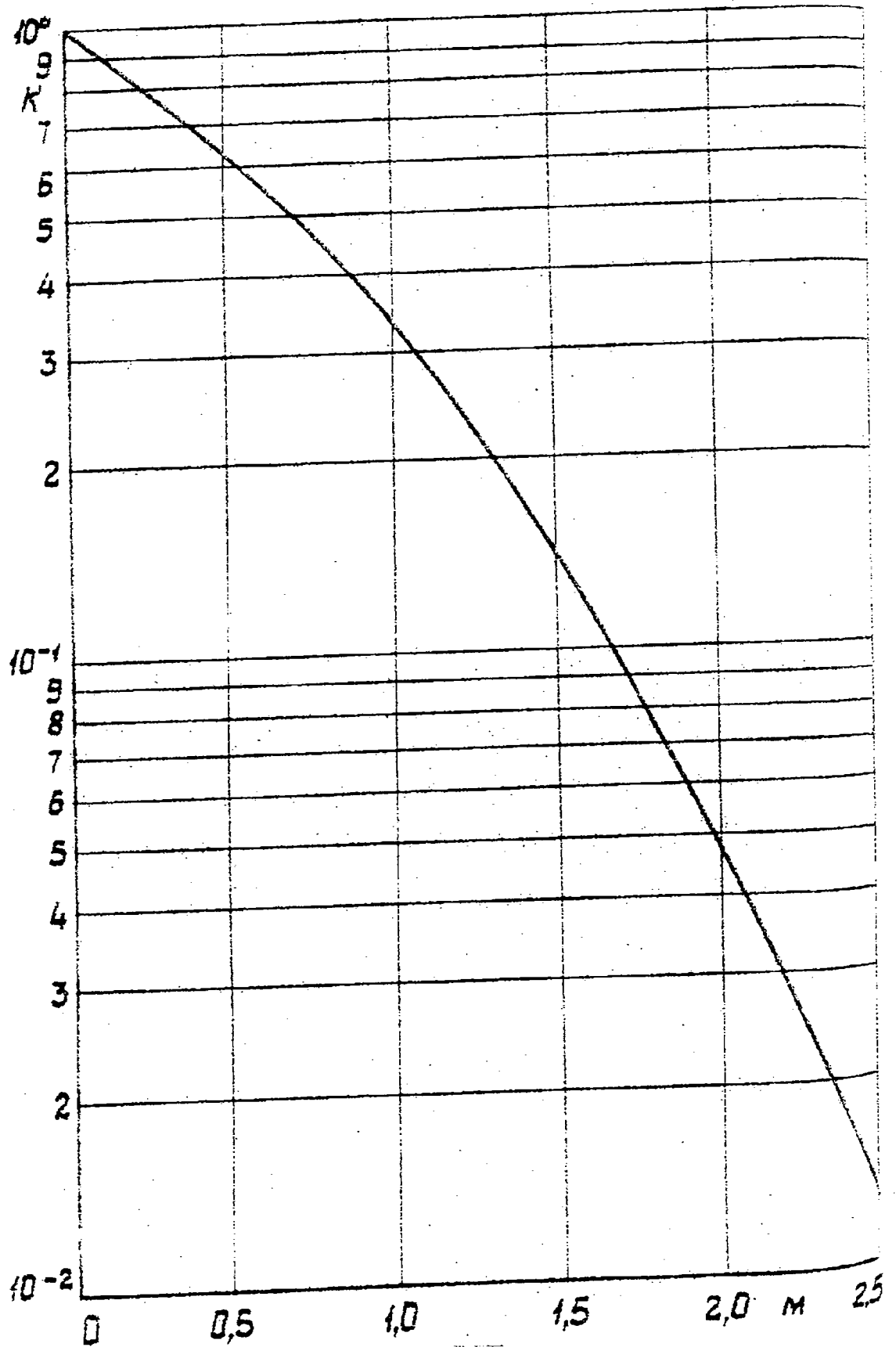
Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Диаметр аппарата, м	D	
2. Высота заполнения аппарата, м	H	
3. Диаметр мешалки, м	d_m	
4. Тип и индекс мешалки	i	
5. Коэффициент сопротивления мешалки	χ_m	
	(см. подразд. 2.2 РД 26-01-90-85)	

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СУСПЕНЗИИ
ОТ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ



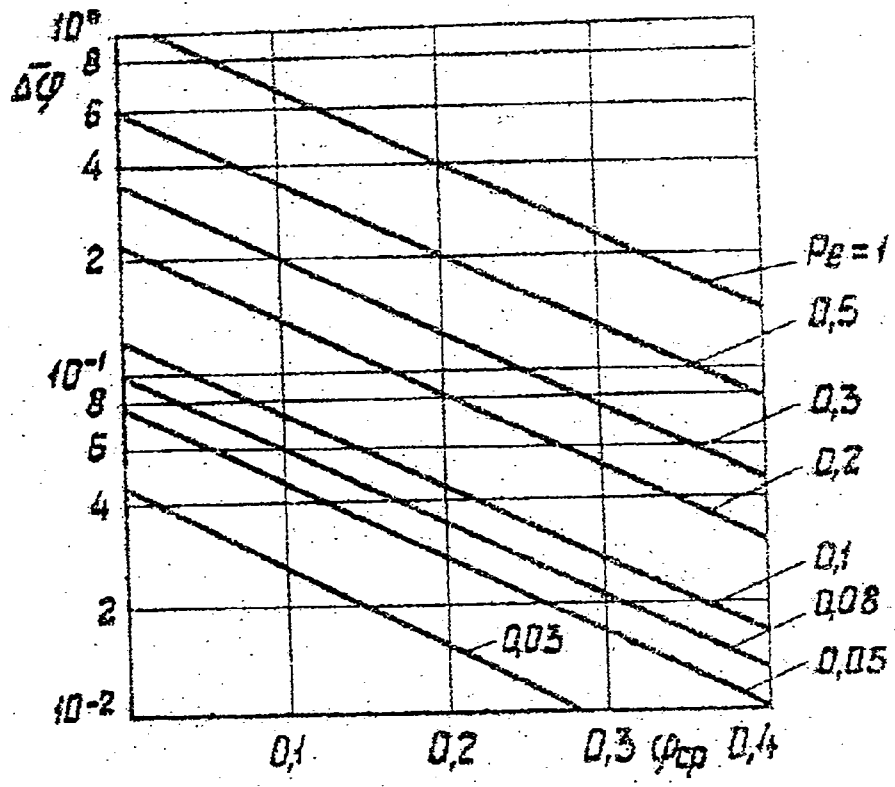
Черт. 45

ЗАВИСИМОСТЬ $K = f(M)$



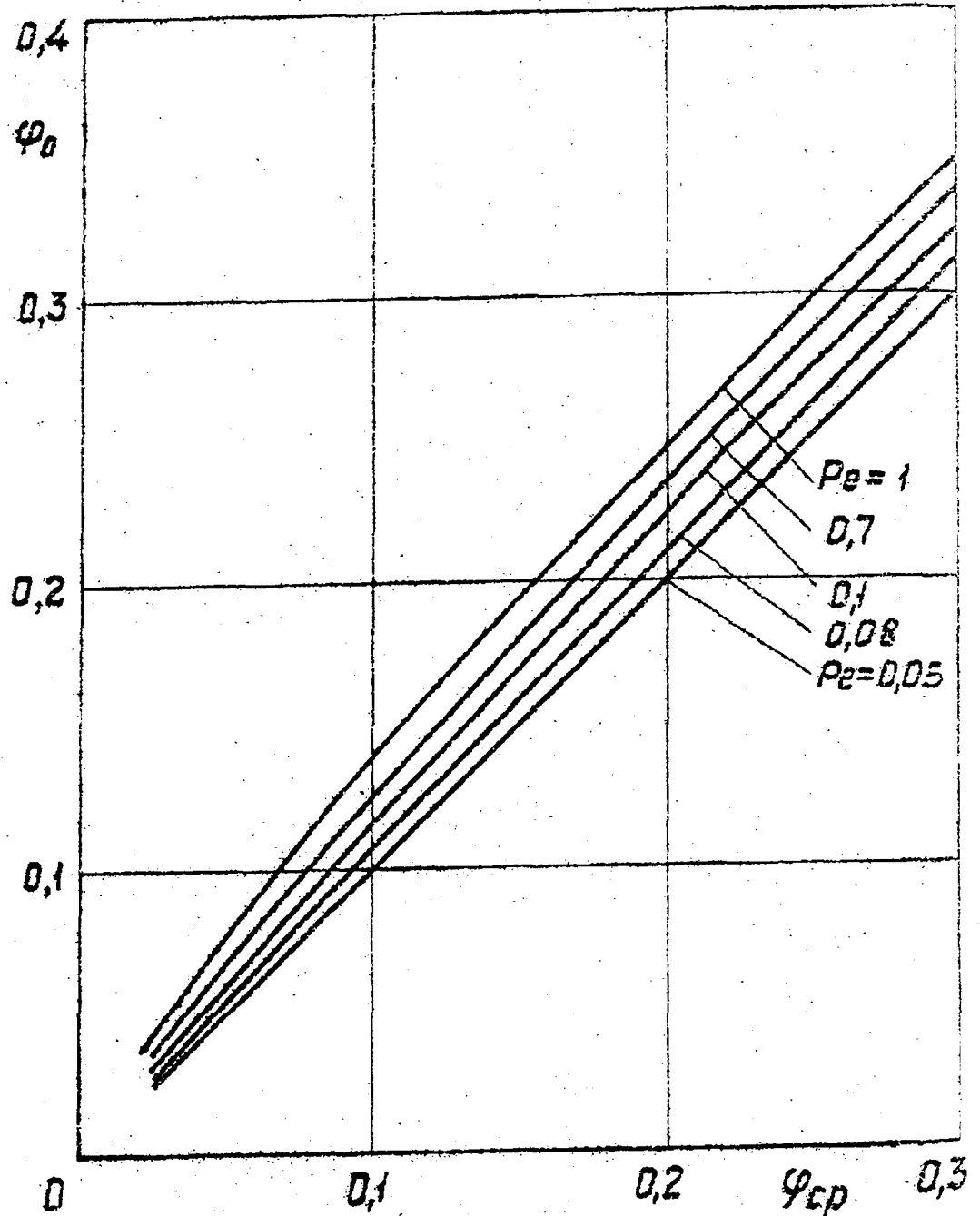
Черт. 46

Зависимость степени неоднородности распределения твердой фазы по высоте аппарата от средней объемной доли твердых частиц $\varphi_{\text{ср}}$ и числа Re



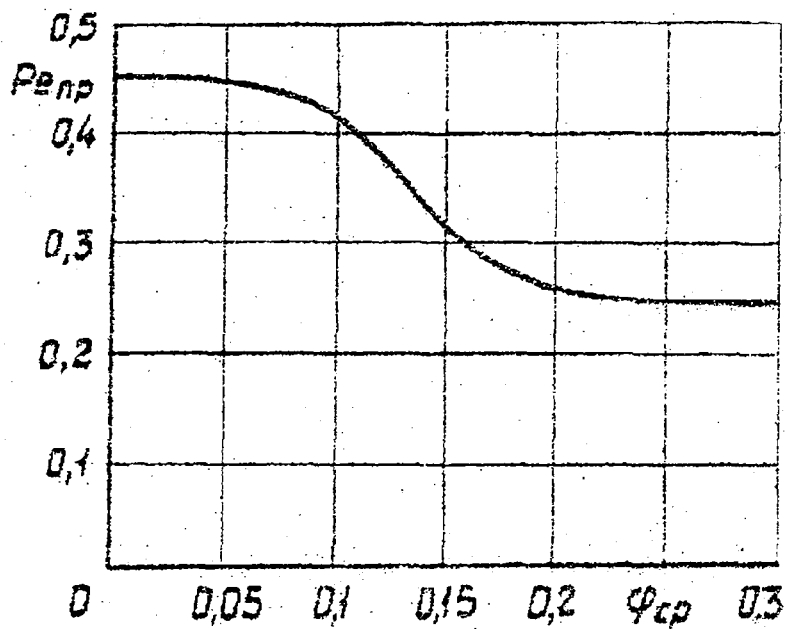
Черт. 47

Зависимость объемной доли твердой фазы у дна аппарата от средней объемной доли и числа Pe



Черт. 48

Зависимость предельного числа $Re_{пр}$ от объемной доли
 твердых частиц для аппаратов с отражательными перегородками
 и отражателями



Чертл 49

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
6. Частота вращения мешалки рекомендуемого аппарата, с ⁻¹	n	
7. Плотность сплошной фазы, кг/м ³	ρ	
8. Плотность твердых частиц, кг/м ³	$\rho_{ч}$	
9. Максимальный диаметр твердых частиц, м	$d_{ч}$ (если не задана скорость осаждения)	
10. Скорость осаждения твердых частиц, м/с	$w_{ос}$ (задается только в случае экспериментального определения)	
11. Число мешалок на валу	z_m	
12. Объемный расход среды через аппарат (для непрерывно действующих аппаратов), м ³ /с	Q	
13. Массовая доля частиц на выходе из непрерывно действующего аппарата	$X_{вых}$	
Дополнительные исходные данные для аппарата без отражательных перегородок		
14. Предельная объемная доля твердой фазы	φ_n (рекомендуется принимать $\varphi_n \approx 0,7$)	
15. Средняя массовая доля твердой фазы	X_{cp}	

Продолжение табл. 29

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
16. Средняя объемная доля твердой фазы	φ_{cp}	
17. Ускорение свободного падения, м/с ²	g (рекомендуется принимать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$)	
18. Динамическая вязкость сплошной фазы, Па.с	μ	

x Заполняется одна из поз. 15 или 16

Таблица 30

Проверка условия отсутствия осадка на днище и расчет степени неоднородности распределения твердых частиц на высоте аппарата

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Плотность суспензии, кг/м ³ при заданной объемной доле φ_{cp} при заданной массовой доле X_{cp}	$\rho_{cm} = (1 - \varphi_{cp}) \rho + \varphi_{cp} \rho_ч$ $\rho_{cm} = \frac{1}{\frac{X_{cp}}{\rho_ч} + \frac{1 - X_{cp}}{\rho}}$	
2. Средняя объемная доля твердой фазы	$\varphi_{cp} = \frac{X_{cp} \rho_{cm}}{\rho_ч}$	

x Расчет по поз. 2 табл. 30 проводится при заданной массовой доле твердой фазы.

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
3. Средняя массовая доля твердой фазы ^x	$X_{cp} = \frac{\varphi_{cp} \rho_{ч}}{\rho_{см}}$	
4. Динамическая вязкость суспензии (при $d_{ч} < 100$ мкм $\mu_{см}$ определяется экспериментально), Па.с: при $\varphi_{cp} \leq 0,1$ при $\varphi_{cp} > 0,1$	$\mu_{см} = \mu (1 + 2,5 \varphi_{cp})$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
5. Кинематическая вязкость суспензии, м ² /с	$\nu_{см} = \frac{\mu_{см}}{\rho_{см}}$	
6. Максимальная скорость свободного осаждения твердых частиц, м/с	$W'_{oc} = 1,15 \sqrt{\frac{g d_{ч} (\rho_{ч} - \rho)}{\rho}}$	
7. Скорость стесненного осаждения частиц ^{xx} для частиц $d_{ч} \geq 100$ мкм (для частиц $d_{ч} < 100$ мкм скорость осаждения определяется экспериментально), м/с	$W_{oc} = W'_{oc} (1 - \varphi_{cp})^3$	
Аппарат без внутренних устройств		
8. Отношение диаметра аппарата к диаметру мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	

x Расчет по поз. 3 табл. 30 проводится при заданной объемной доле твердой фазы

xx Расчеты по поз. 6 и 7 проводятся в том случае, если не задана экспериментально определенная скорость осаждения (см поз. 10 табл. 29 РД 26-01-90-85)

Продолжение табл. 30

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
9. Параметры распределения окружной скорости	ψ_1, ψ_2 (по п.2.3.2.1 РД 26-01-90-85)	
10. Параметр	$B = 1 + 0,4\psi_1 + 0,5\psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2) \ln \Gamma_D$	
11. Коэффициент турбулентной диффузии, м ² /с	D_T (см. поз. 6 табл. 25 РД 26-01-90-85)	
12. Число Пекле для аппаратов: периодического действия непрерывного действия при $\rho_4 > \rho$ и направлении потока сверху вниз или $\rho_4 < \rho$ и направлении потока снизу вверх непрерывного действия при $\rho_4 > \rho$ и направлении потока снизу вверх или $\rho_4 < \rho$ и направлении потока сверху вниз	$Pe = \frac{w_{oc} H}{D_T}$ $Pe = \frac{(w_{oc} + w) H}{D_T}$ $Pe = \frac{(w_{oc} - w) H}{D_T}$ <p>где $w = \frac{4Q}{\pi D^2}$ — скорость течения среды через аппарат, м/с</p>	
13. Объемная доля твердой фазы у дна аппарата	$\varphi_0 = f(\varphi_{cp}, Pe)$ (по п.2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовые значения
14. Динамическая вязкость суспензии у дна аппарата, Па·с	$\mu_{см,0}$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
15. Плотность суспензии у дна аппарата, кг/м ³	$\rho_{см,0} = (1 - \varphi_0) \rho + \varphi_0 \rho_ч$	
16. Кинематическая вязкость суспензии у дна аппарата, м ² /с	$\nu_{см,0} = \frac{\mu_{см,0}}{\rho_{см,0}}$	
17. Пульсационная скорость среды у поверхности осадка, м/с	$v_0 = \left(\frac{n B d_m}{0,68 \Gamma_D} \right)^{7/8} \left(\frac{2 \nu_{см,0}}{D} \right)^{1/8}$	
18. Критическая пульсационная скорость, обеспечивающая подъем твердых частиц, м/с	$v_{кр} = \sqrt{\frac{2(\rho_ч - \rho)}{\rho} g d_ч \varphi_n}$	
19. Критическая частота пульсации скорости, обеспечивающая подъем осадка, с ⁻¹	$\nu_{кр} = \frac{w_{ос} \varphi_0}{\varphi_n d_ч}$	
20. Параметр M	$M = \frac{v_{кр}}{v_0}$	
21. Параметр K	$K = f(M)$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
22. Частота пульсаций, скорость которых выше $v_{кр}$ у поверхности осадка, с ⁻¹	$\nu = \frac{v_0^2 \cdot K}{5,7 \cdot \nu_{см,0}}$	
23. Условие отсутствия осадка на дне аппарата	$\nu > \nu_{кр}$	

Продолжение табл.30

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
24. Степень неоднородности распределения твердых частиц по высоте аппарата ^x Аппарат с отражательными перегородками и отражателями	$\Delta \bar{\varphi} = f(\varphi_{\text{ср}}, Pe)$ (по п.2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
25. Коэффициент турбулентной диффузии, м ² /с	$D_T = 0,435 D n d_m \left(\frac{\varepsilon_m \lambda_m}{\Gamma_D^2 \lambda} \right)^{1/3}$	
26. Число Пекле	$Pe = \frac{w_{\text{ос}} H}{D_T}$	
27. Предельное число Пекле, обеспечивающее отсутствие осадка на днище аппарата	$Pe_{\text{пр}} = f(\varphi_{\text{ср}})$ (по п.2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
28. Условие отсутствия осадка на днище аппарата	$Pe \leq Pe_{\text{пр}}$	
29. Степень неоднородности распределения твердых частиц по высоте аппарата ^x	$\Delta \bar{\varphi} = f(\varphi_{\text{ср}}, Pe)$ (см. поз.24 табл.30 РД 26-01-90-85)	

^x Расчет по поз.24 и 29 табл.30 выполняется только при отсутствии осадка на днище аппарата

2.7.3. Расчет распределения времени пребывания взвешенных частиц в аппарате:

2.7.3.1. Распределение времени пребывания взвешенных частиц определяется только для проточных аппаратов. Форма

и метод расчета для аппаратов с отражательными перегородками приведены в табл.31, для аппаратов без отражательных перегородок — в табл.32 и на черт.50.

Приведенное в табл.31 поз.5 и в табл.32 поз.5 выражение функции распределения времени пребывания $c(\tau)$ может быть использовано для расчета аппаратов, предназначенных для растворения, выщелачивания и химических превращений при наличии данных о кинетике процесса.

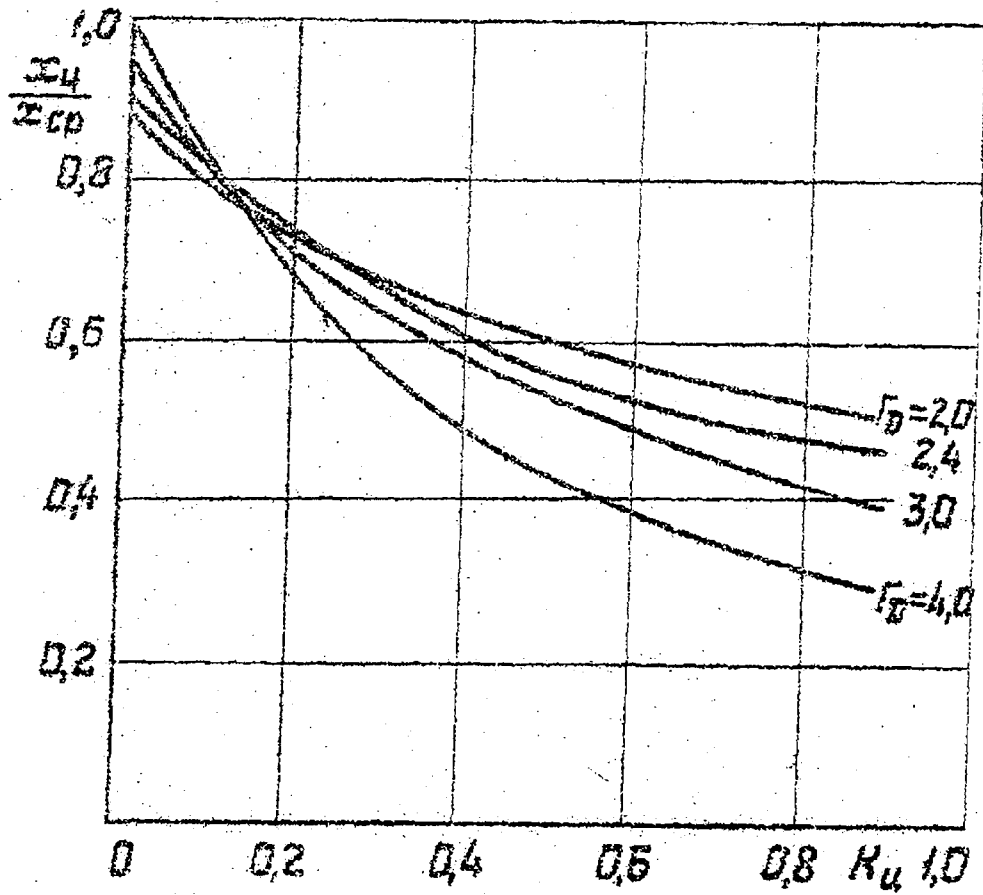
Метод расчета распределения времени пребывания частиц в аппаратах без отражательных перегородок применим при значении числа Пекле $Pe \leq 0,15$.

Таблица 31

Расчет распределения времени пребывания взвешенных частиц в аппарате с отражательными перегородками или отражателями

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Число Пекле	Pe (см. поз. 14 табл. 30 РД 26-01-90-85)	
2. Средняя массовая доля твердых частиц в аппарате: при $\rho_4 > \rho$ и отводе сверху или $\rho_4 > \rho$ и отводе снизу	$\frac{x_4}{x_{cp}} = \frac{e^{Pe} - 1}{Pe}$	

Отношение концентрации частиц в аппарате к средней концентрации в потоке



Черт. 50

Продолжение табл. 31

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
при $\rho_4 < \rho$ и отводе снизу или $\rho_4 < \rho$ и отводе сверху	$\frac{x_4}{x_{cp}} = \frac{\rho e}{e^{\rho e} - 1}$ <p>где $e \approx 2,72$ - основание натуральных логарифмов</p>	
3. Среднее время пребывания суспензии в аппарате, с	$\tau_c = \frac{V}{Q}$	
4. Среднее время пребывания частиц в аппарате, с	$\tau_4 = \tau_c \frac{x_4}{x_{cp}}$	
5. Функция распределения времени пребывания частиц в аппарате	$c(\tau) = e^{-\frac{\tau}{\tau_4}}$ <p>где τ - текущее время, с; $e = 2,72$ - основание натуральных логарифмов</p>	

Таблица 32

Распределение времени пребывания частиц в аппарате без внутренних устройств

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Параметр $K_{ц}$	$K_{ц} = \frac{W_{oc}}{0,05 (\Gamma_D - \bar{z}_m)^2 \sqrt{\frac{g \alpha_m}{2}}}$	
2. Параметр L	$L = 2e \frac{-K_{ц} \Gamma_D^{1,5}}{1,5}$	

Продолжение табл. 32

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовые значения
<p>3. Отношение средней массовой доли частиц в аппарате к массовой доле частиц в потоке</p>	$\frac{x_{\text{ч}}}{x_{\text{ср}}} = L \left(\frac{\sigma^2 - \bar{v}_m^2}{2} \right) +$ $+ L \left[\sum_{n=1}^{n=5} \left(\frac{K_{\text{ц}}}{1,5} \right)^n \frac{\sigma^{1,5n+2} - \bar{v}_m^{1,5n+2}}{(1,5n+2) n!} \right]$ <p>где $e = 2,72$ — основание натуральных логарифмов</p> <p>или $\frac{x_{\text{ч}}}{x_{\text{ср}}} = f(K_{\text{ц}})$</p> <p>(по п.2.7.3.1 РД 26-01-90-85)</p>	
<p>4. Среднее время пребывания суспензии в аппарате, с</p>	$\tau_c = \frac{V}{Q}$	
<p>5. Среднее время пребывания частиц в аппарате, с</p>	$\tau_{\text{ч}} = \frac{x_{\text{ч}}}{x_{\text{ср}}} \tau_c$	
<p>6. Функция распределения времени пребывания частиц в аппарате</p>	$c(\tau) = e^{-\frac{\tau}{\tau_{\text{ч}}}}$ <p>где τ — текущее время, с; e — см. поз. 3 табл. 32 РД 26-01-90-85</p>	

2.7.4. Расчет затрат мощности при перемешивании суспензий

2.7.4.1. Расчет мощности, потребляемой при перемешивании суспензий, массовая доля твердой фазы которой не превышает 50 % для аппаратов с отражательными перегород-

ками и отражателями, производится по формулам, приведенным в табл. 6, 7 и 8 с учетом плотности суспензии $\rho_{см}$, рассчитанной по поз. I табл. 30.

2.7.4.2. Для аппаратов без внутренних устройств, рекомендуемые метод и форма расчета мощности приведена в табл. 33 и на черт. 51. Расчет мощности распространяется на режимы перемешивания, обеспечивающие отсутствие осадка на днище аппарата.

Таблица 33

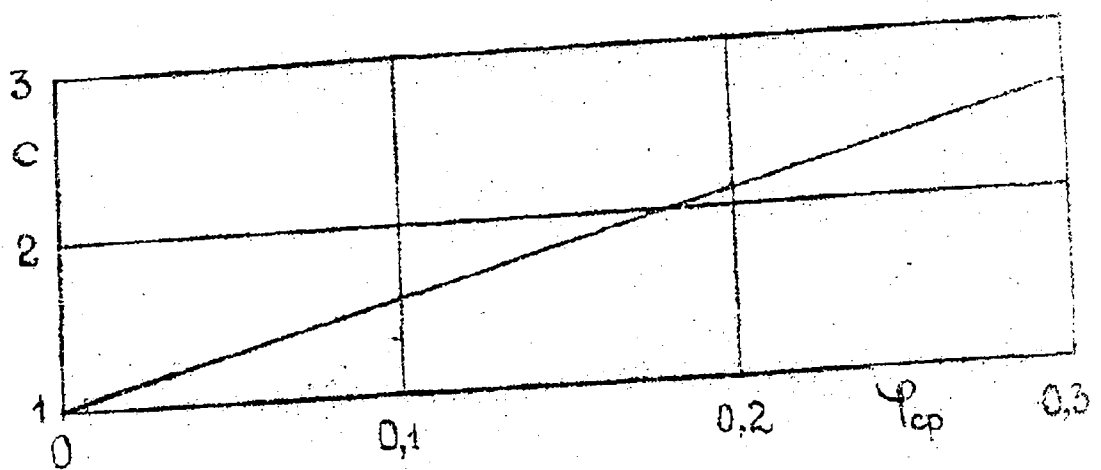
Расчет мощности при перемешивании суспензий в аппаратах без внутренних устройств

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Аппараты без внутренних устройств		
1. Плотность суспензии, кг/м ³	$\rho_{см}$ (см. поз. I табл. 30 РД 26-01-90-85)	
2. Динамическая вязкость суспензии, Па·с	$\mu_{см}$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
3. Кинематическая вязкость суспензии, м ² /с	$\nu_{см} = \frac{\mu_{см}}{\rho_{см}}$	
4. Коэффициент c	$c = f(\nu_{ср})$ (по п. 2.7.4.2 РД 26-01-90-85)	
5. Число Рейнольдса	$Re_{ц} = \frac{n d_m^2}{\nu_{см}}$	

Продолжение табл. 33

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Численное значение
6. Отношение диаметра аппарата к диаметру мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	
7. Параметр высоты заполнения для аппаратов:		
со свободной поверхностью жидкости	$\gamma = 8 \frac{H}{D} + 1$	
целиком заполненных	$\gamma = 8 \frac{H}{D} + 2$	
8. Параметр гидравлического сопротивления E	$E = \frac{\lambda \cdot c}{\sum_{m=1}^n \frac{Re^{0,25}}{m}}$	
9. Параметр распределения скорости ψ_1 для мешалок типа 03; 07 при $\Gamma_D \geq 1,5$	ψ_1 (по п. 2.3.2.1 РД 26-01-90-85)	
10. Коэффициент для мешалок типа 03; 07	$K_1 = f(\psi_1)$ (по п. 2.3.2.3 РД 26-01-90-85)	
11. Коэффициент мощности	$K_N = 3,87 z_m \xi_m K_1$	
12. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho_{см} n^3 d_m^5$	

Зависимость коэффициента c от объемной
концентрации твердой фазы



Черт. 5I

2.8. Расчет перемешивания в системе жидкость-жидкость

2.8.1. Область применения рекомендуемого метода расчета - перемешивание несмешивающихся жидкостей в аппаратах с отражательными перегородками (или отражателями) при $\Gamma_D = 3-5$ и средней объемной доле дисперсной фазы не более 25 %.

Целью расчета является определение среднего диаметра капель и распределения концентрации жидкой дисперсной фазы по высоте аппарата.

При выполнении расчетов следует иметь в виду, что:

минимальная интенсивность перемешивания, при которой достигается распределение фаз в объеме аппарата, соответствует значению числа Пекле $Pe = 0,3$;

метод расчета является приближенным в связи с тем, что средний диаметр капель дисперсной фазы может существенно изменяться под действием незначительных примесей. Погрешность расчета составляет $\pm 30\%$, поэтому приведенный метод может быть рекомендован для ориентировочной оценки.

Перечень необходимых исходных данных, а также рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл. 34.

2.8.2. При значениях чисел Рейнольдса, превышающих 100000, и объемной доле дисперсной фазы менее 0,1 имеет место увеличение удельной поверхности раздела фаз в 1,5 раза вследствие возникновения кавитации вблизи лопастей мешалки.

Таблица 34

Расчет среднего диаметра капель и распределения концентраций дисперсной фазы по высоте аппарата с отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Объем перемешиваемой среды, м ³	V	
2. Высота заполнения аппарата, м	H	
3. Плотность, кг/м ³ : сплошной фазы дисперсной фазы	ρ _c ρ _д	
4. Динамическая вязкость, Па.с: сплошной фазы дисперсной фазы	μ _c μ _д	
5. Коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела фаз, Н/м	σ	
6. Мощность, потребляемая на перемешивание, Вт	N (см. табл. 9 РД 26-01-90-85)	
7. Коэффициент турбулентного переноса, м ² /с	D _т (см. поз. 7 табл. 25 РД 26-01-90-85)	

Продолжение табл.34

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчетные величины		
8. Средний диаметр каплеь, м	$d_k = 0,13 \left(\frac{\delta}{\rho_c} \right)^{0,6} \left(\frac{N}{\rho_c V} \right)^{-0,4}$	
9. Средняя скорость осаждения (всплывания) каплеь, м/с	$w_k = \frac{d_k^2 \rho_g - \rho_c g}{18 \mu_c} \cdot \frac{3(\mu_g + \mu_c)}{2\mu_g + 3\mu_c}$	
<p>где g - ускорение свободного падения (см. поз. I7 табл.29 РД 26-01-90-85)</p>		
10. Число Пекле	$Pe = \frac{w_k H}{D_T}$	
11. Средняя объемная доля дисперсной фазы в аппарате:		
при $\rho_g > \rho_c$ и отводе сверху	$\frac{x}{x_{cp}} = \frac{e^{Pe} - 1}{Pe}$	
или $\rho_g < \rho_c$ и отводе снизу		
при $\rho_g > \rho_c$ и отводе снизу	$\frac{x}{x_{cp}} = \frac{Pe}{e^{Pe} - 1}$	
или $\rho_g < \rho_c$ и отводе сверху		
<p>где $e = 2,72$ - основание натуральных логарифмов</p>		
12. Максимальная разность объемных долей дисперсной фазы в аппарате, отнесенная к средней объемной доле	$\Delta \bar{x}_{max} = 1 - e^{-Pe}$	
<p>где e - см. поз. II</p>		

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
13. Удельная поверхность раздела фаз, m^{-1}	$a = \frac{6 x_{cp}}{d_k}$	

2.9. Расчет перемешивания в системе газ-жидкость

2.9.1. Целью расчета является определение мощности, потребляемой на перемешивание газожидкостных систем, среднего газосодержания в аппарате и его распределения по высоте, а также объемного коэффициента массопередачи. Перечень исходных данных, а также метод и форма выполнения расчета приведены в табл. 35 и на черт. 52.

2.9.2. Специальные требования к конструкции аппарата

2.9.2.1. Аппараты, предназначенные для проведения процессов массообмена в системе газ - жидкость, должны быть оснащены четырьмя отражательными перегородками и кольцевыми барботерами для ввода газа.

Мощность электропривода должна выбираться исходя из мощности, потребляемой на перемешивание жидкости без подачи газа в аппарат.

При выборе типа мешалки следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. I. Предпочтительным является применение открытых турбинных мешалок.

На аппараты для поглощения газа, снабженные мешалками со всасывающими узлами, настоящий метод расчета не распространяется.

2.9.2.2. Выбор диаметра мешалки и частоты ее вращения должен осуществляться исходя из условия выполнения соотношения

$$\frac{G}{n d_m^3} \approx 0,18$$

где ξ_m - коэффициент сопротивления мешалки (см. подразд. 2.2);

G - объемный расход газа, вводимого в аппарат (при рабочих условиях), m^3/c .

При этом значение Γ_D должно быть не менее 3,0.

2.9.2.3. Специальными требованиями, предъявляемыми к конструкции и расположению в аппарате кольцевого барботера, являются:

барботер располагается ниже мешалки на расстоянии от нее около 0,25 диаметра мешалки;

диаметр, на котором расположены отверстия для выхода газа из барботера, должен быть в пределах $0,5 \pm 0,75$ диаметра мешалки;

для предотвращения забивания отверстий барботера они должны быть направлены вниз или по радиусу к оси аппарата;

число отверстий выбирается произвольно (но не менее 3).

Суммарная площадь отверстий должна быть в 1,5-2 раза больше площади сечения подводщего газ трубопровода.

Параметр $s = f(\epsilon_0)$

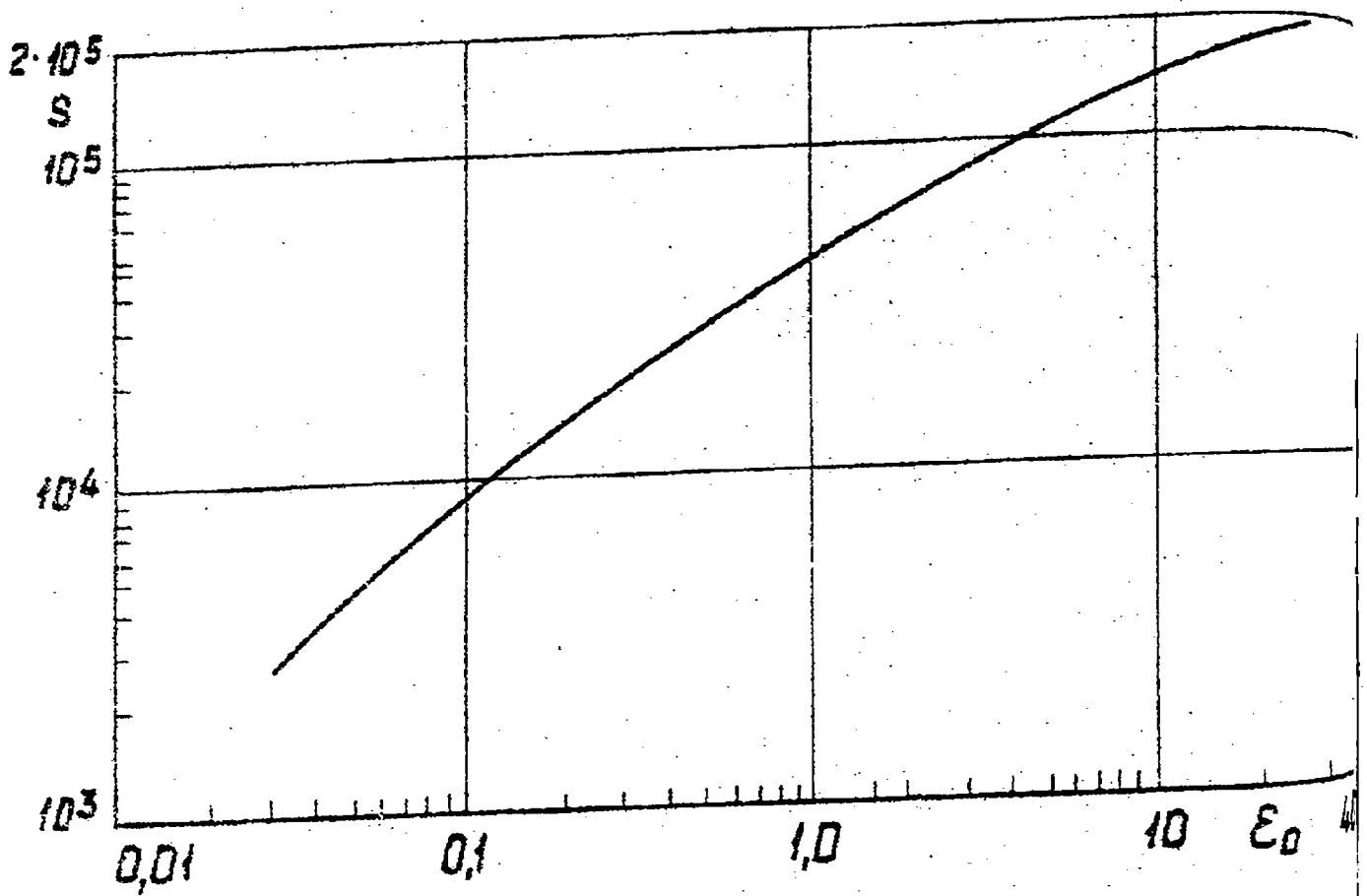


Таблица 35

Расчет перемешивания в системе газ - жидкость

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
Характеристики аппарата и мешалки		
1. Диаметр аппарата, м	D	
2. Высота заполнения аппарата жидкостью, м	H	
3. Коэффициент сопротивления мешалки	K_M	
4. Диаметр мешалки, м	d_m	
5. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	
Характеристики рабочих сред		
6. Плотность жидкой фазы, $кг/м^3$	ρ	
7. Плотность газовой фазы, $кг/м^3$	ρ'	
8. Коэффициент поверхностного натяжения, $Н/м$	σ	
9. Ускорение свободного падения, $м/с^2$	g	9,8
10. Объемный расход газа, подаваемого через барботер, $м^3/с$	G	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
11. Диаметр пузырьков в основном объеме аппарата (преимущественно в верхней половине рабочего пространства), м 12. Коэффициент молекулярной диффузии, м ² /с	d_0 D_M	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Расчетные величины		
13. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$	
14. Объем жидкости в аппарате, м ³	$V = \frac{\pi D^2}{4} H$	
15. Мощность, потребляемая при перемешивании жидкости, Вт	N (по п. 2.3.3.2 РД 26-01-90-85)	
16. Мощность, потребляемая на перемешивание газожидкостной смеси, Вт	$N_r = \left\{ 0,38 + 0,62 e^{\frac{-276}{n d_M^2}} \right\} N,$	
	где $e = 2,72$ - основание натуральных логарифмов	
17. Приведенная скорость газа, подаваемого через барботер, м/с	$w = \frac{4 G}{\pi D^2}$	
18. Усредненная диссипация энергии, вносимой мешалкой, в рабочем объеме аппарата, Вт/кг	$\varepsilon_{o.m} = \frac{N_r}{\rho V}$	

Продолжение табл. 35

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
19. Локальная диссипация энергии, вносимой мешалкой и газом, в приповерхностной зоне, Вт/кг	$\varepsilon_{o.n} = 0,1 \varepsilon_{o.m} + w' q$	
20. Коэффициент турбулентной диффузии в приповерхностной зоне, м ² /с	$D_{т.п} = 0,136 D \sqrt[3]{\varepsilon_{o.n} D}$	
21. Радиус пузырьков, проникающих в рабочий объем аппарата с поверхности, м	$r_n = 1,84 \left(\frac{G}{\rho}\right)^{0,6} (\varepsilon_{o.n})^{-0,4}$	
22. Скорость всплывания пузырей, проникающих в рабочий объем аппарата с поверхности, м/с	$v_{вс.п} = \sqrt{\frac{G}{z_n(\rho - \rho')} + g z_n \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right)}$	
23. Пульсационная скорость, деформирующая поверхность, м/с	$v' = 1,32 \left(\frac{G}{\rho}\right)^{0,2} (\varepsilon_{o.n})^{0,2}$	
24. Параметр M	$M = v_{вс.п} / v'$	
25. Параметр K	$K = f(M)$ (по п.2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	
26. Параметр, м/с	$L = 0,88 \left(\frac{G}{\rho}\right)^{-0,2} (\varepsilon_{o.n})^{0,2} K$	
27. Скорость всплывания пузырьков в рабочем объеме аппарата, м/с	$v_{вс} = \sqrt{\frac{2G}{d_o(\rho - \rho')} + \frac{g d_o}{2} \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right)}$	
28. Параметр γ	$\gamma = 4 \frac{H_i}{D} + 1$	

H_i - высота газожидкостного слоя (i - в приближение).
На первом шаге расчета $H_i = H$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
29. Средний коэффициент турбулентной диффузии в рабочем объеме аппарата, м ² /с	$D_T = 0,435 n d_M D \left(\frac{z_m}{D} \right)^{1/3}$	
30. Объемная доля газовой фазы в приповерхностной зоне ^х	$\varphi_n = \frac{w + L + 0,25 D_{T,n} / H_i}{v_{bc,n} + L}$	
31. Средняя объемная доля газовой фазы в аппарате	$\varphi_{cp} = \left(\varphi_n - \frac{w}{v_{bc}} \right) \left(1 - e^{-\frac{v_{bc} H_i}{D_T}} \right) \frac{D_T}{v_{bc} H_i} + \frac{w}{v_{bc}}$	
32. Высота слоя газожидкостной смеси (i - е приближение; i = 2; 3; 4; ...)	$H_i = \frac{H}{1 - \varphi_{cp, i-1}}$ <p>где $\varphi_{cp, i-1}$ - среднее газосодержание, рассчитанное на (i - 1) шаге; H - высота слоя жидкости</p>	
33. Параметр E	$E = \left \frac{H_i - H_{i-1}}{H_i} \right $	
34. Порядок продолжения расчета	Если $E \leq 0,01$, то расчет продолжается с поз. 35. При $E > 0,01$ расчет продолжается с поз. 28.	
35. Распределение объемной доли газовой фазы по высоте аппарата ^{хх}	$\varphi(h) = \left(\varphi_n - \frac{w}{v_{bc}} \right) e^{-\frac{v_{bc}(h-H)}{D_T}} + \frac{w}{v_{bc}}$	

х H_i - высота газожидкостного слоя (i - е приближение).
На первом шаге расчета $H_i = H$.

хх В качестве значения высоты H необходимо использовать величину H_i , соответствующую i - му приближению

Продолжение табл.36

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
	<p>где $e = 2,72$ - основание натуральных логарифмов; h - текущая координата высоты ($0 \leq h \leq H$)</p>	
36. Усредненная удельная диссипация энергии, вносимой мешалкой в жидкость	$\epsilon_0 = \frac{N}{\rho V}$	
37. Параметр	s <p>(по п.2.9.1 РД 26-01-90-85)</p>	
38. Объемный коэффициент массопередачи, I/c	$\beta = s (w')^{0,6} D_m^{0,5}$	

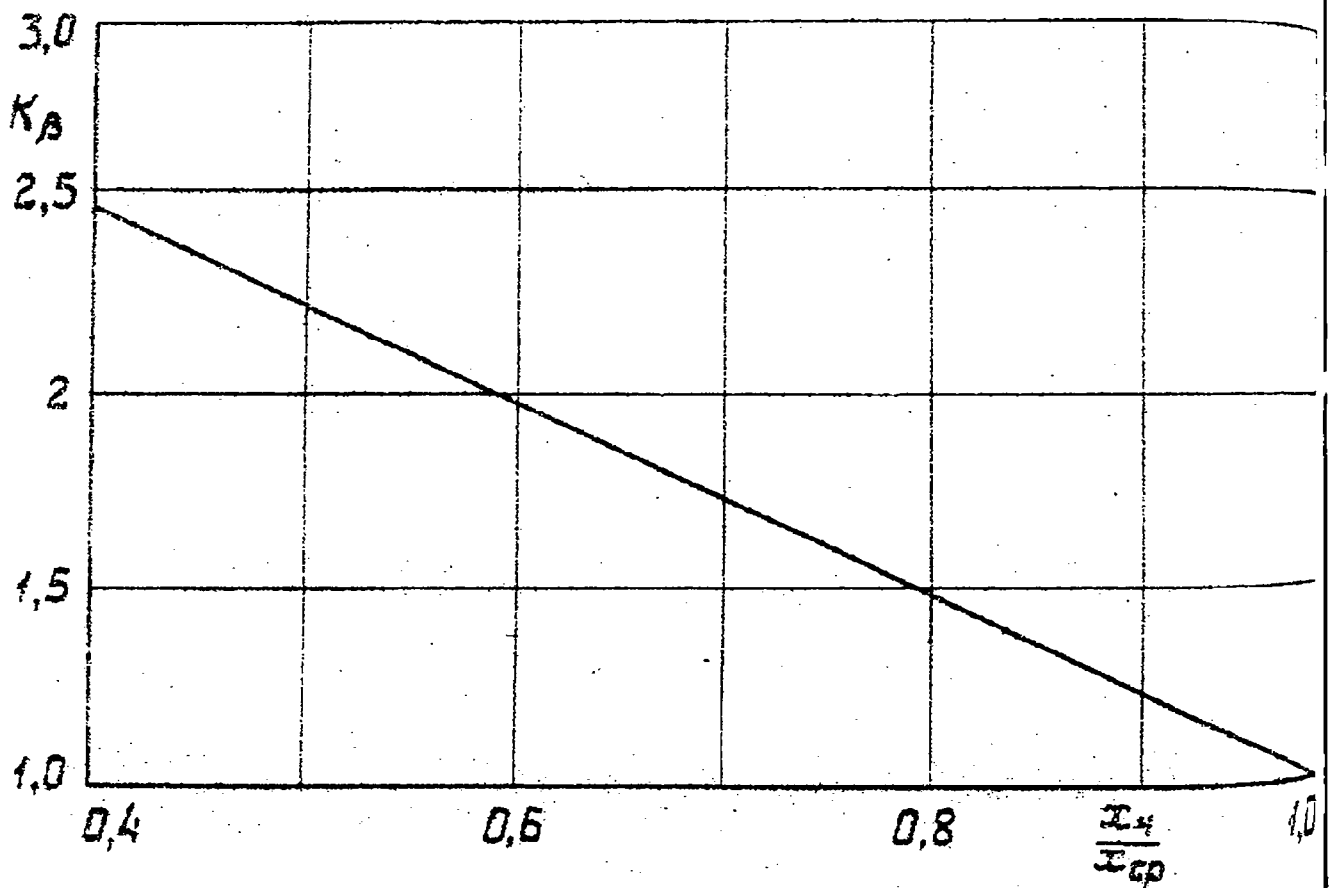
2.10. Расчет процесса растворения в системе
 твердое тело - жидкость

2.10.1. Целью расчета является определение концентрации раствора в аппарате как периодического, так и непрерывного действия при заданных характеристиках аппарата и растворимой твердой фазы.

Настоящий метод расчета распространяется на случай растворения твердых веществ в жидкостях при отсутствии химической реакции.

Метод расчета применим для суспензированной твердой фазы (при отсутствии осадка на днище аппарата).

Коэффициент $K_{\beta} = f\left(\frac{x_{\text{н}}}{x_{\text{ср}}}\right)$



Черт. 53

В качестве исходной величины, отражающей влияние на массообмен условий течения среды в аппарате, используется диссипация энергии, связанная с затрачиваемой на перемешивание мощностью. Мощность определяется по методу, изложенному выше (см. подразд. 2.3).

Рекомендуемый метод и форма расчета приведены в табл. 36 и на черт. 53.

Таблица 36

Расчет процесса растворения

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
Характеристики аппарата и мешалки		
1. Объем заполнения аппарата, м ³	V	
2. Мощность, потребляемая при перемешивании ^x , Вт	N (см. табл. 6; 9 РД 26-01-90-85 с учетом плотности суспензии)	
3. Плотность твердой фазы, кг/м ³	ρ_c	
4. Плотность жидкой фазы, кг/м ³	ρ	
5. Кинематическая вязкость, м ² /с	ν	
6. Коэффициент молекулярной диффузии, м ² /с	D_m	

^x При использовании аппарата без внутренних устройств мощность, потребляемая при перемешивании, определяется по табл. 33.

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
7. Концентрация насыщения, кг/м ³	c^*	
Исходные данные для расчета процесса растворения в аппарате непрерывного действия		
8. Объемный расход жидкой фазы через аппарат, м ³ /с	G	
Безразмерные параметры		
9. Число Шмидта	$Sc = \frac{\nu}{D_m}$	
Исходные данные для расчета растворения монодисперсной системы частиц		
10. Начальный диаметр частиц твердой фазы, м	d_0	
11. Начальная массовая концентрация твердой фазы, кг/м ³	X_0	
Исходные данные для расчета растворения полидисперсной системы частиц		
12. Число фракций	i	
13. Начальная массовая концентрация i -й фракции, кг/м ³	X_{0i}	

Продолжение табл.36

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
14. Общая начальная массовая концентрация твердой фазы, кг/м ³	X_0	
15. Начальный диаметр частиц i-й фракции твердой фазы, м	d_{0i}	
Расчетные величины		
16. Удельная диссипация энергии, Вт/кг	$\epsilon_0 = \frac{N}{\rho V}$	
17. Коэффициент массоотдачи в аппаратах с отражательными перегородками, м/с	$\beta = \frac{0,267 (\epsilon_0 \nu)^{0,25}}{Sc^{0,75}}$	
18. Отношение средней массовой концентрации частиц в аппарате к массовой концентрации в потоке, выходящем из аппарата (у стенки аппарата) ^x	$\frac{X_{ч}}{X_{ср}}$ (см. поз.3 табл.32 РД 26-01-90-85)	
19. Коэффициент	K_{β} (по п.2.10.1 РД 26-01-90-85)	
20. Коэффициент массоотдачи в аппаратах без внутренних устройств ^{xx} , м/с	$\beta_n = K_{\beta} \beta$	

^x Поз.18...20 заполняются для аппаратов без отражательных перегородок.

^{xx} В дальнейших формулах коэффициент массоотдачи β_n записывается без индекса "n"

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Число значений
Расчет растворения монодисперсной системы частиц		
21. Время полного растворения, с	$\tau_{\infty} = \rho_4 d_0 / (2\beta c^*)$	
Периодическое растворение		
22. Текущее значение массовой концентрации раствора в аппарате, кг/м ³	$c = \left[1 - \left(1 - \frac{2\beta c^* \tau}{\rho_4 d_0} \right)^3 \right] x_0,$ <p>где τ - текущее время, с</p>	
Непрерывное растворение		
23. Среднее время пребывания суспензии в аппарате, с	$\tau_{cp} = \frac{V}{G}$	
24. Параметр	$\bar{\tau} = \tau_{\infty} / \tau_{cp}$	
25. Массовая концентрация раствора на выходе из аппарата, кг/м ³	$c = [1 - 0,25\bar{\tau} + 0,05\bar{\tau}^2] x_0$	
Расчет растворения полидисперсной системы частиц		
Непрерывное растворение		
26. Время полного растворения частиц i -й фракции диаметра d_{oi} , с	$\tau_{oi} = \frac{\rho_4 d_{oi}}{2\beta c^*}$	

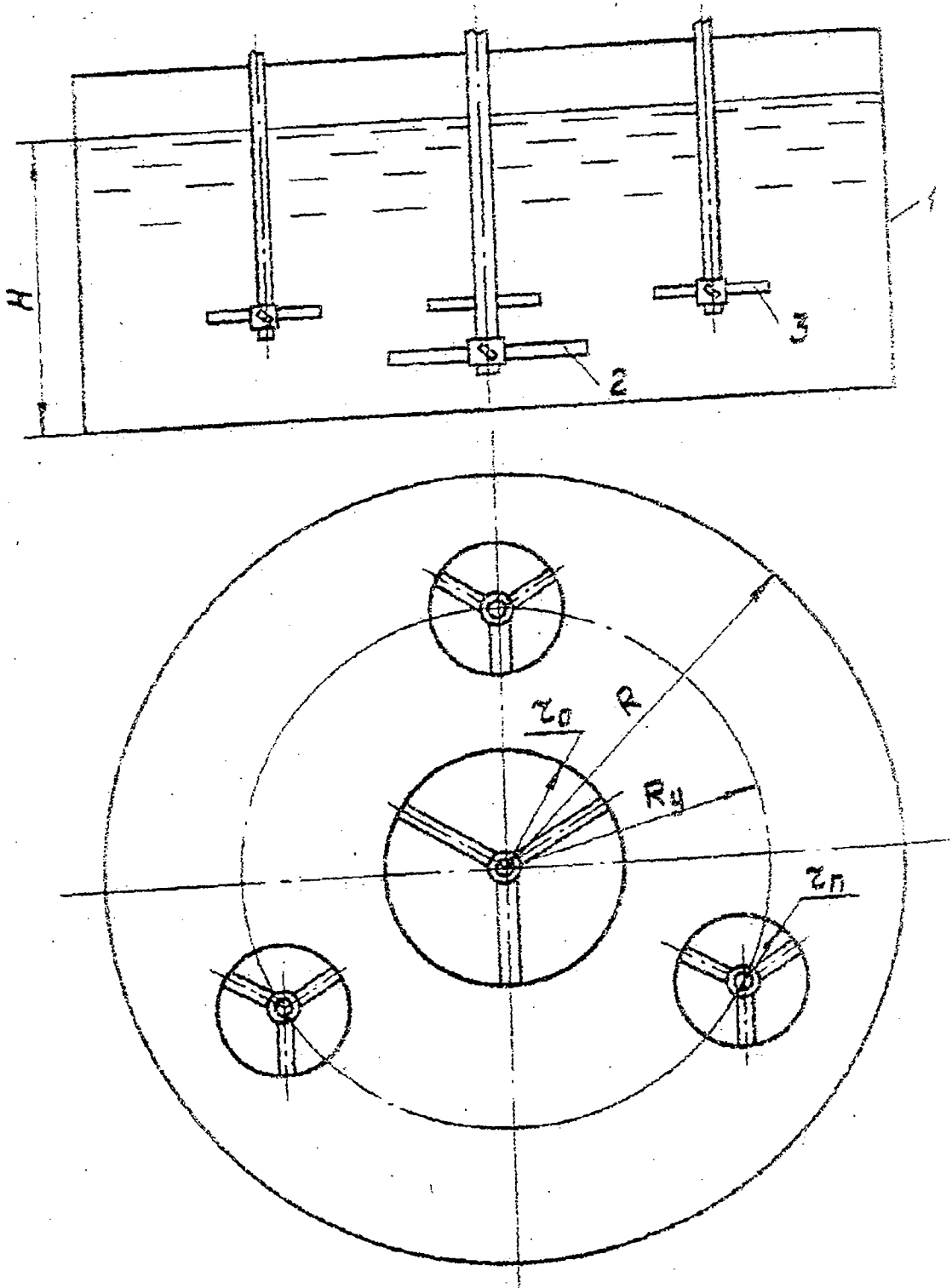
Продолжение табл.36

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
27. Среднее время пребывания суспензии в аппарате, с	$\tau_{\text{ср}} = \frac{V}{G}$	
28. Параметр	$\bar{\tau}_{oi} = \frac{\tau_{oi}}{\tau_{\text{ср}}}$	
29. Массовая концентрация раствора на выходе из аппарата, кг/м ³	$c = x_0 - \sum_i x_{oi} (0,25 \bar{\tau}_{oi} - 0,05 \bar{\tau}_{oi}^2)$ <p>Периодическое растворение</p>	
30. Массовая концентрация при растворении i-й фракции в момент времени τ , кг/м ³	$c_i = \left[1 - \left(1 - \frac{2\beta c^*}{\rho_4 d_{oi}} \tau \right)^3 \right] x_{oi},$ <p>где τ - текущее время, с</p>	
31. Массовая концентрация в растворе в момент времени τ , кг/м ³	$c = \sum_i c_i$	

2.II. Расчет аппаратов при наличии нескольких перемешивающих устройств (многоприводных аппаратов с мешалками)

При увеличении объема аппаратов с мешалками свыше 100 м³ оказывается рациональным использование многоприводной схемы компоновки аппарата (черт.54).

Схема вертикального многоприводного аппарата.



Черт. 54

1 - корпус аппарата; 2 - центральная мешалка; 3 - периферийная мешалка

Характер осредненного течения жидкости в аппаратах с несколькими перемешивающими устройствами в основном аналогичен характеру течения в аппаратах с одной центрально расположенной мешалкой. В связи с этим гидродинамический расчет таких аппаратов основывается на описании профиля окружной скорости степенным полиномом. Для определения параметров полинома реальная совокупность мешалок заменяется некоторой "эквивалентной", центрально расположенной мешалкой радиуса r_3 , вращающейся с угловой скоростью ω_3 , которая при таком же крутящем моменте, как и в многоприводном аппарате, обеспечивает идентичный профиль окружной скорости.

$$v_1(z) = \omega_3 z (1 - 0,624 \bar{z}^2 + 0,114 \bar{z}^3) \text{ при } 0 \leq \bar{z} \leq 1;$$

$$v_2(z) = 0,49 \omega_3 r_3 / \bar{z} \quad \text{при } 1 < \bar{z} \leq \bar{R},$$

$$\text{где } \bar{z} = \frac{z}{r_3}; \quad \bar{R} = \frac{R}{r_3}.$$

Учитывая, что основной областью применения аппаратов объемом свыше 100 м^3 является перемешивание суспензий, в настоящем разделе, наряду с расчетом гидродинамики и мощности, потребляемой на перемешивание, приводятся также сведения по расчету условий перемешивания, обеспечивающих отсутствия осадка на днище аппарата.

Более предпочтительным в аппаратах многоприводного типа является использование мешалок с малым сопротивлением (3-лопастные мешалки с наклонными лопастями, 2-лопастные мешалки).

Исходные данные для расчета аппаратов многосприводного типа приведены в табл.37. Рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл.38.

Таблица 37

Исходные данные для расчета аппаратов с мешалками
многосприводного типа

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Радиус аппарата, м	R	
2. Высота заполнения аппарата, м	H	
3. Радиус установки периферийных мешалок, м	R_y	
Характеристики центральной мешалки		
4. Тип мешалки ^X	—	
5. Радиус мешалки, м	r_0	
6. Коэффициент мощности	K_N (см. табл.9 РД 26-01-90-85)	
7. Частота вращения, c^{-1}	n_0	
Характеристики периферийных мешалок		
8. Число мешалок	Z_M	
9. Тип мешалок	—	
10. Радиус мешалок, м	r_M	
11. Частота вращения мешалок, c^{-1}	n_M	

^X Поз.4...7 заполняются при наличии центрально установленной мешалки.

Продолжение табл. 37

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
12. Число лопастей мешалки	z_n	
13. Коэффициент сопротивления лопасти мешалки	ξ_n	
14. Высота лопасти мешалки, x , м	R_n	
Физические характеристики среды		
15. Плотность жидкости, кг/м^3	ρ	
16. Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$	ν	
17. Плотность твердых частиц, кг/м^3	$\rho_ч$	
18. Максимальный диаметр твердых частиц, м	$d_ч$ (если не задана скорость осаднения)	
19. Скорость осаднения твердых частиц, м/с	$w_{ос}$ (задается только в случае экспериментального определения)	
20. Ускорение свободного падения, м/с^2	g	9,81
21. Средняя плотность среды, кг/м^3	$\rho_{см}$	

Для мешалок с наклонными лопастями величина ξ - проекция ширины лопасти на вертикальную плоскость

Расчет многоприводных аппаратов с мешалками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Диаметр периферийных мешалок, м	$d_n = 2z_n$	
2. Диаметр центральной мешалки, м	$d_m = 2z_0$	
3. Угловая скорость вращения периферийных мешалок, рад/с	$\omega_n = 2\pi n_n$	
4. Крутящий момент, создаваемый центральной мешалкой, Н.м	$P = \frac{K_n \rho_{см} n_0^2 d_m^5}{2\pi}$	
5. Радиус эквивалентной мешалки, м	$z_0 = 1,25(R_y + z_n)$	
6. Отношение радиуса аппарата к радиусу эквивалентной мешалки	$\bar{R} = \frac{R}{z_0}$	
7. Параметр высоты заполнения аппарата	$\gamma = 4 \frac{H}{R} + 1$	
8. Параметр K	$K = \frac{\rho_{см} z_n z_m^2 \omega_n^2 z_n^4}{8}$	
9. Отношение радиуса установки периферийных мешалок к радиусу эквивалентной мешалки	$\bar{R}_y = R_y / z_0$	
10. Параметр B	$B = \frac{0,367 (1 + 1,33 \ln \bar{R})}{\bar{R} \bar{R}_y (1 - 0,624 \bar{R}_y^2 + 0,114 \bar{R}_y^3)}$	

* Величина P определяется при наличии центральной мешалки

Продолжение табл. 38

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
II. Параметр L	$L = \frac{\rho_{cm} z_l z_m h_l z_p^2 \sum_l}{8}$	
III. Параметр E	$E = 0,00225 \rho \pi R^3 \gamma$	
IV. Параметр c	$c = \frac{\rho_{cm} z_l z_m \sum_l h_l z_p^2 \omega_p R_y}{4}$	
IV. Значение окружной скорости жидкости на радиусе установки периферийных мешалок, м/с	$K + L v^2 + P = E B^2 v^2 + c v$	
V. Угловая скорость вращения эквивалентной мешалки, рад/с	$\omega_{\Sigma} = \frac{v}{R_y (1 - 0,624 \bar{R}_y^2 + 0,114 \bar{R}_y^3)}$	
VI. Коэффициент мощности для периферийных мешалок	$K_{N,p} = \frac{\pi \sum_l z_l h_l z_p^2 (\omega_p^2 z_p^2 + v^2)}{4 n_p^2 d_p^5}$	
VII. Мощность, потребляемая при перемешивании центральной мешалки, Вт	$N = K_{N,p} \rho_{cm} n_p^3 d_p^5$	
VIII. Мощность, потребляемая при перемешивании одной периферийной мешалкой, Вт	$N_p = K_{N,p} \rho_{cm} n_p^3 d_p^5$	

Значение окружной скорости жидкости v на радиусе установки периферийных мешалок определяется в результате решения уравнения по поз. 14.

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
19. Скорость оседания твердых частиц [*] , м/с	$w_{oc} = 1,15 \sqrt{\frac{d_4 (\rho_4 - \rho) g}{\rho}}$	
20. Параметр Q	$Q = 2,12 \frac{\bar{R} R_y}{R_y + \tau_n} (1 - 0,624 \bar{R}_y^2 + 0,114 \bar{R}_y^3)$	
21. Условие отсутствия осадка на днище аппарата	$v \geq Q w_{oc} \left(\frac{H}{d_4} \right)^{0,14}$	

* Расчет по поз. 19 выполняется, если заданы плотность частиц ρ_4 и их диаметр d_4 .

3. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПРИ ЛАМИНАРНОМ РЕЖИМЕ

3.1. Общая характеристика метода расчета

3.1.1. Методы расчета перемешивания при ламинарном режиме распространяются на случаи перемешивания высоковязких ньютоновских жидкостей, а также неньютоновских сред, реологическое поведение которых может быть аппроксимировано степенным законом (приложение 2).

Применительно к жидкостям, проявляющим вязко-упругие свойства, метод может быть использован как приближенный.

Значения числа Рейнольдса, ограничивающие область применения рекомендуемого метода расчета, приведены в табл. 39.

3.1.2. Мешалки, применение которых рекомендуется для перемешивания при ламинарном режиме, соответствуют ГОСТ 20680-75 и перечислены в табл.39, конструкции мешалок показаны на черт.55...58.

Применение якорных мешалок допускается только в эмалированном исполнении, применение рамных мешалок - в случаях, когда отсутствуют жесткие требования к интенсивности перемешивания.

Таблица 39

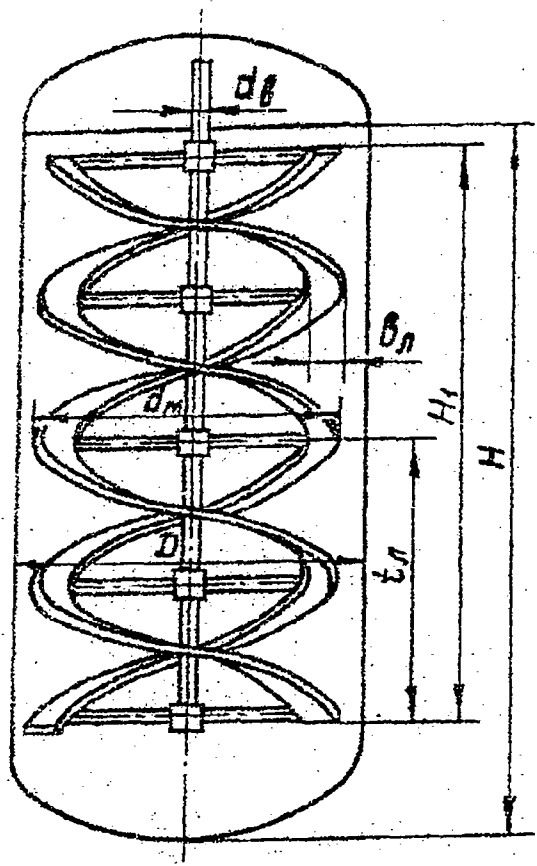
Область применения методов расчета

Тип мешалки	Номер чертежа	Число Рейнольдса	
		минимальное	максимальное
Рамная	10	10	80
Якорная эмалированная	14		
Ленточная	55	0,1	150
Ленточная со скребками	56		
Шнековая	57		
Шнековая с направляющей трубой или змеевиком	58		

3.2. Гидродинамический расчет аппарата

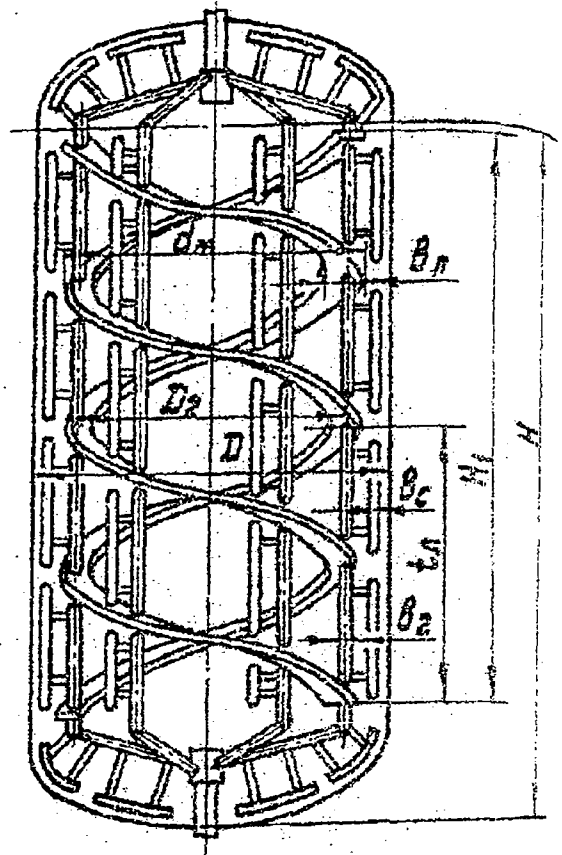
3.2.1. Целью гидродинамического расчета является определение мощности, потребляемой при перемешивании, осевой силы, приложенной к лопасти мешалки, и циркуляционного расхода перемешиваемой среды.

Ленточная мешалка



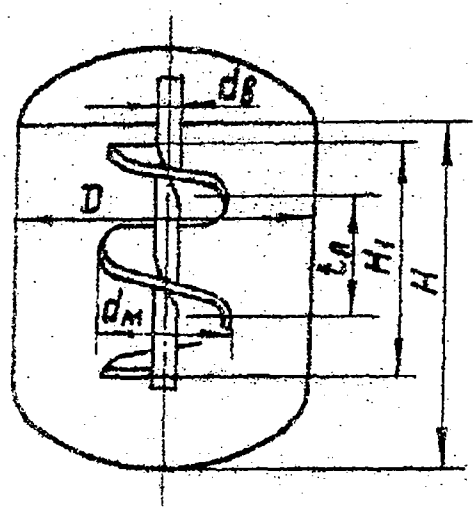
Черт. 55

Ленточная мешалка со скребками



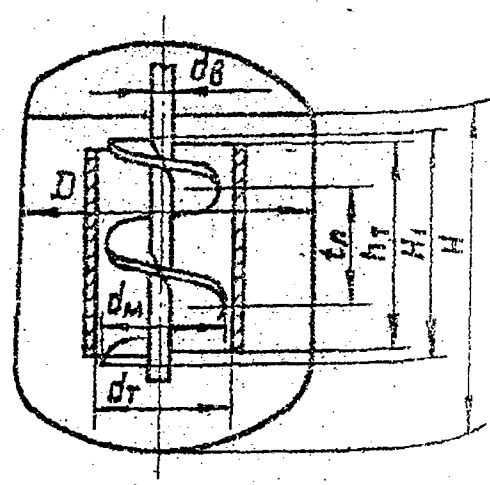
Черт. 56

Шнековая мешалка



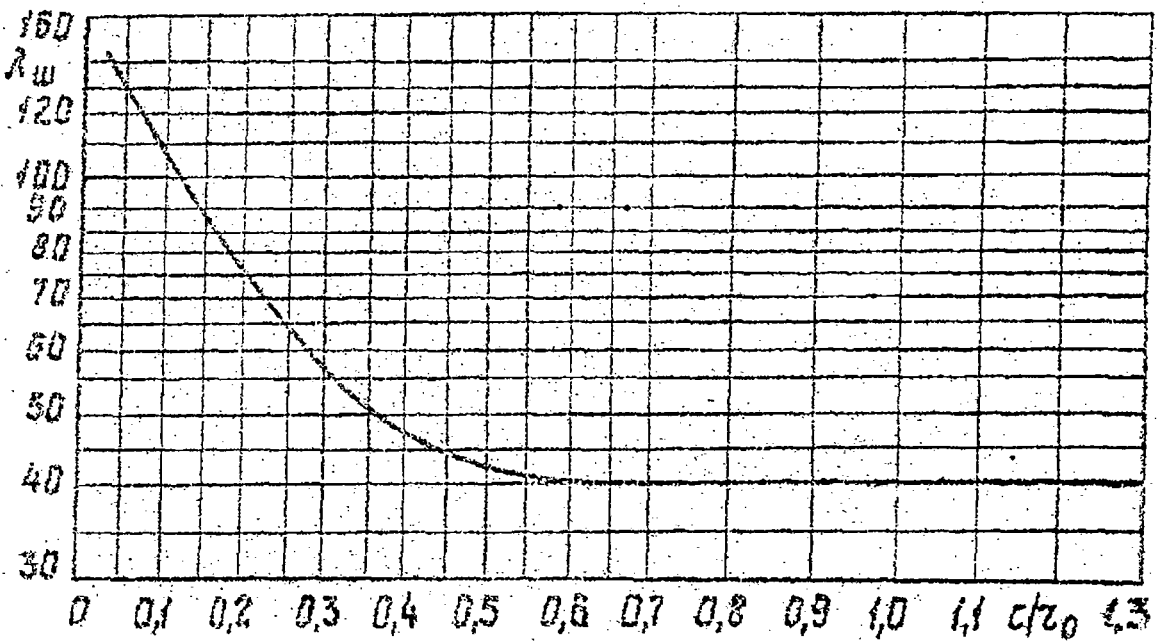
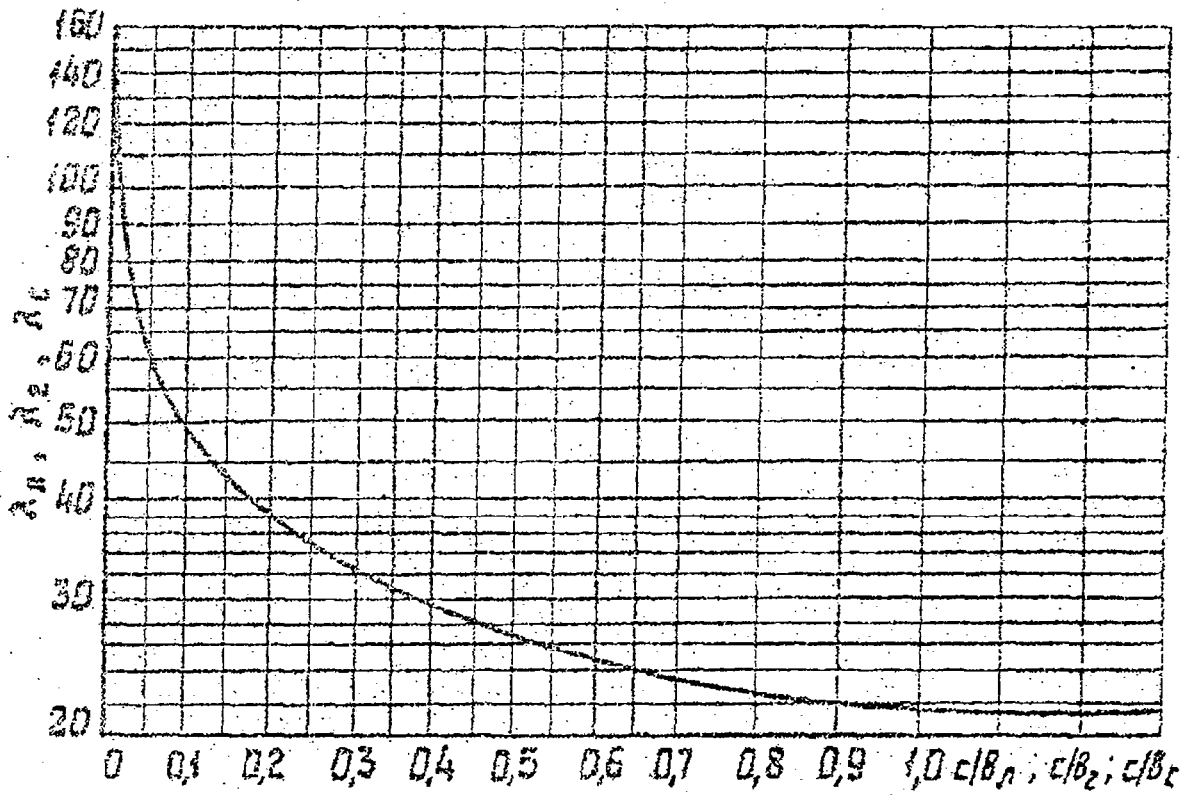
Черт. 57

Шнековая мешалка с направляющей трубой



Черт. 58

Коэффициент λ



Рекомендуемый метод расчета основан на учете гидравлического сопротивления аппарата и особенностей обтекания лопастей мешалок.

Перечень исходных данных, необходимых для выполнения гидродинамического расчета, приведен в табл. 40. Метод расчета коэффициентов сопротивления элементов конструкции мешалок λ_d , $\lambda_{ш}$, λ_c и λ_2 , а также корпуса аппарата и направляющей трубы λ_k приведены в табл. 41 и на черт. 59.

Таблица 40

Исходные данные для гидродинамического
расчета аппарата

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Объем перемешиваемой среды в аппарате, м ³	V	
2. Внутренний диаметр аппарата, м	D	
3. Внутренний радиус аппарата, м	R	
4. Диаметр мешалки, м	d_m	
5. Радиус мешалки, м	r_0	
6. Диаметр вала, м	d_v	
7. Радиус вала, м	r_v	
8. Высота мешалки, м	H_1	
9. Высота заполнения аппарата, м	H	

Продолжение табл.40

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
В. Характеристики встроенного устройства и мешалки:		
<u>рамной</u>		
ширина лопасти, м	b_l	
число горизонтальных траверс	n_r	
<u>ленточной</u>		
ширина лопасти, м	b_l	
шаг винтовой линии, м	t_l	
число лопастей	n_l	
число горизонтальных траверс	n_r	
<u>ленточной со скребками</u>		
диаметр окружности осей вертикальных штанг, м	D_2	
ширина лопасти, м	b_l	
ширина проекции на радиальную плоскость, м:		
скребок	b_c	
штанги	b_2	
число лопастей	n_l	
число штанг	n_2	
число скребков в одном горизонтальном сечении	n_c	
шаг винтовой линии, м	t_l	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<u>шнековой:</u>		
ширина лопасти, м	$b_{ш}$	
шаг винтовой линии, м	$t_{л}$	
число лопастей	$n_{л}$	
<u>шнековой с направляющей трубой</u>		
то же, что для шнековой	$b_{ш}, t_{л}, n_{л}$	
диаметр направляющей трубы, м	$d_T \approx (1,05 \div 1,15) d_M$	
радиус направляющей трубы, м	r_T	
высота трубы, м	$h_T \approx 0,84 H_1$	
<u>шнековой со змеевиком:</u>		
то же, что для шнековой	$b_{ш}, t_{л}, n_{л}$	
диаметр навивки змеевика, м	$D_{зм}$	
радиус навивки змеевика, м	r_T	
диаметр трубки змеевика, м	$d_{зм}$	
шаг навивки змеевика, м	$S_{зм}$	
высота змеевика, м	h_T	
11. Частота n_T вращения мешалки, с	n	
12. Плотность среды, кг/м ³	ρ	

Продолжение табл.40

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Д. Динамическая вязкость ньютоновской среды при средней температуре в аппарате, Па.с	μ	
И. Консистентность неньютоновской среды при средней температуре в аппарате, Н с ^m /м ²	k (см. приложение 2 к РД 26-01-90-85)	
Иб. Индекс поведения: ньютоновской среды неньютоновской среды	$m = 1$ m (см. приложение 2 к РД 26-01-90-85)	

Таблица 41

Расчет вспомогательных характеристик аппарата
с мешалкой

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Относительная ширина зазора для мешалок: рамной и ленточной	$\frac{c}{b_n} = \frac{R - z_0}{b_n}$	
шнековой	$\frac{c}{z_0} = \frac{R - z_0}{z_0}$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
шнековой с направляющей трубой	$\frac{c}{z_0} = \frac{z_T - z_0}{z_0}$	
шнековая со змеевиком	$\frac{c}{z_0} = \frac{D_{зм} - d_{зм} - d_m}{d_m}$	
ленточной со скребками	$\frac{c}{b_2} = \frac{D - D_2}{2b_2}; \frac{c}{b_n} = \frac{R - z_0}{b_n}; \frac{c}{b_c} = 0$	
2. Относительная ширина элементов мешалки:		
лопастей рамной и ленточной	$\bar{b}_n = \frac{b_n}{d_m}$	
скребков	$\bar{b}_c = \frac{b_c}{D}$	
вертикальных штанг ленточной со скребками	$\bar{b}_2 = \frac{b_2}{D_2}$	
3. Коэффициенты сопротивления элементов конструкции мешалок:		
лопастей рамных, ленточных и ленточных со скребками	$\lambda_n = f\left(\frac{c}{b_n}\right)$ <p>(по подразд. 3.2 РД 26-01-90-85)</p>	
лопастей шнековых и шнековых с направляющей трубой или змеевиком	$\lambda_{ш} = f\left(\frac{c}{z_0}\right)$ <p>(по подразд. 3.2 РД 26-01-90-85)</p>	

Продолжение табл. 41

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
скребков ленточных со скребками	$\lambda_c = f\left(\frac{c}{b_c}\right)$ (по подразд. 3.2 РД 26-01-90-85)	
вертикальных штанг	$\lambda_2 = f\left(\frac{c}{b_2}\right)$ (по подразд. 3.2 РД 26-01-90-85)	
Коэффициент сопротивления окружающему движению стенки аппарата с ленточной мешалкой или стенки направляющей трубы (змеевика) аппарата со шнековой мешалкой	$\lambda_k = \frac{12,6 \left(1 + \frac{c}{z_c}\right)}{0,053 + \frac{c}{z_c}}$	

3.2.2. Расчет эквивалентной вязкости среды

Расчет эквивалентной вязкости выполняется применительно к случаям перемешивания неньютоновских сред, вязкость которых зависит от условий перемешивания. Исходными данными для расчета служат характеристики, приведенные в табл. 40, а также вспомогательные параметры (см. табл. 41). Рекомендуемые метод и форма расчета приведены в табл. 42.

Расчет эквивалентной вязкости неньютоновской среды

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<p>I. Параметры для расчета эффективной скорости сдвига для элементов мешалок:</p> <p>лопасти рамных, ленточных и ленточных со скребками</p> <p>скребков</p> <p>вертикальных штанг</p> <p>горизонтальных штанг</p> <p>лопасти шнековой мешалки</p>	$A_l = \frac{\pi}{42} \lambda_l \left(\frac{d_m}{b_l} - 1 \right)$ $A_c = \frac{\pi}{42} \lambda_c \left(\frac{D}{b_c} - 1 \right)$ $A_2 = \frac{\pi}{42} \lambda_2 \left(\frac{D_2}{b_2} - 1 \right)$ $A_r = \Pi$ $A_{ш} = \frac{\pi}{21} \lambda_{ш}$	
<p>2. Эффективная скорость сдвига, $\dot{\gamma}$, для лопастей мешалок:</p> <p>рамной, ленточной, ленточной со скребками</p> <p>шнековой</p>	$\dot{\gamma}_z = A_l n$ $\dot{\gamma}_z = A_{ш} n$	
<p>3. Эффективная вязкость, Па.с</p>	$\mu_z = k \dot{\gamma}_z^{n-1}$ <p>(см. п. 4 приложения 2 РД 26-01-90-85)</p>	

При переменном (в зависимости от γ) значении индекса m значение m определяется его осреднением в диапазоне значе-

$$\gamma = \pm 5 \gamma_a.$$

3.2.3. Расчет мощности, потребляемой на перемешивание

3.2.3.1. Исходными данными для расчета служат характе-
ристики аппарата и мешалки (табл.40) и вспомогательные па-
раметры (табл.41). В случаях перемешивания неньютоновских

сред значение вязкости μ при расчете принимается равным
эффективной вязкости μ_e (см.п.3.2.2 РД 36-01-90-85).

Рекомендуемые метод и форма расчета мощности приведены
в табл.43.

Таблица 43

Расчет мощности, потребляемой при перемешивании

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Число Рейнольдса	$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho n d_m^2}{\mu}$	
Параметр M	$M = n_1 \lambda_1 \frac{H_1}{d_m} (1 - \bar{b}_1)^2 + 3,5 n_1 (1 - 2\bar{b}_1)^3$	
Коэффициент мощности для рамной и ленточной мешалки	$K_N = \frac{\pi^2}{2} M Re_{\text{ц}}^{-1}$	
Параметр L	$L = n_1 \lambda_1 \frac{H_1}{d_m} (1 - \bar{b}_1)^2$	
Параметр s	$s = n_2 \lambda_2 \frac{H}{d_m} \left(\frac{D_2}{d_m} \right)^2 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{m-1}$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
6. Параметр c	$c = n_c \lambda_c \frac{H}{d_m} \left(\frac{D_2}{d_m} \right)^2 \left(\frac{A_c}{A_s} \right)^{m-1}$	
7. Коэффициент мощности для ленточной мешалки со скребками	$K_N = \frac{\pi^2}{2} (L + s + c) Re_{ц}^{-1}$	
8. Число K_N для шнековой мешалки	$K_N = \frac{\pi^2}{6} \lambda_{ш} \frac{H_1}{d_m} \left[1 - \left(\frac{d_B}{d_m} \right)^3 \right] Re_{ц}^{-1}$	
9. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho n^3 d_m^5$	

3.2.4. Расчет осевой силы

3.2.4.1. При перемешивании мешалками с наклонными лопастями на них возникает осевая сила, которая при перемешивании вязких сред может принимать большие значения. Исходными данными для расчета осевой силы служат характеристики, приведенные в табл. 40 и 41, а также значение числа Рейнольдса (см. табл. 43). Рекомендуемые форма и метод расчета приведены в табл. 44.

Таблица 44

Расчет осевой силы

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
I. Параметр φ для мешалок:		

Продолжение табл. 44

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
ленточной и ленточной со скребками	$\varphi = \frac{2(t_l / d_m)}{\pi (1 - \bar{b}_l)^2}$	
шнековой	$\varphi = \frac{6(t_l / d_m) [1 - (d_b / d_m)]}{\pi [1 - (d_b / d_m)^3]}$	
Осевая сила, Н		
ленточной и ленточной со скребками	$P_o = \frac{\pi}{4 Re_{\text{ц}}} \varphi \eta_{\text{л}} \lambda_{\text{л}} (1 - \bar{b}_l)^2 \rho n^2 d_m^3 H$	
шнековой	$P_o = \frac{\varphi N}{2\pi n d_m}$	

3.2.5. Расчет изгибающего момента вала шнековых мешалок

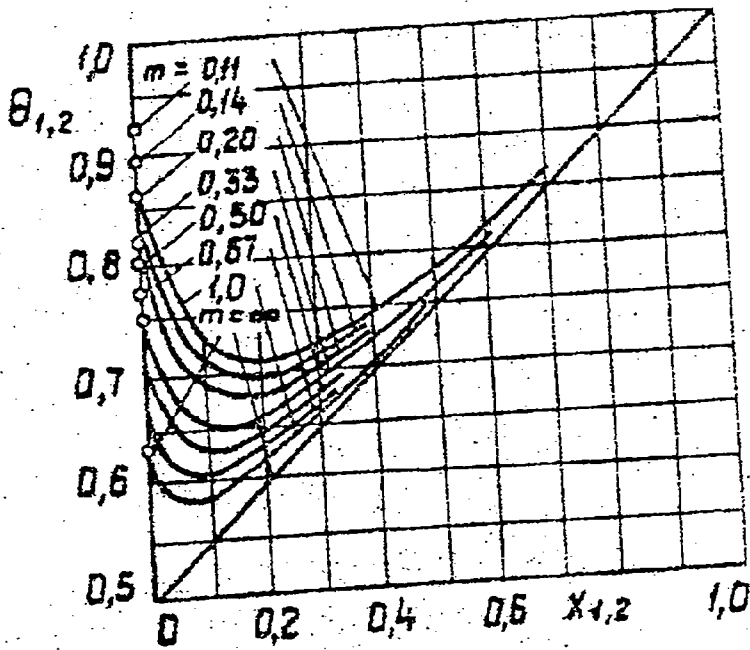
3.2.5.1. Стандартные шнековые мешалки имеют одну изогнутую по винтовой линии лопасть. В связи с этим на вал мешалки действует изгибающий момент, вызванный наличием неравномерных радиальных нагрузок.

Метод и форма расчета изгибающего момента приведены в табл. 45.

Расчет изгибающего момента

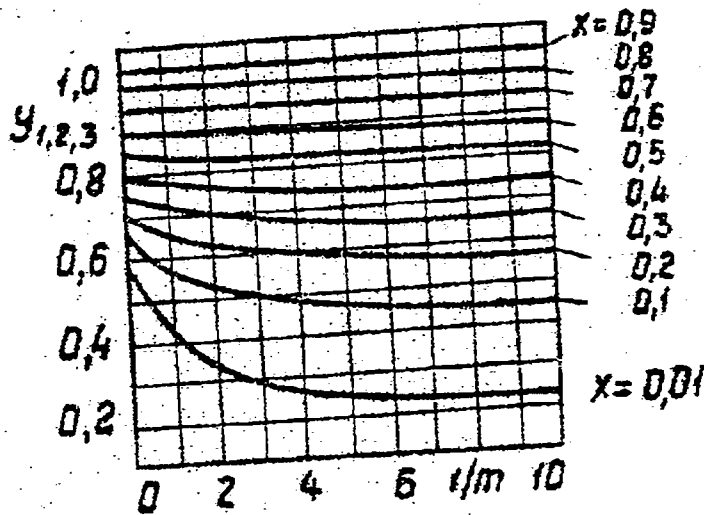
Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Дополнительные исходные данные		
1. Расстояние от нижней подшипниковой опоры до верхней кромки лопасти, м	h_1	
2. Расстояние от нижней подшипниковой опоры до нижней кромки лопасти, м	h_2	
Расчетные величины		
3. Параметр T , Па	$T = \pi \lambda_{ш} \mu \eta$	
4. Параметр φ_1	$\varphi_1 = 2\pi h_1 / t_{л}$	
5. Параметр φ_2	$\varphi_2 = 2\pi h_2 / t_{л}$	
6. Параметр a	$a = \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 - \varphi_2 \cos \varphi_2 + \varphi_1 \cos \varphi_1$	
7. Параметр b	$b = \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 + \varphi_2 \sin \varphi_2 - \varphi_1 \sin \varphi_1$	
8. Изгибающий момент, Н.м	$M_{изг} = T \frac{z_0 t_{л}^2}{8\pi} \left[1 - \left(\frac{z_B}{z_0} \right)^2 \right] \sqrt{a^2 + b^2}$	

Параметр θ



Черт.60

Параметр y



Черт.61

3.2.6. Расчет параметров циркуляции

3.2.6.1. Циркуляция в аппаратах с ленточными и шнековыми мешалками характеризуется наличием двух зон - центральной и периферийной - с противоположным направлением осевого движения перемешиваемой среды. Параметры θ циркуляционного расхода в зонах определяются по черт. 60, параметры максимумов осевой скорости в зонах - по черт. 61.

Метод и форма расчета относительного диаметра центральной зоны и циркуляционного расхода - приведены в табл. 46.

Таблица 46

Расчет параметров циркуляции

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Относительный радиус вала	$\bar{r}_B = \frac{r_B}{R}$	
2. Относительный радиус границы раздела зон для мешалок: ленточной и шнековой ленточной со скребками шнековой с направляющей трубой или змеевиком	$\bar{r}_C = 0,57 + 0,36 \bar{r}_B$ $\bar{r}_C = 0,5$ $\bar{r}_C = \frac{r_T}{R}$	
3. Геометрический параметр зоны циркуляции: центральной периферийной	$X_1 = \frac{\bar{r}_B}{\bar{r}_C}$ $X_2 = \frac{\bar{r}_C}{\bar{r}_B}$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Исходное значение
4. Параметр θ циркуляционного расхода среды в зоне: центральной периферийной	$\theta_1 = f(m, X_1)$ $\theta_2 = f(m, X_2)$ (по п. 3.2.6. РД 26-01-90-85)	
5. Параметр Ω циркуляционного расхода среды в зоне: центральной периферийной	$\Omega_1 = \frac{\bar{v}_u (\bar{v}_u - \bar{v}_B)^{2+1/m}}{2+1/m} \theta_1$ $\Omega_2 = \frac{(1 - \bar{v}_u)^{2+1/m}}{2+1/m} \theta_2$	
6. Параметр γ максимума циркуляционной скорости в зоне: центральной периферийной	$\gamma_1 = f(m, X_1)$ $\gamma_2 = f(m, X_2)$ (по п. 3.2.6.1 РД 26-01-90-85)	
7. Относительный радиус максимума скорости в зоне: центральной периферийной	$\bar{r}_{m_u} = \gamma_1 \bar{r}_u$ $\bar{r}_{m_n} = \gamma_2$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<p>8. Объемный циркуляционный расход, м³/с, для мешалок:</p> <p>ленточной и ленточной со скребками</p> <p>шнековой, шнековой с направляющей трубой, шнековой со змеевиком</p>	$q_v = \frac{\pi^2}{336} \lambda_{\text{л}} \left(\frac{D}{D_M} \right)^3 \left(\frac{d_M}{b_{\text{л}}} - 1 \right) \times$ $\times \left[\frac{21 \pi_{\text{л}} t_{\text{л}} H_1}{\pi^2 H D \left(\frac{d_M}{b_{\text{л}}} - 1 \right) (1 - \bar{z}_{\text{ц}}^2) (\Omega_1^m + \Omega_2^m)} \right]^{1/m} \times$ $\times \Omega_1 \Omega_2 \pi d_M^3$ $q_v = \frac{\pi^2}{168} \lambda_{\text{ш}} \left(\frac{D}{d_M} \right)^3 \left[10,5 \frac{(1 - z_B/z_0) t_{\text{л}}}{\pi^2 (\bar{z}_{\text{ц}}^2 - \bar{z}_B^2) d_M} \right]^{1/m} \times$ $\times \left[\frac{(d_M/D)(H_1/H)}{\Omega_1^m + \Omega_2^m} \right]^{1/m} \Omega_1 \Omega_2 \pi d_M^3$	
<p>9. Средняя скорость осевого потока, м/с, для мешалок:</p> <p>ленточной в периферийной зоне</p> <p>шнековой с направляющей трубой или змеевиком в центральной зоне</p>	$w_{\text{ос}} = \frac{q_v}{\pi R^2 (1 - \bar{z}_{\text{ц}}^2)}$ $w_{\text{ос}} = \frac{q_v}{\pi R^2 (\bar{z}_{\text{ц}}^2 - \bar{z}_B^2)}$	
<p>10. Средняя скорость окружного движения среды, м/с, для мешалок:</p> <p>ленточной в периферийной зоне</p>	$v_{\text{ос}} = \frac{\lambda_{\text{л}} d_M H_1}{2 D H \lambda_{\text{к}}} \left(1 - \frac{b_{\text{л}}}{d_M} \right) \pi d_M$	

Продолжение табл. 43

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
шнековой с направляющей трубой или змеевиком в центральной зоне	$v_{cp} = \frac{\lambda_{ш} n d_m}{6 \lambda_k (1 - \frac{c}{r_c})}$	

3.3. Тепловой расчет аппарата

3.3.1. Рекомендуемый метод и форма расчета распространяется на аппараты с ленточными, ленточными со скрепками и шнековыми мешалками при перемешивании в условиях значений центробежного числа Рейнольдса, не превышающих 10^3 , и предусматривает расчет теплообмена со стенкой аппарата, оборудованного рубашкой, а для шнековой мешалки также с корпусом направляющего устройства, имеющего камеру для протока теплоносителя или поверхностью встроенного в аппарат змеевика.

3.3.2. При ламинарном течении вязкой жидкости вдоль поверхности теплообмена основное термическое сопротивление сосредоточено в пограничном слое со стороны вязкой жидкости:

$$\alpha_T > \alpha < \frac{\lambda_{ст}}{s},$$

где α_T — коэффициент теплоотдачи от теплоносителя в теплообменном устройстве, Вт/(м²·К);

α — коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой жидкости, Вт/(м²·К);

δ - толщина стенки теплообменного устройства, м;

$\lambda_{ст}$ - теплопроводность материала стенки, Вт/(м.К).

В связи с этим температура наружной поверхности стенки теплообменного устройства, необходимая для определения консистентности (динамической вязкости) среды при температуре стенки $k_{ст}(\mu_{ст})$, может быть принята равной средней температуре теплоносителя в теплообменном устройстве $t_{т.ср}$.

3.3.3. Рекомендуемая форма и метод расчета теплообмена приведен в табл.47.

Таблица 47

Расчет теплообмена

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Дополнительные исходные данные		
1. Толщина стенки теплообменного устройства, м:		
рубашки	δ	
направляющей трубы или змеевика	$\delta_{зм}$	
2. Высота, м:		
цилиндрической части рубашки	h_p	
встроенного теплообменного устройства (направляющей трубы или змеевика)	h_T	
3. Тепловой поток, Вт	Φ	

Продолжение табл. 47

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
4. Температура, °C среды средняя теплоносителя	t t _{т.ср} (по п. 2.4.3 РД 26-01-90-85)	
5. Площадь поверхности теплообмена рубашки, м ²	F _р	
6. Консистентность (динамическая вязкость при $\tau = 1$) среды при средней температуре теплоносителя в теплообменном устройстве, Н.с/м ²	k _{ст}	
7. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	c _p	
8. Теплопроводность, Вт/(м.К): среды: материала стенки аппарата змеевика или направляющей трубы	λ λ_a λ_z	
9. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² .К): в рубашке в направляющей трубе или змеевике	α_p (по п. 2.4.2 РД 26-01-90-85) α_z (по п. 2.4.3 РД 26-01-90-85)	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчетные данные		
I0. Центробежное число Рейнольдса	$Re_{ц} = \frac{\rho n d_m^2}{\mu_2}$	
I1. Условие применимости метода расчета	$Re_{ц} \leq 10^3$	
I2. Длина участка динамически стабилизированного движения среды у стенки аппарата с ленточной мешалкой или у стенки встроеного теплообменного устройства аппарата со шнековой мешалкой, м	$l_0 = \frac{\sqrt{v_{cp}^2 + w_{cp}^2}}{\left(\pi - \frac{v_{cp}}{\pi d_m} - \frac{w_{cp}}{t_l} \right) n_l}$	
I3. Параметр скорости сдвига на стенке корпуса аппарата с ленточной мешалкой на внутренней поверхности направляющей трубы или змеевика аппарата со шнековой мешалкой	$B_{л} = \left[\frac{10,5 H, b_{л}}{\pi H d_m} \left(\frac{z_0}{R} \right) \left(1 - \frac{b_{л}}{d_m} \right) \right]^2 \times$ $\times \left[\frac{\pi}{2l} \lambda_{л} \left(\frac{d_m}{b_{л}} - 1 \right) n \right]^{2m} + (1 - z_{mn})^2$ $\times \left(\frac{q}{\pi R^3 \Omega_2} \right)^{2m}$ $B_{ш} = \left[\frac{3,5}{\pi} \left(\frac{z_0}{z_T} \right)^2 \right]^2 \left(\frac{\pi \lambda_{ш} n}{2l} \right)^{2m} +$ $+ \left(z_{ц} - \frac{z_{шц}}{z_{ц}} \right)^2 \left(\frac{q}{\pi R^3 \Omega_1} \right)^{2m}$	
I4. Скорость сдвига на стенке аппарата с ленточной мешалкой, с ⁻¹	$\dot{\gamma}_{ст} = B_{л} \frac{1}{2m}$	

Продолжение табл. 47

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Единицное значение
<p>15. Скорость сдвига в аппарате со шнековой мешалкой, c^{-1} :</p> <p>на стенке аппарата</p> <p>на наружной поверхности направляющей трубы или змеевика</p> <p>на внутренней поверхности труб или змеевика</p>	$\dot{\gamma} = \frac{q}{\pi R^3 \Omega_2} (1 - \bar{z}_{mn}^2)^{1/3} \quad 1/m$ $\dot{\gamma}_H = \frac{q}{\pi R^3 \Omega_2} \left(\frac{\bar{z}_{mn}^2}{\bar{z}_u} - \bar{z}_u \right)^{1/3} \quad 1/m$ $\dot{\gamma}_B = B_{ш} \quad 1/2 \cdot m$	
<p>16. Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К) :</p> <p>к стенке аппарата с ленточной мешалкой</p> <p>к стенке аппарата с ленточной мешалкой со скребками</p> <p>к стенке аппарата со шнековой мешалкой</p> <p>к наружной поверхности направляющей трубы или змеевика</p> <p>к внутренней поверхности направляющей труб или змеевика</p>	$\alpha = 0,16 \left(\lambda_{лост} \dot{\gamma} \frac{\rho c_p \lambda^2}{l_0} \right)^{1/3} \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$ $\alpha = 0,4 \sqrt{\rho c_p \lambda n c}$ $\alpha = 0,81 \left(\dot{\gamma} \frac{\rho c_p \lambda^2}{H_p} \right)^{1/3} \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$ $\alpha_H = 0,81 \left(\dot{\gamma}_H \frac{\rho c_p \lambda^2}{h_T} \right)^{1/3} \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$ $\alpha_B = 0,16 \left(\lambda_{ш} \dot{\gamma}_B \frac{\rho c_p \lambda^2}{l_0} \right)^{1/3} \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
17. Среднее значение коэффициента теплоотдачи к встроенному теплообменному устройству (змеевику или направляющей трубе), Вт/(м ² .К)	$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha_{\text{н}} + \alpha_{\text{п}}}{2}$	
18. Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² .К) для стенки аппарата для теплообменного устройства	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_p}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}}$ $K_{\text{ср}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ср}}} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_3}}$	
19. Площадь поверхности встроенного теплообменного устройства, м ² направляющей труб змеевика	$F_{\text{т}} = 4 \pi z_{\text{т}} h_{\text{т}}$ $F_{\text{ср}} = \pi d_{\text{зм}} h_{\text{т}} \sqrt{\left(2\pi \frac{z_{\text{т}}}{s_2}\right)^2 + 1}$	
20. Расчетный тепловой поток, Вт, для теплообменного устройства: русошки направляющей труб или змеевика	$\Phi_{\text{р}} = K F_{\text{р}} t - t_{\text{ср}} $ $\Phi_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} F_{\text{ср}} t - t_{\text{ср}} $	
21. Суммарный расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi' = \Phi_{\text{р}} + \Phi_{\text{ср}}$	

Продолжение табл.47

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
22. Порядок продолжения расчета	<p>После определения первого приближения расчетного теплового потока расчет второго приближения Φ'' начинается с определения средних значений температур теплоносителя по методу, изложенному в подразд.2.4 РД 26-01-90-85. Учитывая незначительное изменение теплофизических свойств среды от температуры и их слабое влияние на теплоотдачу при найденных значениях температуры теплоносителя определяются только новые значения $k_{ст}$ (или $\mu_{ст}$) и расчет повторяется, начиная с поз.16 табл.47. Если при первом приближении $0,5 \leq k / k_{ст} \leq 2$, то в качестве Φ'' может быть принято значение Φ'.</p>	

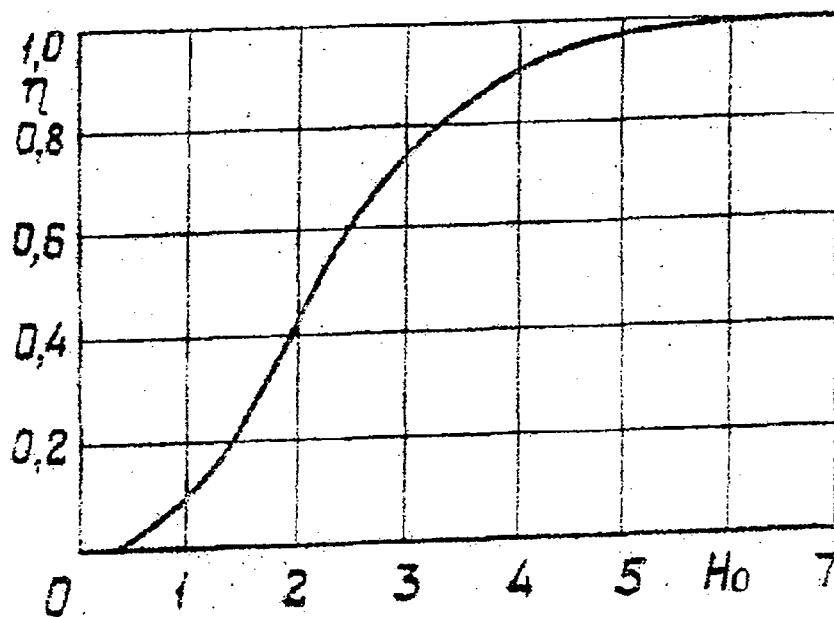
3.4. Расчет распределения концентраций и температуры

3.4.1. Степень неоднородности распределения концентрации смешиваемых веществ и температуры в периодическом аппарате (см.п.2.6), а также перепад концентраций или температуры в проточных аппаратах являются функцией циркуляционного расхода.

Расчет условий распределения взвешенных частиц выполняется исходя из расчетных значений средней скорости осевого потока в периферийной зоне. Значения скорости осаждения частиц определяются путем измерений и расчетом по обычным методам (см.приложение 2).

Рекомендуемые форма и метод расчета приведены в табл.48 и на черт.62.

Степень неоднородности среды в аппарате



черт. 62

Таблица 48

Расчет распределения концентраций

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Дополнительные исходные данные		
1. Задаваемая степень неоднородности в периодически действующем аппарате	γ (п. 2.6.1.1 РД 26-01-90-85)	
2. Объемный циркуляционный расход перемешиваемой среды, м ³ /с	q (по п. 3.2.6.1 РД 26-01-90-85)	
3. Объемный расход среды через аппарат, м ³ /с	Q	
4. Относительный радиус границы раздела зон	\bar{r}_c	
5. Скорость осаждения взвешенных частиц, м/с	w_c (см. п. 6 приложения 2 к РД 26-01-90-85)	
6. Объем перемешиваемой среды, м ³	V	
7. Радиус аппарата, м	R	
Расчетные величины		
8. Число Ho (для периодически действующего аппарата)	$Ho = f(\gamma)$ (по п. 3.4.1 РД 26-01-90-85)	
9. Время достижения заданной степени неоднородности (времени гомогенизации) в периодически действующем аппарате, с	$\tau_{\gamma} = Ho \frac{V}{q}$	

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
10. Максимальный перепад массовой доли компонента в проточном аппарате	$\Delta C_{\max} = C_{\text{ср}} \frac{Q}{q + Q},$ где $C_{\text{ср}}$ — по п. 2.6.2 РД 26-01-90-85.	
11. Среднее значение осевой скорости циркуляционного потока среды в периферийной зоне, м/с	$w_{\text{ср}} = \frac{q}{\pi R^2 (1 - \bar{z}_c^2)}$	
12. Максимальная относительная разность массовой (объемной) доли суспензии в аппарате	$\Delta \bar{x}_{\max} = \frac{w_y}{w_y + w_{\text{ср}}}$	

4. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ

4.1. Общая характеристика метода расчета

4.1.1. Методы расчета, проведенные в разд. 2 и 3, распространяются на условия перемешивания, соответствующие турбулентному и ламинарному режимам течения перемешиваемой среды. В случаях, если число Рейнольдса Re_c оказывается менее 1000, но превышает значения, соответствующие верхней границе ламинарного режима (см. табл. 39), режим течения в аппарате рассматривается как переходный.

При перемешивании в переходном режиме следует исполь-

зовать мешалки, рекомендованные для перемешивания при ламинарном режиме. Формы и методы расчета должны соответствовать приведенным в разд.3 "Перемешивание при ламинарном режиме". При этом в расчетные уравнения вместо рассчитанных значений чисел Рейнольдса следует подставлять их максимальные значения, указанные в таол.39.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рекомендуемое

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вертикальные стальные сварные аппараты с перемешивающими устройствами: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1978. 27 с.
2. Малогабаритная химическая аппаратура: Каталог. Черновцы: Облполиграфиздат, 1982. 36 с.
3. Гуммированное химическое оборудование: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984. 24 с.
4. Эмалированная аппаратура: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1974. 112 с.
5. Мотор-редукторы: Каталог-справочник. Тамбов, 1981. 26 с.
6. Номенклатура мотор-редукторов: справочное пособие. Тамбов, 1981. 10 с.
7. ГОСТ 20680-75. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные. Типы и основные параметры.
8. ОСТ 26-01-1245-83. Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования.
9. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. Л.: Машиностроение, 1979. 272 с.
10. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. Л.: Химия, 1984. 336 с.
11. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1977. 384 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПЕРЕМЕШИВАЕМЫХ ВЕЩЕСТВ

1. Физические свойства, необходимые для выполнения расчетов, определяются по справочным данным, путем непосредственных измерений или расчетом.

2. Динамическая вязкость может быть определена с помощью ротационного или капиллярного вискозиметра.

3. Реологические свойства неньютоновских сред также должны определяться с помощью ротационного или капиллярного вискозиметра и представляться в виде степенного одночлена.

$$\tau = k \dot{\gamma}^m,$$

где τ — напряжение сдвига, Па;

k — консистентность, н.с^m/м²;

$\dot{\gamma}$ — скорость сдвига, с⁻¹;

m — индекс поведения.

Для псевдопластичных жидкостей $m \leq 1$.

4. Эффективная вязкость может быть определена как

$$\mu_{\text{э}} = k \dot{\gamma}^{m-1}$$

5. Максимальная скорость осаждения (всплывания) твердых частиц в суспензии при перемешивании маловязких сред (турбулентный режим) может быть рассчитана по формуле

$$w_{\text{ч}} = 1,15 \sqrt{\frac{d_{\text{ч}}(\rho_{\text{ч}} - \rho)g}{\rho}},$$

где w_u — скорость осаждения (всплывания) частиц, м/с;

d_u — средний диаметр частиц, м;

ρ_4, ρ — соответственно плотность частиц и плотность жидкой фазы, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

6. Скорость осаждения частиц в высоковязких средах (ламинарный режим) рассчитывается по уравнению

$$w_u = \frac{d_u^2 (\rho_4 - \rho) g}{18 \mu}$$

где μ — динамическая вязкость жидкой фазы, Па.с.

7. Для двухфазных систем физические свойства рассчитываются по формулам, приведенным в табл. приложения 2

РД 26-01-90-85.

8. Межфазное натяжение определяется экспериментально по формуле

$$\sigma = |\sigma_c - \sigma_\phi|$$

где σ — межфазное натяжение, Н/м;

σ_ϕ — поверхностное натяжение на границе газ — дисперсионная среда, Н/м;

σ_c — поверхностное натяжение на границе газ — дисперсная фаза, Н/м.

Формулы для расчета физических свойств взвешенной среды

Физические свойства	Перемешиваемая среда		Взаиморастворимые жидкости
	Суспензия (твердые частицы -- жидкость)	Эмульсия (жидкость -- жидкость)	
<p>Объемная доля дисперсной фазы</p> $\varphi = \frac{V_{\phi}}{V_{\phi} + V_c}$ <p>где V_{ϕ} -- объем дисперсной фазы, м³ V_c -- объем дисперсионной среды, м³</p> <p>Объемная доля жидкости в общем объеме</p>			$\varphi = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$ <p>где V_1 -- объем жидкости 1, м³ V_2 -- объем жидкости 2, м³</p>
<p>Динамическая вязкость, Па·с</p>	<p>При $\varphi \leq 0,1$ $\mu_{см} = \mu(1 + 2,5\varphi)$ При $\varphi > 0,1$ по п.2.7.2.1 РИ 26-01-90-85</p>	<p>При $\varphi \leq 0,3$ $\mu = \mu_c$ При $\varphi > 0,3; \mu_c \leq \mu_{\phi}$ $\mu = \frac{\mu_c}{1-\varphi} \left(1 - \frac{6,4\varphi\mu_{\phi}}{\mu_c + \mu_{\phi}}\right)$ При $\varphi > 0,3; \mu_c > \mu_{\phi}$ $\mu = \frac{\mu_c}{1-\varphi} \left(1 - \frac{1,5\varphi\mu_{\phi}}{\mu_c + \mu_{\phi}}\right)$</p>	<p>При $\mu_1 > 2\mu_2$ $\mu = \mu_1$ При $\mu_1 < 2\mu_2$ $\mu = \mu_1 \frac{(1-\varphi)^2}{\mu_2}$</p>

Продолжение

Физические свойства	Перемешиваемая среда		
	Суспензия (твердые частицы - жидкость)	Эмульсия (жидкость - жидкость)	Взаиморастворимые жидкости
Плотность ρ , кг/м ³	$\rho = \varphi \rho_{\phi} + (1 - \varphi) \rho_c$		$\rho = \varphi \rho_1 + (1 - \varphi) \rho_2$
Удельная теплоемкость c , Дж/(кг.К)	$c = \varphi c_{\phi} + (1 - \varphi) c_c$		$c = \varphi c_1 + (1 - \varphi) c_2$
Теплопроводность λ , Вт/(м.К)	$\lambda = \lambda_c$		λ_c - по справочным данным

Примечание. Обозначения физических свойств:

дисперсной фазы - μ_{ϕ} , ρ_{ϕ} , c_{ϕ} , дисперсионной среды - μ_c , ρ_c , c_c , λ_c

жидкости 1 - μ_1 , ρ_1 , c_1

жидкости 2 - μ_2 , ρ_2 , c_2

РАСЧЕТЫ АППАРАТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ

1. Примеры расчетов приведены в табл. I...IV.

Таблица I

Гидродинамический расчет аппарата без внутренних устройств

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Высота заполнения аппарата средой, м	H	2,8
3. Число мешалок на валу	n	1
4. Тип и индекс мешалки	I	Бурбиновая открытая, 03
5. Коэффициент сопротивления мешалки	K_{M}	8,4
6. Частота вращения мешалки, $с^{-1}$	n	2,08
7. Диаметр мешалки, м	d_m	0,8
8. Плотность перемешиваемой среды, $г/см^3$	ρ	$1 \cdot 10^3$

ИЗДАНИЕ 1971 Г.

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
9. Кинематическая вязкость перемешиваемой среды, м ² /с	ν	$2 \cdot 10^{-6}$
Расчетные величины		
10. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$	$\frac{2,4}{0,8} = 3$
11. Число Рейнольдса	$Re_{\mu} = \frac{n d_M^2}{\nu}$	$\frac{2,08 \cdot 0,8^2}{2 \cdot 10^{-6}} = 6,7 \cdot 10^5$
12. Параметр высоты заполнения	$\gamma = 8 \frac{H}{D} + 1$	$8 \frac{2,8}{2,4} + 1 = 10,3$
13. Параметр гидравлического сопротивления	$E = \frac{\gamma}{\sum_n z_n Re_{\mu}^{0,25}}$	$\frac{10,3}{8,4 \cdot 1 \cdot (6,7 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,0125$
14. Параметр распределения скорости	$\psi_1 = f(E)$ <p>(по п. 2.3.2.1 РД 26-01-90-85)</p>	$-0,3$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
15. Параметр распределения скорости	$\psi_2 = -0,5 - 1,25 \psi_1$	$-0,5 - 1,25(-0,3) = -0,125$
16. Параметр глубины воронки	В (по п. 2.3.2.2 РД 26-01-90-85)	12
17. Глубина воронки, м	$h_B = \frac{\pi^2 d_M^2}{2g} B$	$\frac{2,08^2 \cdot 0,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 12 = 1,73$
18. Коэффициент K_I	$K_1 = f(\psi_1)$ (по п. 2.3.2.3 РД 26-01-90-85)	0,019
19. Число K_N	$K_N = 4 \sum_M K_1$	$4 \cdot 8 \cdot 0,019 = 0,64$
20. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho n^3 d_M^5$	$0,64 \cdot 1000 \cdot 2,08^3 \cdot 0,8^5 = 1900$

РД 26-01-90-85 стр. 175

Таблица 2

Гидродинамический расчет аппарата с отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Высота заполнения аппарата, м	H	2,8
3. Число мешалок на валу	Z_M	1
4. Тип и индекс мешалки	—	Турбинная открытая, 03
5. Коэффициент сопротивления мешалки	λ_M	8,4
6. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	2,08
7. Диаметр мешалки, м	d_M	0,8
8. Плотность перемешиваемой среды, $кг/м^3$	ρ	$1,2 \cdot 10^3$
9. Кинематическая вязкость среды, $м^2/с$	ν	$2 \cdot 10^{-6}$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
10. Число отражательных перегородок	z_n	4
11. Высота отражательных перегородок, м	h_n	2
12. Ширина отражательных перегородок, м	b_n	0,24
Расчетные величины		
13. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_n}$	$\frac{2,4}{0,8} = 3$
14. Число Рейнольдса	$Re_u = \frac{nd_n^2}{\nu}$	$\frac{2,08 \cdot 0,8^2}{2 \cdot 10^{-5}} = 6,7 \cdot 10^5$
15. Параметр χ	$\chi = 4 \frac{H}{D} + 1$	$4 \cdot \frac{2,8}{2,4} + 1 = 5,7$
16. Среднее значение скорости потока, м/с	$v_{cp} = 4,35 nd_n \left(\frac{z_n \sum h_n}{\Gamma_D^2 \cdot \chi} \right)^{1/3}$	$4,35 \cdot 2,08 \cdot 0,8 \left(\frac{1,8 \cdot 4}{3^2 \cdot 5,7} \right)^{1/3} = 4,0$

ДП 28-01-90-01 10.11.11

Продолжение табл. 2

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
17. Параметр θ	$\theta = \frac{2 \Gamma_D \varepsilon_n h_n \ln \frac{D}{D-2b_n}}{\zeta_M D \varepsilon_M}$	$\frac{2.3.4.2 \ln \frac{2.4}{2.4-2.0,24}}{8,4.2,4.1} = 0,535$
18. Параметр K_1	$K_1 = f(\theta)$ <p>(по п. 2.3.3.1 РД 26-01-90-85)</p>	0,14
19. Коэффициент мощности, K_N	$K_N = 4 \zeta_M \varepsilon_M K_1$	4.8,4.1,0,0,14 = 4,7
20. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho n^3 d_M^5$	$4,7.1,2 \cdot 10^3 \cdot 2,08^3 \cdot 0,8^5 = 16800$

Стр. 178 РД 26-01-90-85

Гидродинамический расчет аппаратов с внутренними устройствами

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Характеристики аппарата, мешалки и рабочей среды		
1. Диаметр аппарата, м	D	9
2. Высота заполнения аппарата средой, м	H	5,8
3. Число мешалок на валу	n_m	1
4. Тип и индекс мешалки	i	3-лопастная, 01
5. Коэффициент сопротивления мешалки	K_{m_i}	0,56
6. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	0,415
7. Диаметр мешалки, м	d_m	2,5
8. Плотность перемешиваемой среды, $кг/м^3$	ρ	1636
9. Кинематическая вязкость перемешиваемой среды, $м^2/с$	ν	$9,05 \cdot 10^{-6}$

17-25-01-01-01-01-01-01

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Характеристики внутренних устройств (трубы)		
10. Коэффициент гидравлического сопротивления при поперечном обтекании i -го внутреннего устройства	ξ_i	1,0
11. Радиус установки i -го устройства, м	r_i	3
12. Число внутренних устройств	z_T	3
13. Наружный диаметр трубы, м	d_T	0,2
14. Высота погружной части трубы, м	h_T	4
Расчетные величины		
15. Площадь проекции внутренних устройств, м ²	$f_i = d_T h_T$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$
16. Радиус аппарата, м	$R = D/2$	$9/2 = 4,5$
17. Коэффициент сопротивления корпуса	λ_T (по табл. II ПД 26-01-90-85)	0,095

Спр. 180 ПД 26-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
18. Число Рейнольдса	$Re_{ц} = \frac{n d_M^2}{\nu}$	$\frac{0,415 \cdot 2,5^2}{9,05 \cdot 10^{-5}} = 2,87 \cdot 10^5$
19. Отношение диаметра аппарата к диаметру мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$	$\frac{9}{2,5} = 3,6$
20. Параметр высоты заполнения аппарата	$\chi = 8 \frac{H}{D} + 1$	$8 \cdot \frac{5,8}{9} + 1 = 6,16$
21. Суммарная площадь проекции внутренних устройств на меридиональную плоскость, м ²	$\sum_{z_{BH}} \xi_i f_i$	$3 \cdot 1 \cdot 0,8 = 2,4$
22. Параметр поверхности корпуса аппарата, м ²	$0,5 RH$	$0,5 \cdot 5,8 \cdot 4,5 = 13,05$
23. Условие выбора выражений для K_1 , $\nu_{ср}$, $\nu(z)$ из табл. 12	$\sum_{z_{BH}} \xi_i f_i \leq 0,5 RH$	$2,4 < 13,05$
24. Коэффициент K_I^X	$K_1 = 0,1 \psi_1^2 + 0,222 \psi_1 \psi_2 + 0,125 \psi_2^2$	$0,1 \cdot 1,2^2 + 0,222 \cdot 1,2 \cdot (-2) + 0,125 \cdot (-2)^2 = 0,11$

* Значение K_I^X определяется после определения ψ_1 и ψ_2 .

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
25. Относительная средняя скорость $v_{\text{ср}}^*$	$\bar{v}_{\text{ср}} = \frac{[1 + 0,4\psi_1 + 0,5\psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2)\ln \Gamma_D]}{2\Gamma_D}$	$[1 + 0,4 \cdot 1,2 - 0,5 \cdot 2 + 2(1 + 1,2 - 2)] \ln 3,6 / (2 \cdot 3,6) = 0,138$
26. Относительная окружная скорость на радиусе внутреннего устройства ^х	$\bar{v}(z_i) = \frac{(1 + \psi_1 + \psi_2) d_M}{2z_i}$	$\frac{(1 + 1,2 - 2) \cdot 2,5}{3 \cdot 2} = 0,083$
27. Уравнение для определения ψ_1 и ψ_2 (по п. 2.3.3.3 РД 26-01-90-85)	$\sum_M \xi_M (0,1\psi_1^2 + 0,222\psi_1\psi_2 + 0,125\psi_2^2) =$ $= \frac{2\pi}{15} \frac{\lambda_T}{Re_{\text{ч}}^{0,25}} \gamma \Gamma_D [1 + 0,4\psi_1 + 0,5\psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2)\ln \Gamma_D]^{1,75} +$ $+ (1 + \psi_1 + \psi_2)^2 \frac{\Gamma_D}{R} \sum_{\text{вн}} \xi_i \frac{f_i}{z_i}$	

^х Заполняется после определения ψ_1 и ψ_2 .

Наименование величины	Обозначения и расчетная формула	Числовое значение
28. Коэффициент	$\frac{2,37}{15} \frac{\lambda_T}{Re^{0,25}} \gamma \Gamma_{II}$	$\frac{2,3,14 \cdot 0,095 \cdot 6,16 \cdot 3,6}{15(2,87 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,001$
29. Коэффициент	$\Gamma_{II} \sum_{z_{311}} \frac{f_L}{R z_i}$	$3,6 \cdot 3,1 \cdot 0,8 / (1,5 \cdot 3) = 0,64$
30. Коэффициент	$\frac{z_{II}}{z_{II}} \sum_{z_{II}} \frac{f_L}{R z_i}$	$1,0,56 = 0,56$

С учетом коэффициентов изр. 28 и 29 преобразуем уравнение из изр. 27 в виде:

$$31. 0,56(0,1 \psi_1^2 + 0,222 \psi_1 \psi_2 + 0,125 \psi_2^2) - 0,381 [1 + 0,4 \psi_1 + 0,5 \psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2) \cdot 3,6]^{1,75} - 0,64 (1 + \psi_1 + \psi_2)^2 = \Delta$$

Решая это уравнение^{*} совместно с уравнением из изр. 6 табл. 4 при 28 ОУ-30-35, находим значения ψ_1 и ψ_2 , при которых $\Delta = 0$

^{*} Решение уравнения из изр. 31 методом итераций методом касательных приведено в табл. 1

ИД 20-01-00-88 ОИД 100

Предложение табл.3

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
32. Параметр окружной скорости	ψ_1	1,2
33. Параметр окружной скорости	ψ_2	-2,0
34. Коэффициент мощности	$K_N = 3,87 z_M \zeta_M K_1$ (по поз.2 табл.6 РИ 26-01-90-85)	3,87.1.0,56.0,11 = 0,238
35. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = K_N \rho n^3 d_M^5$	0,238.1656.0,415 ³ .2,5 ⁵ = 2780

РИ 26-01-90-85

Решение уравнения по ном. III табл. 3 методом разложения

деления

ψ_1	ψ_2	K_1	Δ
-2	-2	0,012	-1,02
2	-3	0,193	0,1033
0	-0,5	0,03125	-0,275
1	-1,75	0,0943	-0,0372
1,5	-2,375	0,1392	0,0458
1,25	-2,06	0,116	0,0073
1,125	-1,906	0,1047	-0,0142
1,19	-1,987	0,1103	-0,00274
Принимаем $\psi_1 \approx 1,2$; $\psi_2 \approx -2$			

101 98-01-98-06 10-07 10

Таблица 5

Тепловой расчет аппарата без внутренних устройств с цилиндрической рубашкой. Теплоноситель - конденсирующийся пар

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Высота заполнения аппарата, м	H	2,3
3. Толщина стенки аппарата, м	s	0,018
4. Теплопроводность материала стенки аппарата, Вт/(м.К)	$\lambda_{ст}$	46,5
5. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	N (см. поз. 20 табл. I приложения 3)	1900
6. Высота рубашки, м	H_r	2,3
7. Площадь поверхности теплообмена, м ²	F	18,7
8. Тепловой поток, Вт	Φ	$1,2 \cdot 10^6$
9. Плотность перемешиваемой среды, кг/м ³	ρ	$1 \cdot 10^3$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
10. Динамическая вязкость среды, Па.с	μ	$2 \cdot 10^{-3}$
11. Теплопроводность среды, Вт/(м.К)	λ	0,66
12. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	с	$4,19 \cdot 10^3$
13. Температура перемешиваемой среды, °С	t	70
14. Температура конденсации пара, °С	t_{τ}	135
15. Плотность конденсата, кг/м ³	ρ_{τ}	$1 \cdot 10^3$
16. Плотность насыщенного пара, кг/м ³	ρ'_{τ}	1,715
17. Динамическая вязкость конденсата, Па.с	μ_{τ}	$0,21 \cdot 10^{-3}$
18. Теплопроводность конденсата, Вт/(м.К)	λ_{τ}	0,61
19. Удельная теплота парообразования теплоносителя, Дж/кг	z_{τ}	$2,15 \cdot 10^6$

ИП 21-01-90-90 Стр. 107

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
20. Удельная теплоемкость конденсата, Дж/(кг.К)	c_T	4190
Расчет теплоотдачи от перемешиваемой среды		
1. Объем заполнения аппарата, м ³	$V = \frac{\pi D^2}{4} H$	$\frac{3,14 \cdot 2,4^2}{4} \cdot 2,3 = 10,4$
2. Удельная диссипация энергии в перемешиваемой среде, Вт/кг	$\epsilon_0 = \frac{N}{\rho V}$	$\frac{1900}{1000 \cdot 10,4} = 0,182$
3. Кинематическая вязкость среды, м ² /с	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$\frac{2 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 2 \cdot 10^{-6}$
4. Число Прандтля	$Pr = \frac{\mu c}{\lambda}$	$\frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 4,19 \cdot 10^3}{0,66} = 12,7$
5. Коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды, Вт/(м ² .К)	$\alpha = \frac{0,267 (\epsilon_0 \nu)^{0,25} c \rho}{Pr^{0,75}}$	$\frac{0,267 (0,182 \cdot 2 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 4,19 \cdot 10^3}{12,7^{0,75}} \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 4084$

СР.188 ПЛ.26-01-90-85

Продолжение табл. 5

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчет теплоотдачи от теплоносителя		
6. Средняя разность температур перемешиваемой среды, °С	$\Delta t_{cp} = t_r - t$	135 - 70 = 65
7. Температура стенки аппарата (первое приближение), °С	$t_{cr} = \frac{t + t_r}{2}$	$\frac{70 + 135}{2} = 102,5$
8. Коэффициент F	$F = \frac{z_T}{c_T (t_r - t_{cr})}$	$\frac{2,15 \cdot 10^6}{4190(135 - 102,5)} = 15,78$
9. Коэффициент A_1	$A_1 = [\lambda_T^3 \rho_T (\rho_T - \rho'_T) g / \mu_T]^{0,25}$	$[0,61^3 \cdot 10^3 (10^3 - 1,715)]^{0,25} \times [9,8 / (0,21 \cdot 10^{-3})]^{0,25} = 320,8$
10. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (первое приближение), Вт/(м²К)	$\alpha_T = 0,94 A_1 \sqrt[4]{\frac{z_T}{H(t_r - t_{cr})}}$	$0,94 \cdot 320,8 \sqrt[4]{\frac{2,15 \cdot 10^6}{2,3(135 - 102,5)}} = 4090$

ДЛ 26-01-90-25 Отп. 125

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
11. Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м ² ·К)	$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_T}}$	$\frac{1}{\frac{1}{4084} + \frac{0,018}{46,5} + \frac{1}{4000}} = 1134$
12. Расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi' = K' F \Delta t_{cp}$	$1134 \cdot 18,7 \cdot 65 = 1,38 \cdot 10^6$
13. Температура стенки аппарата (второе приближение), °С	$t_{ct} = t_T - \frac{\Phi'}{F \cdot \alpha_T}$	$135 - \frac{1,38 \cdot 10^6}{18,7 \cdot 4000} = 116,5$
14. Коэффициент Р (второе приближение)	$P = z_T / [c_T (t_T - t_{ct})]$	$2,15 \cdot 10^6 [4190(135 - 116,5)] = 27,7$
15. Коэффициент А _Т (второе приближение)	$A_T = [\lambda_T^3 P_T (P_T - P'_T) g / \mu_T]^{0,25}$	$[0,61^3 \cdot 10^3 (10^3 - 1,715) 9,8 / 0,21 \cdot 10^{-3}]^{0,25} = 320,8$
16. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (второе приближение), Вт/(м ² ·К)	$\alpha_T'' = 0,94 A_T \sqrt[4]{\frac{z_T}{H(t_T - t_{ct})}}$	$0,94 \cdot 320,8 \sqrt[4]{\frac{2,15 \cdot 10^6}{2,3(135 - 116,5)}} = 4521$

Продолжение табл. 6

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
17. Коэффициент теплопередачи (второе приближение), Вт/(м ² ·К)	$K'' = \frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha''}$	$\frac{1}{4084} + \frac{0,018}{46,5} + \frac{1}{4521} = 1172$
18. Расчетный тепловой поток (второе приближение), Вт	$\Phi'' = K'' F \Delta t_{cp}$	$1172 \cdot 18,7 \cdot 65 = 1,42 \cdot 10^6$
19. Параметр E	$E = \left \frac{\Phi' - \Phi''}{\Phi'} \right $	$\left \frac{1,38 \cdot 10^6 - 1,42 \cdot 10^6}{1,38 \cdot 10^6} \right = 0,03$
20. Условие окончания расчета	$E < 0,1$	$0,03 < 0,1$

ИД 28-01-80-85.070.001

Таблица 6

Расчет теплоотдачи от змеевика в аппарате с отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	1,0
2. Высота заполнения аппарата, м	H	1,0
3. Число мешалок на валу	z_n	1
4. Тип и индекс мешалки	-	Турбинная открытая, 03
5. Коэффициент сопротивления мешалки	$\sum \xi_n$	8,4
6. Частота вращения мешалки, c^{-1}	n	3,25
7. Диаметр мешалки, м	d_m	0,36
8. Число отражательных перегородок	z_p	4
9. Высота отражательных перегородок, м	h_p	1,0
10. Ширина отражательных перегородок, м	b_p	0,1
11. Коэффициент расхода K_2	K_2	1,0

ИПР.1972 РН 26-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
12. Диаметр трубы змеевика, м	$d_{зм}$	0,032
13. Число витков змеевика	$z_{зм}$	6
14. Диаметр навивки змеевика, м	$D_{зм}$	0,74
15. Шаг навивки змеевика, м	s_z	0,1336
16. Плотность среды, кг/м ³	ρ	1050
17. Динамическая вязкость среды, Па.с	μ	0,0024
18. Теплопроводность среды, Вт/(м.К)	λ	0,61
19. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	c	4190
Расчет теплоотдачи от змеевика		
20. Высота змеевика, м	$h_{зм} = (z_{зм} - 1) s_z + d_{зм}$	$(6-1)0,1336+0,032 = 0,7$
21. Параметр α_0	$\alpha_0 = \frac{h_{зм}}{z_{зм} d_{зм}}$	$\frac{0,7}{6 \cdot 0,032} = 3,64$

ДЛ 26-01-90-35 стр.153

Продолжение табл.6

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
22. Параметр α_1	$\alpha_1 = f(\alpha_0)$ (по п.2.4.2 РД 26-01--90-85)	0,47
23. Параметр α_2	$\alpha_2 = \frac{8D_{3M} d_{3M}}{D^2}$	$\frac{8,0,74,0,032}{1,0^2} = 0,19$
24. Параметр α_3	$\alpha_3 = f(\alpha_2)$ (по п.2.4.2 РД 26-01--90-85)	0,54
25. Коэффициент гидравлического сопротивления змеевика	$\zeta_{3M} = \frac{1,15 \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3}{(1 - \alpha_2 \alpha_3)^3}$	$\frac{1,15,0,47,0,19,6}{(1-0,19,0,54)^3} = 1,17$
26. Объем жидкости, заключенной в следе, м ³	$V_{с.л} = \pi D_{3M} d_{3M} (1,5 h_{3M} - \frac{\pi}{4} \alpha_3 d_{3M})$	$3,14 \cdot 0,74 \cdot 0,032 \times (1,5 \cdot 0,7 - \frac{3,14}{4} \cdot 0,6 \cdot 0,032) = 0,067$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
27. Средняя скорость циркуляционного потока, м/с	$W = \frac{8 K_2 n d_m^3}{\pi D^2} \sqrt{\frac{4}{4 + \sum_{3M}}}$	$\frac{8 \cdot 1,0 \cdot 3,25 \cdot 0,36^3}{3,14 \cdot 1,0^2} \sqrt{\frac{4}{4 + 1,17}} = 0,35$
28. Мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления змеевика, Вт	$N_{сл} = \sum_{3M} \rho W^3 \frac{\pi D^2}{16}$	$1,17 \cdot 1050 \cdot 0,35^3 \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{16} = 10$
29. Удельная диссипация энергии в жидкости, заключенной в зоне витков змеевика, Вт/кг	$\epsilon_{сл} = \frac{N_{сл}}{\rho V_{сл}}$	$\frac{10}{1050 \cdot 0,067} = 0,14$
30. Кинематическая вязкость среды, м ² /с	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$\frac{0,0024}{1050} = 2,29 \cdot 10^{-6}$
31. Число Прандтля	$Pr = \frac{\mu c}{\lambda}$	$\frac{0,0024 \cdot 4190}{0,57} = 18,8$

РГ 22-15-00-00-00-00

Продолжение табл. 6

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
32. Коэффициент теплоотдачи от эжектора, Вт/(м ² К)	$\alpha = \frac{0,267 (\epsilon_{эл} \nu)^{0,25}}{Re^{0,75}} \epsilon_p$	$\frac{0,267(0,14 \cdot 2,29 \cdot 10^{-6})^{0,25}}{16,5^{0,75}} \times 4190,1050 = 3425$

Стр. 196 РД 26-01-90-85

Таблица 7

Расчет эквивалентного диаметра канала полутрубы и эквивалентной толщины стенки аппарата для рубашки из полутруб

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Радиус полутрубы, м	R_T	0,044
2. Высота сегмента полутрубы, м	h_T	0,035
3. Шаг навивки полутрубы, м	z_T	0,125
4. Толщина стенки аппарата, м	s	0,012
Расчетные данные		
5. Отношение A_1	$A_1 = \frac{h_T}{R_T}$	$\frac{0,035}{0,044} = 0,8$
6. Длина дуги полутрубы, м	$l_1 = R_T \sqrt{8A_1 - 1,33A_1^2}$	$0,044 \sqrt{8 \cdot 0,8 - 1,33 \cdot 0,8^2} = 1,04$
7. Длина хорды сегмента полутрубы, м	$l_2 = 2R_T \sqrt{2A_1 - A_1^2}$	$2 \cdot 0,044 \sqrt{2 \cdot 0,8 - 0,8^2} = 0,096$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
8. Площадь поперечного сечения канала полу-трубы, м ²	$S_T = 0,5 R_T [l_1 - l_2 (1 - A_1)]$	$0,5 \cdot 0,044 [0,12 - 0,086(1 - 0,8)] = 0,0022$
9. Периметр канала полу-трубы, м	$\pi = l_1 + l_2$	$0,104 + 0,086 = 0,19$
10. Эквивалентный диаметр канала полу-трубы, м	$d_{\text{экв}} = \frac{4 S_T}{\pi}$	$\frac{4 \cdot 0,0026}{0,19} = 0,052$
11. Половина расстояния между краями соседних полу-труб, м	$b_T = \frac{z_T - l_2}{2}$	$\frac{0,125 - 0,086}{2} = 0,0195$
12. Величина T	$T = \frac{b_T + \sqrt{b_T^2 + s^2}}{s}$	$\frac{0,0195 + \sqrt{0,0195^2 + 0,012^2}}{0,012} = 3,53$
13. Эквивалентная толщина стенки аппарата, м	$S_{\text{экв}} = \frac{0,5 l_2 + b_T}{\frac{l_2}{2s} + \ln T}$	$\frac{0,5 \cdot 0,086 + 0,0195}{\frac{0,086}{2 \cdot 0,012} + \ln 3,53} = 0,013$

Тепловой расчет аппарата с отражательными перегородками и рубашкой из полутрубы
Теплоноситель - вода

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Толщина стенки аппарата, м	$S_{\text{эква}}$ (по расчету - см. поз. 13 табл. 7 приложения 3)	0,013
3. Теплопроводность материала стенки аппарата, Вт/(м.К)	$\lambda_{\text{ст}}$	46,5
4. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	N (по расчету - см. поз. 20 табл. 2 приложения 3)	16800
5. Эквивалентный диаметр канала полутрубы, м	$d_{\text{эква}}$ (по расчету - см. поз. 10 табл. 7 приложения 3)	0,052

Продолжение табл. 8

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
6. Площадь поверхности теплообмена, м ²	F	14,5
7. Тепловой поток, Вт	Ф	-4.10 ⁵
8. Плотность среды, кг/м ³	ρ	1,2.10 ³
9. Динамическая вязкость среды, Па.с	μ	2,4.10 ⁻³
10. Теплопроводность среды, Вт/(м.К)	λ	0,61
11. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	с	4190
12. Объемный расход теплоносителя, м ³ /с	γ _т	0,01
13. Температура среды в аппарате, °С	t	40
14. Температура теплоносителя на входе, °С	t _{т1}	15
15. Плотность теплоносителя, кг/м ³	ρ _т	1.10 ³

Стр. 200 РД 28-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
16. Теплопроводность теплоносителя, Вт/(м.К)	λ_T	0,61
17. Удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг.К)	c_T	4190

Расчет температуры от перемешиваемой среды

18. Объем заполнения аппарата, м ³	V (по расчету — см. поз. 1, табл. 5 приложения 3)	10,4
19. Удельная диссипация энергии в перемешиваемой среде, Вт/кг	$E_0 = \frac{N}{\rho V}$	$\frac{16800}{1,2 \cdot 10^3 \cdot 10,4} = 1,34$
20. Кинематическая вязкость среды, м ² /с	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$\frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-6}$
21. Число Прандтля	$Pr_2 = \frac{\mu c}{\lambda}$	$\frac{2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 19 \cdot 10^3}{0,61} = 18,5$

ИЗДАНИЕ 1980 ГОДА

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
22. Коэффициент теплоотдачи от перемещиваемой среды, Вт/(м ² ·К)	$\alpha = \frac{0,267 (\epsilon_0 \nu)^{0,25} c \rho}{R_2^{0,75}}$	$\frac{0,267(1,34 \cdot 2 \cdot 10^{-6})^{0,25}}{16,5^{0,75}} \times$ $\times 4,19 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^3 = 6635$
23. Коэффициент ϵ_T	$\epsilon_T = 1 + 3,6 \frac{d_{\text{экв}}}{D}$	$1 + 3,6 \frac{0,053}{2,4} = 1,08$
24. Скорость течения теплоносителя, м/с	$W_T = \frac{V_T}{S_T}$	$\frac{0,01}{0,0026} = 3,85$
25. Температура теплоносителя на выходе из рубашки (первое приближение), °С	$t_{T2} = t_{T1} - \frac{\phi}{\rho_T c_T V_T}$	$15 + \frac{4 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^3 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 0,01} = 23$
26. Средняя расчетная температура теплоносителя в рубашке (первое приближение), °С	$t_{\text{ср}} = \frac{t_{T1} + t_{T2}}{2}$	$\frac{15 + 23}{2} = 19$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
27. Температура стенки аппарата (первое приближение), °C	$t'_{ст} = \frac{t + t_{T\text{ср}}}{2}$	$\frac{40 + 19}{2} = 29,5$
28. Число Рейнольдса	$Re = \frac{\rho'_T w_T d_{\text{экв}}}{\mu'_{ст}}$	$\frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3,85 \cdot 0,052}{1,03 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$
29. Число Прандтля	$Pr = \frac{c'_T \mu'_T}{\lambda'_T}$	$\frac{4,19 \cdot 10^3 \cdot 1,03 \cdot 10^{-3}}{0,61} = 7,07$
30. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (первое приближение), Вт/(м²·К)	$\alpha'_T = 0,023 \frac{\lambda_T}{d_{\text{экв}}} Re^{0,8} Pr^{0,33} \left(\frac{\mu_T}{\mu'_{ст}} \right)^{0,14} \epsilon$	$0,023 \frac{0,61}{0,052} (2 \cdot 10^5)^{0,8} \times$ $\times 7,07^{0,33} \cdot \left(\frac{1,03 \cdot 10^{-3}}{0,81 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} \times$ $\times 1,08 = 10000$

ИЛ 26-01-10-89 Сел. 202

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
31. Разность температур (первое приближение), °С: на входе теплоносителя в рубашку на выходе теплоносителя из рубашки	$\Delta t_1 = t - t_{T1} $ $\Delta t_2 = t - t_{T2} $	$ 40 - 15 = 25$ $ 40 - 23 = 17$
32. Средняя разность температур между перемещаемой средой и теплоносителем, °С	$\Delta t'_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}$	$\frac{25 + 17}{2} = 21$
33. Коэффициент теплопередачи (первое приближение), Вт/(м²/К)	$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{экв}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha'_T}}$	$\frac{1}{\frac{1}{6635} + \frac{0,013}{46,5} + \frac{1}{10000}} = 1812$
34. Расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi' = -KF \cdot \Delta t'_{cp}$	$-1812 \cdot 14,5 \cdot 21 = -5,52 \cdot 10^5$

к) Знак "-" в формулах для теплового потока (поз. 34 и 44) принят в соответствии с п.2.4.3 РД 26-01-90-85

РД 26-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
35. Температура теплоносителя на выходе из рубашки (второе приближение); °C	$t''_{T_2} = t_{T_1} - \frac{\Phi'}{\rho_T' c_T' V_T}$	$15 + \frac{5,52 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^3 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 0,1} = 28,2$
36. Средняя расчетная температура теплоносителя в рубашке (второе приближение), °C	$t''_{T_{cp}} = \frac{t_{T_1} + t''_{T_2}}{2}$	$\frac{15 + 28,2}{2} = 21,6$
37. Температура стенки аппарата (второе приближение), °C	$t''_{ct} = t''_{T_{cp}} - \frac{\Phi'}{F \alpha_T'}$	$21,6 + \frac{5,52 \cdot 10^5}{14,5 \cdot 10000} = 25,4$
38. Число Рейнольдса	$Re = \frac{\rho_T'' w_T d_{экр}}{\mu_T''}$	$\frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3,85 \cdot 0,052}{2 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$
39. Число Прандтля	$Pr = \frac{c_T'' \mu_T''}{\lambda_T''}$	$\frac{4,19 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,61} = 6,87$

ДП 26-01-90-65 стр. 203

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
40. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (второе приближение), Вт/(м ² ·К)	$\alpha_T'' = 0,023 \frac{\lambda_T''}{d_{\text{экв}}} Re^{0,8} Pr^{0,33} \times \left(\frac{\mu_T''}{\mu_{\text{ст}}''} \right)^{0,14} \epsilon_T$	$0,023 \frac{0,61}{0,052} (2 \cdot 10^5)^{0,8} \times (6,87)^{0,33} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,92 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,14$ $\times 1,08 = 9568$
41. Разность температур (второе приближение), °С	$\Delta t_1 = t - t_{T1} $ $\Delta t_2'' = t - t_{T2}'' $	$ 40 - 15 = 25$ $ 40 - 28,2 = 11,8$
на входе теплоносителя в рубашку на выходе теплоносителя из рубашки	$\Delta t_{\text{ср}}'' = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2''}{2}$	$\frac{25 + 11,8}{2} = 18,4$
42. Средняя разность температур перемешиваемой среды и теплоносителя (второе приближение), °С	$K'' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{\text{экв}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_T''}}$	$\frac{1}{\frac{1}{6635} + \frac{0,013}{46,5} + \frac{1}{9568}} = 1798$
43. Коэффициент теплопередачи (второе приближение), Вт/(м ² ·К)		

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
44. Расчетный тепловой поток (второе приближение), Вт	$\Phi'' = -K'' F \Delta t''_{cp}$	$-1798 \cdot 14,5 \cdot 18,4 = -4,8 \cdot 10^5$
45. Параметр ϵ	$\epsilon = \left \frac{\Phi' - \Phi''}{\Phi'} \right $	$\left \frac{-5,16 \cdot 10^5 + 4,8 \cdot 10^5}{5,16 \cdot 10^5} \right = 0,07$
46. Условие окончания расчета	$\epsilon < 0,1$	$0,07 < 0,1$

Таблица 2

Расчет максимального перепада температуры для проточного аппарата без внутренних устройств

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Диаметр мешалки, м	d_m	0,8
3. Высота заполнения аппарата, м	H	2,8
4. Частота вращения мешалки, с ⁻¹	n	2,08
5. Объемный расход перемешиваемой среды, м ³ /с	Q	0,0056
6. Площадь поверхности теплообмена, м ²	F	18,7
7. Температура перемешиваемой среды начальная, °С	t_0	70
8. Плотность перемешиваемой среды, кг/м ³	ρ	$1 \cdot 10^3$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
9. Удельная теплоемкость перемешиваемой среды, Дж/(кг.К)	с	4,19.10 ³
10. Средняя температура теплоносителя, °С	t _{т.ср.}	135
11. Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² .К)	К (по расчету -- см. поз. 17 табл. 5 приложения 3)	1172
12. Параметры распределения скорости	$\psi_1 = f(\epsilon)$ (по расчету -- см. поз. 14 табл. 1 приложения 3) ψ_2 (там же, поз. 15 приложения 3)	-0,3 -0,125

Расчетные величины

а) Расчет характеристик турбулентного переноса

13. Параметр m	$m = 1 + \psi_1 + \psi_2$	1 - 0,3 - 0,125 = 0,575
14. Циркуляционный расход перемешиваемой среды, м ³ /с	$q = K_2 e^{6,9 m} n d_M^3$ где K ₂ -- по подразд. 2.2	$0,0013 \cdot 2,718^{6,9} \cdot 2,06 \cdot 0,8^3 =$ $= 0,076$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
15. Отношение диаметров аппарата и мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$	$\frac{24}{0,8} = 3$
б) Расчет максимального перепада температуры		
16. Суммарный ³ объемный расход, м ³ /с	$Q_c = Q + q$	$0,0056 + 0,076 = 0,0816$
17. Относительный перепад температуры	$\Delta \bar{t}_{max} = \frac{Q}{Q_c} \left(\frac{KF}{Q \rho c_p + KF} \right)$	$\frac{0,0056}{0,0816} \times$ $\times \left(\frac{1172,18,7}{0,0056 \cdot 10^3 \cdot 4,19 \cdot 10^3 + 1172,18,7} \right) =$ $= 0,033$
18. Максимальный перепад температуры, °С	$\Delta t_{max} = \Delta \bar{t}_{max} (t_{T_{cp}} - t_0)$	$0,033 (135-70) = 2,15$

Расчет аппарата для перемешивания в системе твердое тело - жидкость

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,2
2. Высота заполнения аппарата, м	H	2,4
3. Диаметр мешалки, м	d_m	0,71
4. Тип и индекс мешалки	—	Турбинная открытая, 03
5. Коэффициент сопротивления мешалки	K_M	8,4
6. Частота вращения мешалки, с	n	2,08
7. Плотность сплошной среды, кг/м ³	ρ	1700
8. Плотность твердых частиц, кг/м ³	ρ_s	2350
9. Максимальный диаметр твердых частиц, м	d_{max}	1,6 · 10 ⁻³
10. Число мешалок на валу	N_m	1

19 03-01-80-85 070.111

ИД. 212 ДИ 26-01-90-88

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Дополнительные исходные данные для расчета аппарата без отражательных перегородок		
11. Предельная объемная доля твердой фазы	φ_n	0,7
12. Средняя массовая доля твердой фазы	X_{cp}	0,37
13. Ускорение свободного падения, м/с ²	g	9,8
14. Динамическая вязкость сплошной среды, Па.с	μ	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Расчетные величины		
Аппарат без отражательных перегородок		
15. Плотность суспензии при заданной массовой доле, кг/м ³	$\rho_{cm} = \frac{1}{\frac{X_{cp}}{\rho_ч} + \frac{1 - X_{cp}}{\rho}}$	$\frac{1}{\frac{0,5}{2350} + \frac{1 - 0,5}{1700}} = 1900$
16. Средняя объемная доля твердых частиц	$\varphi_{cp} = \frac{X_{cp} \rho_{cm}}{\rho_ч}$	$\frac{0,37 \cdot 1900}{2350} = 0,3$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
17. Динамическая вязкость суспензии, Па.с	$\mu_{см}$ (см.п.2.7.2.I РД 26-01-90-85)	$8,5 \cdot 10^{-3}$
18. Кинематическая вязкость суспензии, м ² /с	$\nu_{см} = \frac{\mu_{см}}{\rho_{см}}$	$\frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{1900} = 4,5 \cdot 10^{-6}$
19. Максимальная скорость свободного осаждения твердых частиц, м/с	$W'_{ос} = 1,15 \sqrt{\frac{g d_p (\rho_p - \rho)}{\rho}}$	$1,15 \sqrt{\frac{9,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} (2350 - 1700)}{1700}}$ $= 9 \cdot 10^{-2}$
20. Скорость степенного осаждения частиц, м/с	$W_{ос} = W'_{ос} (1 - \varphi_{ср})^3$ <p>Аппарат без внутренних устройств</p>	$9 \cdot 10^{-2} (1 - 0,30)^3 = 3,1 \cdot 10^{-2}$
21. Отношение диаметра аппарата к диаметру мешалки	$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$	$\frac{2,2}{0,71} = 3,1$
22. Параметры распределения окружной скорости	$\psi_1 \text{ и } \psi_2$ (по п.2.3.2.I РД 26-01-90-85)	$-0,3 \text{ и } -0,125$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
23. Параметр В	$B = 1 + 0,4\psi_1 + 0,5\psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2) \ln \Gamma_D$	$1 - 0,3 \cdot 0,4 - 0,5 \cdot 0,125 + 2(1 - 0,3 + 0,125) \ln 3,1 = 2,68$
24. Коэффициент турбулентной диффузии, м ² /с	$D_T = 1,57 \cdot n d_m^2 E_T,$ <p>где E_T — по п. 2.5.1 РД 26-01-90-85</p>	$1,57 \cdot 2,08 \cdot 0,71^2 \cdot 0,16 = 0,26$
25. Число Пекле для аппаратов периодического действия	$Pe = \frac{w_{oc} H}{D_T}$	$\frac{3,1 \cdot 10^{-2} \cdot 2,4}{0,26} = 0,3$
26. Объемная доля твердой фазы у днища аппарата	$\varphi_0 = f(\varphi_{cp}, Pe)$ <p>(по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)</p>	0,32
27. Динамическая вязкость суспензии у днища аппарата, Па.с	$\mu_{см,0} = \mu_f(\varphi_0)$ <p>(по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)</p>	$3,2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 9,8 \cdot 10^{-3}$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
28. Плотность суспензии у дна аппарата, кг/м ³	$\rho_{см,0} = (1 - \varphi_0) \rho + \varphi_0 \rho_ч$	$(1 - 0,32) 1700 + 0,32 \cdot 2350 = 1908$
29. Кинематическая вязкость суспензии у дна аппарата, м ² /с	$\nu_{см,0} = \frac{\mu_{см,0}}{\rho_{см,0}}$	$\frac{9,8 \cdot 10^{-3}}{1908} = 5,1 \cdot 10^{-6}$
30. Пульсационная скорость среды у поверхности осадка, м/с	$v_0 = \left(\frac{n B d_m}{2,5 \Gamma_D} \right)^{7/8} \left(\frac{2 \nu_{см,0}}{\pi} \right)^{1/8}$	$\left(\frac{2,08 \cdot 2,68 \cdot 0,71}{0,68 \cdot 3,1} \right)^{7/8} \times \left(\frac{2,5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2,2} \right)^{1/8} = 0,378$
31. Критическая пульсационная скорость, обеспечивающая подъем твердых частиц, м/с	$v_{кр} = \sqrt{\frac{2(\rho_ч - \rho)}{\rho} g d_ч \varphi_n}$	$\sqrt{\frac{2(2350 - 1700)}{1700} \cdot 9,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}} \times \sqrt{0,8} = 9,2 \cdot 10^{-2}$

ИЛ 23-01-90-90

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
32. Критическая частота пульсаций, обеспечивающая подъем твердых частиц, с ⁻¹ 33. Параметр M 34. Частота пульсаций среды у поверхности осадка, с ⁻¹	$v_{кр} = \frac{W_{ос} \varphi_0}{\varphi_{п} d_{ч}}$ $M = \frac{v_2 v_{кр}}{v_0 K}$ $\nu = \frac{v_0 K}{5,7 \nu_{см,0}}$ <p>где K — по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85</p>	$\frac{3,1 \cdot 10^{-2} \cdot 0,32}{0,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}} = 8,86$ $9,2 \cdot 10^{-2} / 0,373 = 0,246$ $\frac{0,373^2}{5,7 \cdot 5,1 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,8 = 3829$
35. Условие отсутствия осадка на днище аппарата	$\nu > \nu_{кр}$	3829 > 8,86
36. Степень неоднородности распределения твердых частиц по высоте аппарата	$\Delta \bar{\varphi} = f(\varphi_{ср}, Re)$ <p>(по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)</p>	$\Delta \bar{\varphi} = 1,2$

РД 26-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Аппарат с отражательными перегородками и отражателями		
37. Коэффициент турбулентной диффузии, м ² /с	$D_T = 0,435 D n d_M \left(\frac{z_M \zeta_M}{\Gamma^2 \gamma} \right)^{1/3}$	0,435 · 2,2 · 2,08 · 0,71 × $\left(\frac{1,8,4}{3,1^2 \cdot 5,3} \right)^{1/3} = 0,78$
38. Число Пекле	$Pe = \frac{W_{oc} H}{D_T}$	$\frac{3,1 \cdot 10^{-2} \cdot 2,4}{0,78} = 9,6 \cdot 10^{-2}$
39. Предельное число Пекле, обеспечивающее отсутствие осадка на днище аппарата	$Pe_{пр} = f(\psi_{ср})$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	0,25
40. Степень неоднородности распределения твердых частиц по высоте аппарата	$\Delta \bar{\varphi} = f(\psi_{ср}, Pe)$ (по п. 2.7.2.1 РД 26-01-90-85)	0,06

26-01-90-85-10-03-14

Таблица 11

Расчет процесса перемешивания в системе жидкость-жидкость для аппарата с
отражательными перегородками

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Объем перемешиваемой среды, м ³	V	11,7
2. Высота заполнения аппарата, м	H	2,8
3. Плотность, кг/м ³ :		
сплошной фазы	ρ_c	$1,2 \cdot 10^3$
дисперсной фазы	ρ_d	$0,8 \cdot 10^3$
4. Динамическая вязкость, Па.с:		
сплошной фазы	μ_c	$2,4 \cdot 10^{-3}$
дисперсной фазы	μ_d	$15 \cdot 10^{-3}$
5. Межфазное натяжение, Н/м	σ	$25 \cdot 10^{-3}$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
6. Мощность, потребляемая на перемешивание, Вт	<p style="text-align: center;">N</p> <p>(см. поз. 20 табл. 2 приложения 3)</p>	16800
7. Осредненный коэффициент турбулентного переноса, м ² /с	<p style="text-align: center;">D_{ср}</p> <p style="text-align: center;">Расчетные величины</p>	0,3
8. Средний диаметр капель, м	$d_k \approx 0,13 \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right)^{0,6} \left(\frac{N}{\rho_c V} \right)^{-0,4}$	$0,13 \left(\frac{25 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^3} \right)^{0,6} \times \left(\frac{16700}{1,2 \cdot 10^3 \cdot 11,7} \right)^{-0,4} = 1,92 \cdot 10^{-4}$

Лит. 23-01-30-00 (1971)

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
9. Средняя скорость осаждения (всплывания) капля, м/с	$W_k = \frac{d_k (\rho_g - \rho_c) g}{18 \mu_c} \frac{3(\mu_g + \mu_c)}{2\mu_g + 3\mu_c}$	$\frac{9,8(1,92 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,8 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3 }{18 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} \times$ $\times \frac{3(15 \cdot 10^{-3} + 2,4 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} =$ $= 0,47 \cdot 10^{-2}$
10. Число Пекле	$Pe = \frac{W_k H}{D_{cp}}$	$\frac{0,47 \cdot 10^{-2} \cdot 2,8}{0,3} = 0,0438$
11. Отношение средней доли дисперсной фазы в аппарате к объемной доле на выходе	$\frac{x_{cp}}{x_{вых}} = \frac{Pe}{e^{Pe} - 1}$	$\frac{0,0438}{2,72^{0,0438} - 1} = 0,978$
12. Максимальная относительная разность концентрации	$\bar{\Delta} c_{max} = 1 - e^{-Pe}$	$1 - 2,72^{-0,0438} = 0,0428$

Расчет мощности и объемного коэффициента массопередачи при перемешивании
газожидкостных систем

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	2,4
2. Высота заполнения аппарата, м	H	2,8
3. Диаметр мешалки, м	d_m	0,8
4. Тип мешалки	—	Открытая турбинная, 02
5. Частота вращения мешалки, с ⁻¹	n	2,08
6. Объемный расход газа, вводимого в аппарат (при рабочих условиях), м ³ /с	G	0,016
7. Плотность жидкости, кг/м ³	ρ	1200
8. Коэффициент молекулярной диффузии, м ² /с	D_m	$2 \cdot 10^{-6}$

Продолжение табл. 12

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
9. Мощность, потребляемая на перемешивание жидкости, Вт	<p>Расчетные величины</p> <p style="text-align: center;">N</p> <p>(см. п. 20 табл. 2 приложения 3)</p>	<p style="text-align: center;">16800</p>
10. Объем жидкости в аппарате, м ³	$V = 0,785 D^2 H$	$0,785 \cdot 2,4^2 \cdot 2,8 = 12,6$
11. Удельная диссипация энергии, Вт/кг	$\epsilon_0 = \frac{N}{\rho V}$	$\frac{16800}{1200 \cdot 12,6} = 1,1$
12. Параметр	<p style="text-align: center;">s</p> <p>(по п. 2.9.1 РД 26-01-90-85)</p>	<p style="text-align: center;">48000</p>
13. Приведенная скорость газа через аппарат, м/с	$w' = 4 G / \pi D^2$	$\frac{4 \cdot 0,016}{3,14 \cdot 2,4^2} = 3,54 \cdot 10^{-3}$

РД 26-01-90-85

Продолжение табл. 12

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
14. Объемный коэффициент массопередачи, с ⁻¹	$\beta = s (w')^{0,6} D_M^{0,5}$	$48000(3,54 \cdot 10^{-3})^{0,6} (2 \cdot 10^{-9})^{0,5}$ $= 7,26 \cdot 10^{-2}$
15. Мощность, потребляемая на перемешивание газожидкостной смеси, Вт	$N_r = \left[0,38 + 0,62 \exp\left(-\frac{27 G}{n d_M^3}\right) \right] N$	$\left[0,38 + 0,62 \exp\left(-\frac{27 \cdot 0,016}{2,8 \cdot 0,8^3}\right) \right] 16800 =$ $= 13326$

ИТ 20-01-50-85 (ИТ) 2011

Расчет процесса растворения в системе твердое тело - жидкость
(аппарат с отражательными перегородками)

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
Характеристики аппарата и мешалки		
1. Объем заполнения аппарата, м ³	V	0,79
2. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	N	2840
Физические свойства рабочих сред		
3. Плотность твердой фазы, кг/м ³	ρ_T	2165
4. Плотность жидкой фазы, кг/м ³	ρ	1000
5. Кинематическая вязкость, м ² /с	ν	$1 \cdot 10^{-6}$
6. Коэффициент молекулярной диффузии, м ² /с	D_M	$2 \cdot 10^{-9}$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
7. Массовая концентрация насыщения, кг/м ³	* c	361,5
Исходные данные для расчета процесса растворения в аппарате непрерывного действия		
8. Объемный расход жидкой фазы через аппарат, м ³ /с	G	6,4 · 10 ⁻³
Безразмерные параметры		
9. Число Шмидта	$Sc = \frac{\nu}{D_m}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-9}} = 500$
Исходные данные для расчета растворения монодисперсной системы частиц		
10. Начальный диаметр частиц твердой фазы, м	d ₀	2 · 10 ⁻⁴
11. Начальная массовая концентрация твердой фазы, кг/м ³	X ₀	5

ИЛ 25-01-50-11 1985

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные для расчета растворения полидисперсной системы частиц		
12. Число фракций	i	3
13. Начальная массовая концентрация i -й фракции, кг/м ³	X_{oi}	2,5
		1,5
		1,0
Расчетные величины		
14. Расчетная начальная массовая концентрация твердой фазы, кг/м ³	$X_0 = \sum_i X_{oi}$	2,5+1,5+1,0 = 5
15. Начальный диаметр частиц i -й фракции твердой фазы, м	d_{oi}	$2 \cdot 10^{-4}$
		$1 \cdot 10^{-3}$
		$0,7 \cdot 10^{-3}$
16. Массовая доля частиц i -й фракции	$\alpha_1 = X_{o1} / X_0$	2,5/5,0 = 0,5
	$\alpha_2 = X_{o2} / X_0$	1,5/5,0 = 0,3
	$\alpha_3 = X_{o3} / X_0$	1,0/5,0 = 0,2

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчетные величины		
17. Удельная диссипация энергии в среде, Вт/кг	$\epsilon_0 = \frac{N}{\rho V}$	$\frac{2840}{1000 \cdot 0,79} = 3,6$
18. Коэффициент массоотдачи в аппаратах с отражательными перегородками, м/с	$\beta = \frac{0,267 (\epsilon_0 \nu)^{0,25}}{Sc^{0,33}}$	$\frac{0,267 (3,6 \cdot 1 \cdot 10^{-6})^{0,25}}{500^{0,75}} = 1,1 \cdot 10^{-4}$
Расчет растворения монодисперсной системы частиц		
19. Время полного растворения, с	$\tau_{\infty} = \rho_T d_0 / (2 \beta c^*)$	$2165 \cdot 2 \cdot 10^{-4} / (2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5) = 5,44$
20. Значение массовой концентрации раствора в аппарате периодического действия через 3 с, кг/м ³	$c = \left[1 - \left(1 - \frac{2 \beta c^* \tau}{\rho_T d_0} \right)^3 \right] x_0$	$\left[1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5 \cdot 3}{2165 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right)^3 \right] \cdot 5 = 4,55$

13-26-01-28-02 000111

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
21. Среднее время пребывания суспензии в аппарате непрерывного растворения, с	$\tau_{\text{ср}} = \frac{V}{G}$	$\frac{0,79}{6,4 \cdot 10^{-3}} = 123$
22. Параметр $\bar{\tau}$	$\bar{\tau} = \tau_{\infty} / \tau_{\text{ср}}$	$\frac{5,44}{123} = 0,044$
23. Массовая концентрация раствора на выходе из аппарата непрерывного действия, кг/м ³	$c = [1 - 0,25 \bar{\tau} + 0,05 \bar{\tau}^2] X_0$	$[1 - 0,25 \cdot 0,044 + 0,05 \cdot 0,044^2] \cdot 5 = 4,95$
Расчет растворения полидисперсной системы частиц		
24. Время полного растворения частиц i -й фракции диаметра d_{oi} , с	$\tau_{o1} = \frac{\rho_{\tau} d_{o1}}{2 \beta c^*}$ $\tau_{o2} = \frac{\rho_{\tau} d_{o2}}{2 \beta c^*}$	$\frac{2165 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5} = 5,44$ $\frac{2165 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5} = 27,2$

93-06-10-91

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
28. Значение концентрации при растворении i -й фракции при периодическом режиме через 3 с после начала процесса, кг/м ³	$c_1 = \left[1 - \left(1 - \frac{2 \beta c^*}{\rho + d_{o1}} \right)^3 \right] X_{o1}$ $c_2 = \left[1 - \left(1 - \frac{2 \beta c^*}{\rho_T d_{o2}} \right)^3 \right] X_{o2}$ $c_3 = \left[1 - \left(1 - \frac{2 \beta c^*}{\rho_T d_{o3}} \right)^3 \right] X_{o3}$	$\left[1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5 \cdot 3}{2165 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right)^3 \right] 2,5 = 1,14$ $\left[1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5}{2165 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \right)^3 \right] 1,5 = 0,443$ $\left[1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 361,5}{2165 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} \right)^3 \right] 1,0 = 0,4$
29. Значение концентрации в растворе при периодическом режиме через 3 с после начала процесса, кг/м ³	$c = \sum_1^i c_i$	$1,14 + 0,443 + 0,4 = 2$

Сер. 330 ДП 26-01-90-85

Расчет многоприводного аппарата с мешалкой

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные		
1. Диаметр аппарата, м	D	17,5
2. Высота заполнения аппарата, м	H	8,3
3. Радиус установки периферийных мешалок, м	R_y	5,5
Характеристики центральной мешалки		
4. Тип мешалки	—	3-лопастная с наклонными лопастями
5. Диаметр мешалки, м	d_0	4,5
6. Коэффициент мощности	K_M	0,39
7. Частота вращения мешалки, $с^{-1}$	n_0	0,416
Характеристики периферийных мешалок		
8. Число мешалок	Z_M	4
9. Тип мешалок	—	3-лопастные с наклонными лопастями

Продолжение табл. 14

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
10. Диаметр мешалок, м	d_n	2,1
11. Частота вращения мешалок, с ⁻¹	n_n	0,66
12. Число лопастей мешалки	z_n	3
13. Коэффициент сопротивления лопасти мешалки	ζ_n	1,1
14. Высота лопасти мешалки, м	h_n	0,2
Физические характеристики среды		
15. Плотность жидкости, кг/м ³	ρ	1000
16. Кинематическая вязкость, м ² /с	ν	$8,16 \cdot 10^{-7}$
17. Плотность твердых частиц, кг/м ³	$\rho_ч$	5000
18. Максимальный диаметр твердых частиц, м	$d_ч$	10^{-4}
19. Ускорение свободного падения, м/с ²	g	9,81

ГП.232 РД 26-01-90-84

продолжение табл. 14

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
20. Средняя плотность среды, кг/м ³	$\rho_{см}$	1923
21. Радиус периферийных мешалок, м	Расчетные величины $r_n = \frac{d_n}{2}$	$\frac{2,1}{2} = 1,05$
22. Радиус аппарата, м	$R = \frac{D}{2}$	$\frac{17,5}{2} = 8,75$
23. Угловая скорость вращения периферийных мешалок, рад/с	$\omega_n = 2\pi n_n$	2,3, 14, 0,66 = 4,14
24. Крутящий момент, создаваемый центральной мешалкой, Н.м	$P = \frac{K_N \rho_{см} n_o^2 d_o^5}{2,3\pi}$	$\frac{0,39 \cdot 1923 \cdot 0,416^2 \cdot 4,5^5}{2,3, 14} = 38135$
25. Радиус эквивалентной мешалки, м	$r_o \approx 1,25 (R_y + r_n)$	1,25 (5,5 + 1,05) = 8,19
26. Отношение радиуса аппарата к радиусу эквивалентной мешалки	$\bar{R} = \frac{R}{r_o}$	$\frac{8,75}{8,19} = 1,07$

ДП 26-01-90-65 ОФР.1023

Наименование параметра	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
27. Параметр высоты заполнения	$Y = 4 \frac{H}{R} + 1$	$4 \cdot \frac{3,3}{3,75} + 1 = 4,8$
28. Параметр K	$K = \frac{\rho z_1 z_n \lambda_n^2 \sigma_1 \omega_n^2 \epsilon_n^2}{8}$	$\frac{1923 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 1,05^2 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 14^2 \cdot 1,05^2}{8} = 13220$
29. Отношение радиуса установки периферийных мешалок к радиусу эквивалентной мешалки	$\bar{R}_y = \frac{R_y}{r_0}$	$\frac{5,5}{8,19} = 0,67$
30. Параметр B	$B = \frac{0,367(1 + 1,33 \ln \bar{R})}{\bar{R} \bar{R}_y (1 - 0,624 \bar{R}_y^2 + 0,114 \bar{R}_y^3)}$	$\frac{0,367(1 + 1,33 \ln 1,07)}{1,07 \cdot 0,67(1 - 0,624 \cdot 0,67^2 + 0,114 \cdot 0,67^3)} = 0,74$
31. Параметр L	$L = \frac{\rho_{cm} z_1 z_n \lambda_n^2 \sigma_1}{8}$	$\frac{1923 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 1,05^2 \cdot 1,1}{8} = 700$

Стр. 234 РГ 26-01-90-85

Наименование величин	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
32. Параметр E	$E = 0,00225 \rho_{cm} \pi R^3 \gamma$	$0,00225 \cdot 1923,3 \cdot 14,8 \cdot 75^3 \cdot 4,8 = 43687$
33. Параметр c	$c = \frac{\rho_{cm} \sum z_{\lambda} z_{\mu} \sum_{\lambda} h_{\lambda} z_{\mu}^2 \omega_{\mu} R_{\mu}}{4}$	$\frac{1923,3 \cdot 4 \cdot 1,1 \cdot 0,2 \cdot 1,05^2 \cdot 4 \cdot 14,5 \cdot 5}{4} = 31861$
34. Уравнение для определения окружной скорости жидкости на радиусе установки периферийных мешалок, м/с	$K + L v^2 + P = E v^2 + c v$	$13220 + 700 v^2 + 38135 =$ $= 43687 \cdot 0,74^2 v^2 + 31861 v$ $v = 0,95 \text{ м/с}$
35. Угловая скорость вращения эквивалентной мешалки, рад/с	$\omega_{\text{э}} = \frac{v}{R_{\mu} (1 - 0,624 \bar{R}_{\mu}^2 + 0,114 \bar{R}_{\mu}^3)}$	$\frac{0,95}{5,5 (1 - 0,624 \cdot 0,67^2 + 0,114 \cdot 0,67^3)} =$ $= 0,23$
36. Коэффициент мощности для периферийных мешалок	$K_N = \frac{\pi \sum_{\lambda} z_{\lambda} h_{\lambda} z_{\mu}^2 (\omega_{\mu}^2 z_{\mu}^2 + v^2)}{4 n_{\mu}^2 d_{\mu}^5}$	$\frac{3,14 \cdot 1,1 \cdot 3 \cdot 0,2 \cdot 1,05^2 (4,14^2 \cdot 1,05^2 + 0,95^2)}{4 \cdot 0,66^2 \cdot 2,1^5} =$ $= 0,63$

ДП 30-01-36-01-10-03

Продолжение табл. 14

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
37. Мощность, затрачиваемая на перемешивание при работе центральной мешалки, Вт	$N = k_n \rho_{см} n_o^3 d_o^5$	$N = 0,39 \cdot 1923 \cdot 0,416^3 \cdot 4,5^5 = 99630$
38. Мощность, затрачиваемая на перемешивание при работе одной периферийной мешалкой, Вт	$N_n = k_n \rho_{см} n_n^3 d_n^5$	$N_n = 0,63 \cdot 1923 \cdot 0,66^3 \cdot 2,1^5 = 14225$
39. Скорость осаждения твердых частиц, м/с	$W_{ос} = 1,15 \sqrt{\frac{d_v (\rho_v - \rho) g}{\rho}}$	$1,15 \sqrt{\frac{10^{-4} (5000 - 1000) \cdot 9,8}{1000}} = 0,0727$
40. Параметр Q	$Q = 2,12 \cdot \frac{\bar{R} R_y}{R_y^{1,2} z_n} (1 - 0,624 \bar{R}_y^2 + 0,114 \bar{R}_y^3)$	$2,12 \frac{1,07 \cdot 5,5 (1 - 0,624 \cdot 0,67^2 + 0,114 \cdot 0,67^3)}{5,5 + 1,05} = 1,436$
41. Условие отсутствия осадка на дне аппарата	$v \geq Q \cdot W_{ос} \cdot \left(\frac{H}{d_v}\right)^{0,14}$	$0,95 \geq 1,436 \cdot 0,0727 \cdot \left(\frac{8,3}{10^{-4}}\right)^{0,14}$ $0,95 > 0,61$ <p>(Осадок на дне отсутствует)</p>

Стр. 236 РГ. 26-01-90-85

Расчет аппарата с рубашкой, шнековой мешалкой и змеевиком для перемешивания
при ламинарном режиме

I. Пример расчета аппарата приведен в таблице

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Исходные данные для гидродинамического расчета		
1. Объем перемешиваемой среды, м ³	V	7
2. Внутренний диаметр аппарата, м	D	2
3. Внутренний радиус аппарата, м	R	1
4. Диаметр мешалки, м	d_m	0,9
5. Радиус мешалки, м	r_0	0,45
6. Диаметр вала, м	$d_в$	0,16
7. Радиус вала, м	$r_в$	0,08

Продолжение

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
8. Высота мешалки, м	H_1	1,8
9. Высота заполнения аппарата, м	H	2,3
10. Характеристики элементов мешалки и встроенного устройства:		
ширина лопасти, м	$b_{ш}$	0,37
Шаг винтовой линии, м	$t_{л}$	0,9
число лопастей	$n_{л}$	1
диаметр навивки змеевика, м	$D_{зм}$	1,08
радиус навивки змеевика, м	$r_{т}$	0,54
диаметр трубы змеевика, м	$d_{зм}$	0,057
шаг навивки трубы змеевика, м	$h_{зм}$	0,085

Стр. 238 РГ 26-01-90-85

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
11. Частота вращения мешалки, с	n	0,98
12. Плотность среды, кг/м ³	ρ	780
13. Консистентность среды при средней температуре в аппарате	k	17
14. Индекс неньютоновского поведения	m	0,52
Расчет вспомогательных характеристик		
15. Относительная ширина зазора между наружной кромкой лопасти и змеевиком	$\frac{c}{z_0} = \frac{D_{зм} - d_{зм} - d_m}{d_m}$	$\frac{1,08 - 0,057 - 0,9}{0,9} = 0,137$
16. Коэффициент сопротивления мешалки	$\lambda_w = f\left(\frac{c}{z_0}\right)$ <p>(по п.3.2 РД 26-01-90-85)</p>	95
17. Коэффициент сопротивления окружному движению среды стенки змеевика	$\lambda_k = \frac{12,6 \left(1 + \frac{c}{z_0}\right)}{0,053 + \frac{c}{z_0}}$	$\frac{12,6(1+0,137)}{0,053+0,137} = 75,4$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчет эквивалентной вязкости среды		
18. Параметр для расчета эффективной скорости сдвига	$A_m = \frac{\pi}{2l} \lambda_{ш}$	$\frac{\pi}{2l} \cdot 95 = 14,2$
19. Эффективная скорость сдвига, c^{-1}	$\dot{\gamma}_э = A_{ш} \cdot n$	14,2 · 0,98 = 13,9
20. Эффективная вязкость, Па·с	$\mu = k \cdot \dot{\gamma}_э^{m-1}$	17 · 13,9 ^{0,52-1} = 4,8
Расчет мощности, потребляемой на перемешивание		
21. Центробежное число Рейнольдса	$Re_{ц} = \frac{\rho n d_M^2}{\mu}$	$\frac{780 \cdot 0,98 \cdot 0,9^2}{4,8} = 129$ В соответствии с разд. 4 РД 26-01-90-85 принимаем (по табл. 37) $Re_{ц} = 80$
22. Число K_N	$K_N = \frac{\pi^2}{6} \lambda_{ш} \frac{H_1}{d_M} \left[1 - \left(\frac{d_B}{d_M} \right)^3 \right] Re_{ц}^{-1}$	$\frac{\pi^2}{6} \cdot 95 \cdot \frac{1,8}{0,9} \left[1 - \left(\frac{0,16}{0,9} \right)^3 \right] \cdot 80^{-1} = 3,88$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
23. Мощность, потребляемая при перемешивании, Вт	$N = k_N \rho n^3 d_M^5$ <p>Расчет осевой силы</p>	$3,88 \cdot 780 \cdot 0,98^3 \cdot 0,9^5 = 1682$
24. Параметр φ	$\varphi = \frac{6(t/d_M)[1-(d_B/d_M)]}{\pi[1-(d_B/d_M)^3]}$	$\frac{6(0,9/0,9)[1-(0,16/0,9)]}{\pi[1-(0,16/0,9)^3]} = 1,58$
25. Осевая сила, Н	$P_o = \frac{\varphi N}{2\pi n d_M}$	$\frac{1,58 \cdot 1682}{2\pi \cdot 0,98 \cdot 0,9} = 479,8$
Расчет изгибающего момента вала		
26. Расстояние от нижней подшипниковой опоры стойки привода до верхней кромки лопасти, м	h_1	1,3
27. Расстояние от нижней подшипниковой опоры стойки привода до нижней кромки лопасти, м	h_2	3,1

11-26-01-90-55 (1/1)

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
28. Параметр T , Па	$T = \pi \lambda_{ш} \mu n$	$\pi \cdot 95,4 \cdot 8,0 \cdot 98 = 1403,2$
29. Параметр φ_1	$\varphi_1 = 2\pi h_1 / t_n$	$2\pi \cdot 1,3 / 0,9 = 9,07$
30. Параметр φ_2	$\varphi_2 = 2\pi h_2 / t_n$	$2\pi \cdot 3,1 / 0,9 = 21,6$
31. Параметр a	$a = \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 - \varphi_2 \cos \varphi_2 + \varphi_1 \cos \varphi_1$	$\sin 21,6 - \sin 9,07 - 21,6 \cos 21,6 + 9,07 \cos 9,07 = 11,5$
32. Параметр b	$b = \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 + \varphi_2 \sin \varphi_2 - \varphi_1 \sin \varphi_1$	$\cos 21,6 - \cos 9,07 + 21,6 \times \sin 21,6 - 9,07 \sin 9,07 = 5,1$
33. Изгибающий момент, Н.м	$M_{изг} = \pi \frac{z_0 t_n^2}{8\pi} \left[1 - \left(\frac{z_B}{z_0} \right)^2 \right] \times \sqrt{a^2 + b^2}$	$1403 \frac{0,9 \cdot 0,9^2}{8} \left[1 - \left(\frac{0,08}{0,45} \right)^2 \right] \times \sqrt{11,5^2 + 5,1^2} = 496$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
Расчет параметров циркуляции		
34. Относительный радиус вала	$\bar{r}_B = \frac{z_B}{R}$	$\frac{0,08}{1,0} = 0,08$
35. Относительный радиус границы раздела зон	$\bar{r}_C = \frac{z_T}{R}$	$\frac{0,54}{1,0} = 0,54$
36. Геометрический параметр зоны циркуляции: центральной периферийной	$X_1 = \frac{\bar{r}_B}{\bar{r}_C}$ $X_2 = \bar{r}_C$	$\frac{0,08}{0,54} = 0,148$ $0,54$
37. Параметр θ циркуляционного расхода среды в зоне: центральной периферийной	$\theta_1 = f(m, X_1)$ $\theta_2 = f(m, X_2)$	$0,63$ $0,77$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
38. Параметры Ω циркуляционного расхода среды в зоне: центральной периферийной	$\Omega_1 = \frac{\bar{v}_u (\bar{v}_u - \bar{v}_B)^{2 + \frac{1}{m}}}{2 + \frac{1}{m}}$ $\Omega_2 = \frac{(1 - \bar{v}_u)^{2 + \frac{1}{m}}}{2 + \frac{1}{m}}$	$\frac{0,54(0,54+0,08)^{2+1/0,52}}{2 + 1/0,52} = 0,53 =$ $0,00412$ $\frac{(1-0,54)^{2+1/0,52}}{2 + 1/0,52} \cdot 0,77 = 0,00933$
39. Параметр Y максимума циркуляционной скорости в зоне: центральной периферийной	$Y_1 = f(m, x_1)$ $Y_2 = f(m, x_2)$ <p>(по п.3.2.6.1 РД 26-01-90-85)</p>	0,46 0,76
40. Относительный радиус максимума скорости в зоне:		

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<p>центральной периферийной</p> <p>41. Объемный циркуляционный расход, м³/с</p>	$\bar{v}_{m_ц} = \gamma_1 \bar{v}_ц$ $\bar{v}_{m_п} = \gamma_2$ $q = \frac{\pi^2}{168} \lambda_{ш} \left(\frac{D}{d_M} \right)^3 [10,5 \times$ $\times \frac{(1 - z_B/z_0) t_1}{\pi^2 (\bar{v}_ц^2 - \bar{v}_B^2) d_M}]^{1/m} \times$ $\times \left[\frac{(d_M/D)(H_1/H)}{\Omega_1^m + \Omega_2^m} \right]^{1/m} \times$ $\cdot \Omega_1 \Omega_2 n d_M^3$	<p>0,46 · 0,54 = 0,248</p> <p>0,76</p> $\frac{\pi^2}{168} 95 \left(\frac{2}{0,9} \right)^3 10,5^{1/0,52} \times$ $\times \left[\frac{(1 - 0,08/0,45) 0,9}{(0,54^2 - 0,08^2) 0,9} \right]^{1/0,52} \times$ $\times \left[\frac{(0,9/2)(1,8/2,3)}{0,00412^{0,52} + 0,00933^{0,52}} \right]^{1/0,52} \times$ $\times 0,00412 \cdot 0,00933 \cdot 0,98 \cdot 0,9^3 =$ <p>= 0,1965</p>
<p>42. Средняя скорость осевого потока в центральной зоне, м/с</p>	$w_{cp} = \frac{q}{\pi R^2 (\bar{v}_ц^2 - \bar{v}_B^2)}$	$\frac{0,1965}{\pi \cdot 1,0^2 (0,54^2 - 0,08^2)} = 0,219$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
43. Средняя скорость осевого движения среды, м/с	$v_{\text{ср}} = \frac{\lambda_{\text{ш}} n d_{\text{м}}}{6 \lambda_{\text{к}} \left(1 - \frac{c}{z_0}\right)}$	$\frac{95.0, 98.0, 9}{6.75, 4(1-0,137)} = 0,215$
Расчет теплообмена Дополнительные исходные данные		
44. Толщина стенки, м: рубашки	S	0,016
змеевика	S _{зм}	0,0035
45. Высота, м: цилиндрической части рубашки	H _р	1,65
змеевика	h _т	1,8
46. Тепловой поток, Вт	Ф	42000
47. Температура, °С: среды	t	40
средняя теплоносителя	t _{тср}	10

Стр. 246 РД 26-01-90-85

Продолжение

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
48. Площадь поверхности теплообмена рубашки, м ²	F_p	13
49. Консистентность среды при средней температуре теплоносителя	$k_{ст}$	34
50. Удельная теплоемкость среды, Дж/(кг.К)	c_p	2600
51. Теплопроводность, Вт/(м.К) среды	λ	0,35
материалов стенки:		
аппарата	λ_a	20
змеевика	λ_3	20
52. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, Вт/(м ² .К):		
в рубашке	α_p	410
в змеевике	α_3	5800

ИД 06-11-00-01 079-011

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
53. Проверка применимости метода расчета	<p>Расчетные данные</p> $Re_{\mu} \ll 10^3$	$129 < 10^3$
54. Длина участка динамически стабилизированного движения среды у стенки змеевика, м	$z_{0.0} = \frac{\sqrt{v_{cp}^2 + w_{cp}^2}}{\left(\eta - \frac{v_{cp}}{\pi d_M} - \frac{w_{cp}}{t_1} \right) \eta_1}$	$\frac{\sqrt{0,215^2 + 0,219^2}}{\left(0,98 - \frac{0,215}{\pi \cdot 0,9} - \frac{0,219}{0,9} \right) 1} = 0,465$
55. Параметр скорости сдвига на внутренней поверхности змеевика	$B_{\omega} = \frac{3,5}{\pi} \left(\frac{z_0}{z_T} \right)^2 \times$ $\times \left(\frac{\pi \lambda_{\omega} \eta}{2l} \right)^{2m} +$ $+ \left(\bar{v}_{\mu} - \frac{\bar{v}_{1m\mu}^2}{\bar{v}_{\mu}} \right)^2 \times$ $\times \left(\frac{q}{\pi R^3 \Omega_1} \right)^{2m}$	$\frac{3,5}{3,14} \left(\frac{0,45}{0,54} \right)^2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 95 \cdot 0,98}{2l} \right)^{2 \cdot 0,52} +$ $+ \left(0,54 - \frac{0,248^2}{0,54} \right)^2 \times$ $\times \left(\frac{0,1965}{\pi \cdot 1,0^3 \cdot 0,00412} \right)^{2 \cdot 0,52} =$ $= 12,34$

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
<p>56. Скорость сдвига, с^{-1}: на стенке аппарата</p> <p>на наружной поверхности змеевика</p> <p>на внутренней поверхности змеевика</p>	$\dot{\gamma} = \frac{q}{\pi R^3 \Omega_2} (1 - \bar{\tau}_{mn}^2)^{1/m}$ $\dot{\gamma}_n = \frac{q}{\pi R^3 \Omega_2} \left(\frac{\bar{\tau}_{mn}^2}{\bar{\tau}_c} - \bar{\tau}_c \right)^{1/m}$ $\dot{\gamma}_в = v_{ш}^{1/2}$	$\frac{0,1965}{\pi \cdot 1,0^3 \cdot 0,00933} (1 - 0,76^2)^{1/0,52} = 1,28$ $\frac{0,1965}{\pi \cdot 1,0^3 \cdot 0,00933} \left(\frac{0,76^2}{0,54} - 0,54 \right)^{1/0,52} = 1,97$ $12,34^{1/2} \cdot 0,52 = 11,2$
<p>57. Коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ к стенке аппарата</p>	$\alpha = 0,81 \left(\dot{\gamma} \frac{\rho c_p \lambda^2}{\eta \rho} \right)^{1/3} \left(\frac{k}{k_{cr}} \right)^{0,14}$	$0,81 (1,28 \frac{780 \cdot 2300 \cdot 0,35^2}{1,65})^{1/3} \cdot \left(\frac{17}{31} \right)^{0,14} = 42,3$

ИЛ 05-01-90-00 000.000

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
к наружной поверхности змеевика	$\alpha_H = 0,81 \left(\gamma_H \frac{\rho c_p \lambda^2}{h_T} \right)^{1/3} \times$ $\times \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$	$0,81 (1,97 \frac{780 \cdot 2600 \cdot 0,35^2}{1,8})^{1/3} \times$ $\times \left(\frac{17}{34} \right)^{0,14} = 47,6$
к внутренней поверхности змеевика	$\alpha_B = 0,16 \left(\lambda_{ш} \gamma_B \frac{\rho c_p \lambda^2}{l_0} \right)^{1/3} \times$ $\times \left(\frac{k}{k_{ст}} \right)^{0,14}$	$0,16 (95 \cdot 11,2 \frac{780 \cdot 2600 \cdot 0,35^2}{0,465})^{1/3} \times$ $\times \left(\frac{17}{34} \right)^{0,14} = 120,3$
58. Среднее значение коэффициента теплоотдачи к змеевику, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_y = \frac{\alpha_H + \alpha_B}{2}$	$\frac{47,6 + 120,3}{2} = 84$
59. Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К): для стенки аппарата	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}}$	$\frac{1}{\frac{1}{42,3} + \frac{0,016}{20} + \frac{1}{410}} = 37,2$

СТ. 23-07-90-05

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
для змеевика	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_y} + \frac{\delta_{зм}}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_3}}$	$\frac{1}{\frac{1}{84} + \frac{0,0035}{30} + \frac{1}{5800}} = 81,6$
60. Площадь поверхности теплообмена змеевика, м ²	$F_y = \pi d_{зм} h_T \sqrt{\left(2\pi \frac{z_T}{h_{зм}}\right)^2 + 1}$	$3,14 \cdot 0,057 \cdot 1,8 \sqrt{\left(2 \cdot 3,14 \frac{0,54}{0,085}\right)^2 + 1} = 19,8$
61. Расчетный тепловой поток, Вт: для рубашки для змеевика	$\Phi_p = k F_p t - t_{T\text{ср}} $ $\Phi_y = k_y F_y t - t_{T\text{ср}} $	$37,2 \cdot 13 40 - 10 = 14508$ $81,6 \cdot 12,8 40 - 10 = 31334$
62. Суммарный расчетный тепловой поток (первое приближение), Вт	$\Phi' = \Phi_p + \Phi_y$	$14508 + 31334 = 45842$

Продолжение

Наименование величины	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
63. Условие необходимости уточнения значений коэффициента при температуре стенки	$0,5 \leq \frac{k}{k_{ст}} \leq 2$	$0,5 = \frac{17}{34} \leq 2$ <p>Принимаем $\phi'' = \phi$</p>
64. Параметр E	$E = \left \frac{\phi' - \phi''}{\phi'} \right $	$\frac{45842 - 42000}{45842} = 0,084 < 0,1$ <p>Расчет заканчивается</p>

ИТО. 2008. ЛТ. 26-01-90-88

Перевод значений величин из применявшихся ранее единиц в единицы СИ

№	Наименование величины	Обозначение величины и ее единица		Формула пере- счета
		в технической системе единиц	в системе СИ	
I	Частота вращения	n' , об/мин	n , c^{-1}	$n = 0,167 n'$
2	Тепловой поток,	Φ' , ккал/ч	Φ , Вт	$\Phi = 1,17 \Phi'$
3	Коэффициент теплопе- редачи	K' , ккал/($m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$)	K , Вт/($m^2 \cdot K$)	$K = 1,17 K'$
4	Коэффициент тепло- отдачи	α' , ккал/($m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$)	α , Вт/($m^2 \cdot K$)	$\alpha = 1,17 \alpha'$
5	Удельная теплоемкость	c' , ккал/(кг $\cdot ^\circ C$)	c , Дж/(кг $\cdot K$)	$c = 4,19 \cdot 10^3 c'$
6	Теплопроводность	λ' , ккал/($m \cdot ч \cdot ^\circ C$)	λ , Вт/($m \cdot K$)	$\lambda = 1,17 \lambda'$
7	Динамическая вязкость	μ' , сП	μ , Па $\cdot c$	$\mu = 10^{-3} \mu'$
8	Кинематическая вязкость	ν' , сст	ν , m^2/c	$\nu = 10^{-6} \nu'$
9	Коэффициент диффузии	D' , cm^2/c	D , m^2/c	$D = 10^{-6} D'$
10	Коэффициент поверх- ностного натяжения	ζ' , кгс/м	ζ , Н/м	$\zeta = 10 \zeta'$
11	Удельная теплота па- реобразования	r'_T , ккал/кг	r_T , Дж/кг	$r_T = 4,19 \cdot 10^3 r'_T$

ДП 24-01-02-01 (стр. 5)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	2
I.1. Рекомендации по выбору мешалок и компоновке аппаратов	2
I.2. Общая характеристика метода расчета	8
I.3. Порядок выбора конструктивных вариантов	10
2. Перемешивание при турбулентном режиме	14
2.1. Общие сведения	14
2.2. Конструктивные характеристики аппаратов	15
2.3. Гидродинамический расчет аппаратов	25
2.4. Тепловой расчет аппарата	59
2.5. Расчет характеристик крупномасштабного турбулентного переноса	84
2.6. Расчет характеристик поля концентраций растворенных веществ и температуры	90
2.7. Расчет перемешивания в системах твердое тело - жидкость	95
2.8. Расчет перемешивания в системе жидкость - жидкость	115
2.9. Расчет перемешивания в системе газ - жидкость	118
2.10. Расчет процесса растворения в системе твердое тело - жидкость	125

2.II. Расчет аппаратов при наличии нескольких перемешивающих устройств (многоприводных аппаратов с мешалками)	191
3. Перемешивание при ламинарном режиме	198
3.1. Общая характеристика метода расчета	198
3.2. Гидродинамический расчет аппарата	199
3.3. Тепловой расчет аппарата	157
3.4. Расчет распределения концентраций и температуры.....	163
4. Перемешивание при переходном режиме	166
4.1. Общая характеристика метода расчета	166
Приложение I. Список литературы	168
Приложение 2. Рекомендации по определению физических свойств перемешиваемых веществ	169
Приложение 3. Примеры расчетов аппаратов для перемешивания при турбулентном режиме	173
Гидродинамический расчет аппарата без внутренних устройств	173
Гидродинамический расчет аппарата с отражательными перегородками	176
Гидродинамический расчет аппаратов с внутр. устройствами	179
Тепловой расчет аппарата без внутренних устройств с цилиндрической рубашкой. Теплоноситель - конденсирующий пар	185
Расчет теплоотдачи от змеевика в аппарате с отражательными перегородками	182
Расчет эквивалентного диаметра канала полутрубы и эквивалентной толщины стенки аппарата для рубашки из полутрубы	187

Тепловой расчет аппарата с отражательными перегородками и рубашкой из полутруб. Теплоноситель - вода	199
Расчет максимального перепада температуры для проточного аппарата без внутренних устройств	208
Расчет аппарата для перемешивания в системе твердое тело - жидкость	211
Расчет процесса перемешивания в системе жидкость - жидкость - для аппарата с отражательными перегородками.....	218
Расчет мощности и объемного коэффициента массопереноса при перемешивании газожидкостных систем	221
Расчет процесса растворения в системе твердое тело - жидкость	224
Расчет многоприводного аппарата с мешалкой	231
Приложение 4. Расчет аппарата с рубашкой, шнековой мешалкой и змеевиком при ламинарном режиме.....	237
Приложение 5. Перевод значений величин из применявшихся ранее единиц в единицы СИ	253

Редактор Кошаровская Е.В.
Техн. редактор Русак Т.Д.
Корректор Бабенко И.Ф.

Подписано к печати 13.10.86 г.

Заказ 392 Тираж 235 экз. Формат 60x84/16 Объем 16 п.л.

Цена 1р.60 коп.

РТП ЛенНИИхиммаша